Національний університет
водного господарства
та природокористування

Л.Й.Дворкін
L.I.Dvorkin

Будівельне матеріалознавство
Construction materials

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Навчально-довідковий посібник
Reference book

Рекомендовано вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування для студентів, які навчаються за спеціальністю «Будівництво та цивільна інженерія»

Рівне – 2017
Rivne – 2017

Національний університет
водного господарства
та природокористування

УДК 691(035)
ББК 38.3я2
Д 24

Рекомендовано вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування.
(Протокол №__ від _____ 2017 р.)

Рецензенти:
Л.О. Шейніч, доктор технічних наук, професор, академік «Державного науково-дослідний інституту будівельних конструкцій»;
К.К.Пушкарьова, доктор технічних наук, професор Київського національного університету будівництва і архітектури;
С.Д. Лаповська, доктор технічних наук, заступник директора з наукової роботи ДП «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів»ю

Дворкін Л.Й.
Д 24 Будівельне матеріалознавство. Навчально-довідковий посібник українською та англійською мовами. Рівне: НУВГП, 2017. – 355 с.

ISBN

У посібнику подано короткі відповіді українською та англійською мовами на основні питання навчальної дисципліни "Будівельне матеріалознавство" для студентів та аспірантів будівельних спеціальностей вищих навчальних закладів.

УДК 691(035)
ББК 38.3я2

ISBN

© Дворкін Л.Й., 2017
© Національний університет
водного господарства та
природокористування, 2017

Національний університет
водного господарства
та природокористування

ПЕРЕДМОВА

В цій книзі українською та англійською мовами лаконічно подано відповіді на основні питання, що входять в курс “Будівельне матеріалознавство”, який викладається студентам спеціальності “Будівництво та цивільна інженерія”. Для отримання ширшої інформації з розглянутих питань необхідно звернутись до відповідної навчальної і довідкової літератури.

Наводячи матеріал довідника двома мовами, автор виходив з важливості для майбутніх спеціалістів – будівельників знання професійної англійської мови. Даний довідник може бути використаний також англомовними студентами, які навчаються за будівельними спеціальностями у вищих навчальних закладах України.

При написанні довідника автор враховував свій багаторічний досвід викладання навчальної дисципліни “Будівельне матеріалознавство” у Національному університеті водного господарства та природокористування. Автор розуміє, що даний довідник може бути в подальшому суттєво вдосконалений і буде вдячний всім його читачам за зауваження і пропозиції.

Автор висловлює вдячність рецензентам посібника докторам технічних наук, професорам Л.О.Шейніч, К.К.Пушкарьовій, С.Д.Лаповській за цінні зауваження, а також інженерам Л.І. Ніхаєвій та Л.А. Мацько за технічну допомогу при підготовці книги до видання.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Л.Й. Дворкін,
Заслужений діяч науки і техніки України,
академік Міжнародної інженерної
академії та Академії будівництва України,
доктор технічних наук, професор

Національний університет
водного господарства
та природокористування

PREFACE

This reference book provides the most concise in Russian and English answers to basic questions of the course “Construction Materials”, which is taught to students of building specialties of universities.

More detailed information on the relevant issues can be found in the additional educational and reference literature.

The resulting material of this reference book, author proceeds from the importance for future specialists basic knowledge of professional English. This manual can be used also English-speaking students studying on building, specialties in Russian higher educational institutions.

In the preparation of the book, author used his experience of teaching the course “Construction Materials” at the National University of the water management (Ukraine). The author realizes that this book may be further significantly improved and will be grateful to all its users for comments and suggestions in this regard. The author thanks the reviewers of the book Doct.techn.sc, prof L.A. Sheinich, K.K. Pushkareva and S.D. Lapovska for valuable comments and engineers L.I. Nihaeva and L.A.Matsko for technical assistance in the preparing the book for publication.

L.I. Dvorkin
Honored Scientist of Ukraine, cademician of the International Engineering Academy and the Construction Academy of Ukraine, Doct.techn.sc, professor

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1. СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ
STRUCTURE AND PROPERTIES OF BUILDING MATERIALS

1.1. Структура матеріалів. Загальні відомості
Structure of materials. Overview

Під *структурою* матеріалів розуміють їхню будову, яка визначається взаємним розташуванням, формою, розмірами структурних елементів. Структурними елементами можуть бути атоми, іони, молекули, тверді частинки різних розмірів (дисперсності), агрегати частинок, пори, тобто пустоти між частинками, заповнені рідкою чи газоподібною фазою. Частинки - це найдрібніші складові частини речовини, які можна отримувати механічним шляхом (диспергуванням) або фізико-хімічними засобами.

Структуру матеріалів, їхні спільні ознаки та особливості можна розглянути на різних рівнях залежно від розмірів структурних елементів (l). Виділяють чотири рівні структури будівельних матеріалів: атомно-молекулярний ($l<10^{-9}$м); субмікроскопічний ($l=10^{-9}...10^{-7}$ м); мікроскопічний ($l=10^{-7}...10^{-4}$ м); макроскопічний ($l > 10^{-4}$ м).

Структура будівельних матеріалів з часом змінюється під впливом процесів, зумовлених як внутрішньою їх природою, так і навколишнім середовищем. Ці процеси можуть бути конструктивними, що поліпшують структуру і властивості матеріалу, і деструктивними, які спричинюють зворотну дію. Так, розвиток новоутворень у процесі гідратації підвищує міцність бетонів, поліпшує ряд інших властивостей, але водночас під впливом агресивних факторів навколишнього середовища відбуваються корозійні процеси, що мають руйнівний характер. Бажана довговічність матеріалу досягається при формуванні такої його структури, при якій вплив деструктивних процесів стає мінімальним. Характерним прикладом спрямованого формування такої структури є утворення в бетоні за допомогою добавок ПАР повітряних пор, рівномірно розподілених в усьому об'ємі. Такі пори запобігають зростанню тиску води, що виникає при її замерзанні, а також зменшують капілярне всмоктування води внаслідок гідрофобізації поверхні капілярів.

Критеріями ефективності структури найчастіше є показники структурно-чутливих властивостей матеріалів – міцності, теплопровідності, морозостійкості, непроникності тощо. Для досягнення найкращих значень показника конкретної властивості матеріалу потрібна відповідно оптимальна структура. Так, оптимізація структури бетону з позиції міцності вимагає мінімізації об'єму відкритих і замкнутих пор, а з позицій морозостійкості вирішальне значення має забезпечення потрібного співвідношення об'єму замкнутих і умовно-замкнутих пор до об'єму відкритих пор, які насичуються водою.

До параметрів структури належать вміст дисперсної фази та дисперсійного середовища, фазові співвідношення, ступінь однорідності розподілу частинок дисперсної фази в масі середовища тощо. Оптимізація структури матеріалів вимагає врахування взаємозв'язків типу властивість – структура, які формуються на різних рівнях (поліструктурний підхід).

The *structure* of materials determines the mutual location, form and sizes of structural elements. Atoms, ions, molecules, solid particles, aggregates of particles, pores (i.e. voids between particles, filled with liquid or gaseous phase) can be structural elements.

The general signs and features of structural materials, can be considered at different levels depending on the sizes of the structural elements (l). There are four main structural levels which may be defined for construction materials: i.e., atom-molecule ($l < 10^{-9}$ m); submicroscopic ($l = 10^{-9}...10^{-7}$m); microscopic ($l = 10^{-7}...10^{-4}$ m); macroscopic ($l >10^{-4}$ m).

The structure of construction materials changes with time under the influences of processes, predefined both by their internal nature and environment. The development of new formations during hydration process increases concrete strength, improves a series of other properties, but at

Національний університет
водного господарства
та природокористування

the same time under the influence of aggressive environmental conditions processes like corrosion may occur with destructive character. The desired durability of material is achieved by formation of such structure which minimizes destructive processes. The typical example of the directed formation of such structure is formation in concrete air voids by SAS admixtures application uniformly distributed in all the volume. Such pores prevent growth of water pressure which increases as its freezing, and also diminish capillary water suction as a result of hydrophobization of capillaries surface.

The criteria of structure efficiency are the parameters of the main properties of materials, such as strength, thermal conductivity, frost resistance, impermeability, etc. For best performance values of a particular material property is required organization for him an appropriate structure.

Thus, the optimization of concrete structure from the strength point of view requires minimization of the volume of opened and closed pores, and from the point of view of frost-resistance, it is important to provide appropriate ratio between volume of closed and the volume of opened pores to be saturated with water.

The structure parameters are the:- dispersed phase content and dispersion medium, phase relationships, degree of homogeneity of dispersed phase particles distribution in the medium, etc. Optimization of materials structure requires the polystructural approach (taking into consideration of interrelations of property – structure type, formed at all the levels considered).

1.2. Кристалічна структура
Cristalline structure

Кристалічна структура характеризує особливості розташування і взаємозв'язку атомів, іонів і молекул в кристалічних матеріалах.

Кристалічний стан тіла є найстійкішим, оскільки енергія матеріалу при цьому мінімальна. Щільність кристалічної гратки характеризується *координаційним числом*, під яким розуміють кількість атомів, що міститься найближче до даного атома. Половину найменшої відстані між атомами або іонами в кристалічній гратці називають *атомним (іонним) радіусом*. Зі зростанням координаційного числа атомний радіус зменшується, оскільки збільшується відстань між атомами.

Найбільш стабільний стан кристалічної структури речовини досягається тоді, коли катіон контактує з усіма аніонами, що його оточують (рис. 1.1).

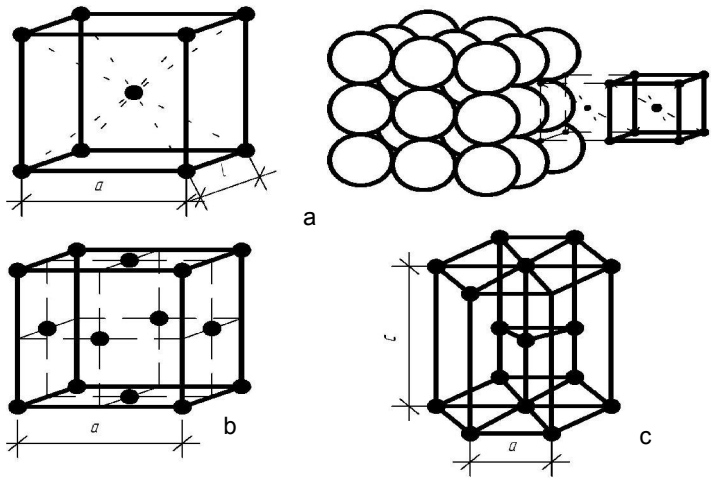

Рис.1.1. Кристалічні гратки металів:
a – об'ємно- центрована кубічна; b - гранецентрована кубічна; c – гексагональна
Fig. 1.1. Crystal lattices of metals:
a – volume centered cubic; b - face-centered cubic; c – hexagonal.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Нестабільні структури з низьким координаційним числом мають при цьому більшу хімічну активність. Наприклад, у метакаоліні, що утворюється в процесі зневоднення каолініту - глинистого мінералу, координація іона Al^{3+} становить 4, а у вихідного каолініту - 6. Отже на відміну від каолініту, метакаолін може хімічно взаємодіяти в нормальних умовах, а також в процесі автоклавної обробки з гідроксидами кальцію і магнію.

Через неоднакову щільність іонів або атомів у різних площинах і напрямках властивості кристалів залежно від напрямку неоднакові. Ця особливість кристалічних тіл називається *анізотропією*. Вона не характерна для аморфних тіл (скло, полімери тощо). Найяскравіше анізотропія проявляється в ланцюжкових та шаруватих структурах.

Будівельні матеріали мінерального походження та метали здебільшого перебувають у стані *полікристалів*, до складу яких входить значна кількість невпорядковано орієнтованих кристалів, що зменшує анізотропію.

Залежно від типу хімічного зв'язку між структурними елементами розрізняють іонні, атомні (ковалентні), металеві, молекулярні зв'язки і кристали з водневим зв'язком (рис.1.2).

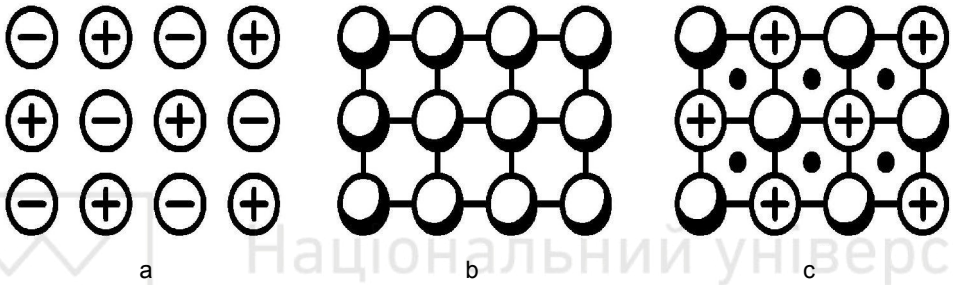

Рис.1.2. Схеми хімічних зв'язків кристалічних граток: a- іонні; b- атомні; c- металеві
Fig.1.2. Schemes of chemical links of crystalline lattices: a- ionic; b- atomic; c- metallic.

Іонний зв'язок характерний для кристалів, які значно відрізняються за електровід'ємністю їх структурних елементів.

Більшість катіонів має менший розмір, ніж аніони, і кристалічна гратка іонних сполук утворюється за рахунок розміщення катіонів у пустотах між аніонами. Характерними властивостями іонних кристалів є низька електропровідність, теплопровідність, крихкість та висока температура плавлення.

У вузлах атомних кристалічних ґраток містяться нейтральні атоми, поєднані *ковалентним зв'язком*. Ці зв'язки досить міцні. Речовини, які мають такі ґратки, тверді, тугоплавкі та практично нерозчинні (алмаз, кремній, сполуки деяких елементів з вуглецем та кремнієм - карбіди та силіциди). Ковалентні кристали утворюються з атомів, які мають близькі значення електровід'ємності. Якщо збільшується різниця в електровід'ємності елементів, то зростає ступінь переходу ковалентного зв'язку в іонний.

У *металевих кристалах* визначальна роль належить електронам. Вони вільно переміщаються між атомами. У вузлах таких кристалів коливаються позитивні іони металу, а валентні електрони перебігають через гратку в різних напрямках. Сукупність вільних електронів іноді називається електронним газом. Така будова ґратки зумовлює високі тепло- й електропровідність і пластичні властивості металів.

У вузлах *молекулярних кристалічних ґраток* розміщені групи атомів або молекули, пов'язані між собою Ван-дер-Ваальсовими силами та дипольними взаємодіями. Молекулярні сили порівняно слабкі, тому молекулярні кристали, що характерні для ряду органічних речовин, легкоплавкі, леткі й мають низьку твердість. Наприклад, кристали парафіну з молекулярною граткою дуже м'які, хоча ковалентні зв'язки С - С між атомами у вуглеводневих молекул досить міцні.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Поширений тип зв'язку в кристалах неорганічних речовин –зв'язок через іон водню, що є між двома аніонами і міцно пов'язує їх. Утворення водневого зв'язку має велике значення в структурах води і багатьох інших сполук, до складу яких входять водень і кисень. Утворенням *водневого зв'язку* пояснюється наявність у воді асоційованих молекул $(H_2O)_n$. Найбільшу стійкість мають подвоєні молекули $(H_2O)_2$, утворення яких супроводжується виникненням двох водневих зв'язків.

The crystalline structure is characterized by feature of the location and relationship of the atoms, ions and molecyls in crystalline materials.

The most persistent state is the crystalline one, as the energy of material here is minimal. The density of crystalline lattice is characterized by *a coordination number* i.e the amount of atoms, nearest to the current atom. Half of the minimal distance between atoms or ions in crystal lattice is called the *atomic(ionic) radius*. When the coordination number increases, the atomic radius reduces because the distance between atoms increases. The most stable state of crystalline structure of a substance is achieved, when cation come in contact with all the surrounding anions (fig.1.1).

In other cases the elements of the lattice reorder, forming an unstable structure with the diminished coordination number. Unstable structures with a low co-ordination number have greater chemical activity. For example, in metakaolin – a product of the process of dehydration of the clay mineral kaolinite, the coordination number for Al^{3+} ion is 4, whereas for the original kaolinite, the coordination number is 6. Consequently unlike kaolinite, metakaolin can chemically react at normal conditions, and also during autoclaving treatment with calcium and magnesium hydroxides.

Because of the different density of ions or atoms in different planes and directions crystals properties depending on direction are different. This feature of crystalline solids is called *anisotropy*. It is not a characteristic of amorphous solids (glass, polymers and others like that). Anisotropy reflects mostly in linked and layer structures.

Mineral construction materials and metals are mostly in the *polycrystalline state*, including most of the chaotically oriented crystals which decreases anisotropy.

Depending on the chemical bond type between structural elements, it is possible to distinguish between ionic, atomic (covalent), metallic, and molecular bond (fig. 1.2) as well as crystals with hydrogen bond.

Ionic bond is typical for crystals which considerably vary in electro-negativity of their structural elements.

Most cations are smaller in size than anions, and the crystalline lattice of ionic compounds form as a result of placing cations in the voids between anions. The characteristic properties of ionic crystals are low conductivity, heat-conducting, brittleness and high temperature of melting.

In the atomic crystalline lattice points there are neutral atoms, bounded by *covalent bonds*. These bonds are very strong. Consequently, substances which have such lattices, are hard, refractory and practically insoluble (diamond, silicon, compounds of some elements, with a carbon and silicon - carbides and silicides). Covalent crystals are formed of atoms which have nearest values of electronegativity. If the difference in electronegativity of elements increases, the degree of transition of the covalent bond into ionic grows.

In *metallic crystals* electrons play an outstanding role. They move freely among the atoms. Positive metal ions oscillate in the points of such crystals, and valent electrons move through the lattice in different directions. The totality of free electrons is sometimes called electron gas. Such lattice structure cause high heat and electric conductance and plasticity of metals.

The groups of atoms or molecules, bonded between themselves by Van der Waals forces and dipole interactions, are placed in the points *of molecular crystalline lattices*.

Molecular forces are comparatively weak, therefore molecular crystals, characterized by row of organic matters, fusible, and volatiles, have low hardness. For example, the crystals of paraffin with a molecular lattice are very soft, although covalent bonds C - C between atoms of hydrocarbon molecules are strong enough.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The type of widespread connection in the inorganic crystals is due to hydrogen ion bond, between two anions tightly linked together.

Formation of *hydrogen bond*, involving hydrogen and oxygen atoms, matters very much in the structures of water and many other compounds. Formation of hydrogen bond explains presence of associated molecules $(H_2O)_n$ water. The doubled molecules $(H_2O)_2$ are the most strong, and its formation is accompanied by two hydrogen bonds.

1.3. Аморфна структура
Amorphous structure

Аморфна структура, як і структура рідин характеризується так званим близьким порядком, коли упорядкований стан спостерігається тільки між сусідніми частинками матеріалу (рис. 1.3). До головних відмінностей аморфних, у тому числі склоподібних структур, належать ізотропність властивостей та відсутність сталої температури плавлення. Відсутність кристалічної ґратки веде до плавної зміни властивостей аморфних матеріалів при переході їх із твердого стану в рідкий.

Аморфні тіла можна розглядати як переохолоджені рідини. Проте на відміну від рідин у них не відбувається швидкого обміну місцями між сусідніми частинками, що зумовлює високу їх в'язкість.

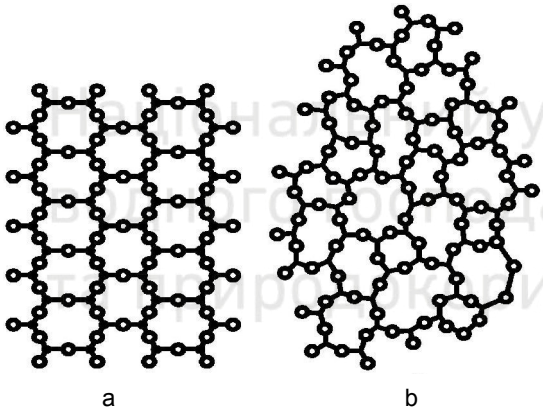

Рис. 1.3. Схема просторової гратки кремнезему:
a- кристалічного; b- аморфного
Fig. 1.3. Scheme of space lattice of silica:
a- crystalline; b- amorphous.

Amorphous structure of materials, as well as the structure of liquids is characterized by the so-called short-range order, when the well-organized state is observed only between the neighboring particles of a material (fig.1.3). The main peculiarities of amorphous and glassy structures are derived from the isotropic properties and absence of constant melting temperature. The absence of crystalline lattice causes smooth variation of amorphous materials properties at the solid-liquid transition.

The amorphous substances can be considered as supercooled liquids, but unlike liquids in them there is not a rapid exchange placed between nearby particles, what explains their high viscidity.

1.4. Рентгенівські методи
X-ray methods

До найважливіших методів дослідження структур матеріалів належать *рентгенівські методи*. Рентгенівські промені, проходячи через кристалічні ґратки, зазнають дифракції, оскільки міжатомні відстані в них сумірні з довжиною хвиль рентгенівського випромінювання. Кожен кристал на рентгенограмах дає характерні лінії, які відрізняються

Національний університет
водного господарства
та природокористування

розташуванням та інтенсивністю. Визначивши відстань між площинами та відносну інтенсивність ліній, можна порівнянням із табличними даними, складеними попередньо для відомих речовин, визначити фазовий склад досліджуваного матеріалу.

Розшифрування рентгенограм також дає змогу визначити характер дефектів, тип елементарної комірки, положення атомів або іонів та інші особливості структури атомно-молекулярного рівня структури матеріалів.

X-ray methods are the main methods used for the investigation of the structure of materials. X-rays, passing through crystalline lattices, are exposed to diffraction, as interatomic distances are compatible with length of X-ray waves. Every crystal has an X-rays diffraction pattern with characteristic lines which differ by location and intensity. By defining the distance between planes and relative intensity of lines, it is possible to define phase composition of the probed material by comparing with tabular information, preliminarily compiled for the known substances.

Decoding of X-rays diffraction pattern also enables an investigator to define character of defects, type of elementary unit, position of atoms or ions and other peculiarities of atomic-molecular level of material structure.

1.5. Спектроскопічні методи
Spectroscopic methods

На квантових уявленнях засновані *спектроскопічні методи* дослідження структури матеріалів. Для фазового аналізу застосовують інфрачервону спектроскопію, що ґрунтується на здатності хімічних сполук вибірково поглинати промені в інфрачервоній області спектра. На явищі електронного парамагнітного резонансу, що полягає в резонансному поглинанні енергії радіочастотного поля в речовинах, які містять парамагнітні частинки при накладанні магнітного поля, заснований метод, який дає можливість досліджувати характер хімічних зв'язків у матеріалах, їхні валентні стани і ряд інших структурних особливостей. Рентгенівську спектроскопію застосовують, вивчаючи енергетичні особливості атомно-молекулярної структури та проводячи хімічний експрес-аналіз.

Spectroscopic methods for assessing the structure of materials are based on quantum concepts. For a phase analysis infrared spectroscopy, which is based on the ability of compounds to absorb the rays in the infrared area of spectrum preferentially, is usually applied. The method enables investigation of the character of chemical connections in materials, their valence states and a series of other structural features. It is based on the phenomenon of electronic paramagnetic resonance, which consists in resonance absorption of energy of the radio frequency field in matters which contain paramagnetic particles at the imposition of magnetic-field. X-ray spectroscopy is applied in studying the energy features of atomic-molecular structure and in conducting chemical express-analysis.

1.6. Електронно-графічний аналіз і електронна мікроскопія
Electron-diffraction analysis and electron microscopy

Електронно-графічний аналіз, заснований на використанні електронних хвиль, які мають довжину на один-два порядки меншу за рентгенівські хвилі й тому здатні проникати в ґратку на глибину не більш ніж 10 атомних шарів. Електронні хвилі отримують у закритій скляній трубці з вакуумом за рахунок пучка електронів від розжареної струмом високої напруги нитки вольфрамового сплаву.

Використання пучка електронів з довжиною хвиль на кілька порядків меншою від довжини хвиль видимого світла покладено також в основу *електронної мікроскопії*, яка дає змогу вивчити об'єкти розміром 6…10мкм при збільшенні до 200 тис. разів.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Electron-diffraction analysis based on the use of electron waves, having a length of one to two orders of magnitude smaller and therefore X-ray wave length capable of penetrating into the lattice to a depth of no more than 10 atomic layers. Electronic waves are produced in a closed glass tube with vacuum from the electrons beam from the high-voltage tempered tungsten alloy filament.

Using an electron beam with a wave length of several orders of magnitude less than the wave lengths of visible light lies in the basis of *electron microscopy*, which allows us to study objects as small as 6…10 microns with an increase up to 200 thousand once.

1.7. Дисперсні системи
Disperse systems

Більшість будівельних матеріалів належать до гетерогенних *дисперсних систем*, які складаються з двох і більше фаз. У дисперсних системах одна чи кілька речовин (дисперсна фаза) є дрібними частинками або порами, розподіленими в навколишньому дисперсійному середовищі. Дисперсність системи характеризує площа питомої поверхні, під якою розуміють відношення загальної площі дисперсної фази до її загального об'єму або маси.

Розрізняють *мікрогетерогенні системи*, в яких дисперсна фаза містить частинки розміром понад 10^{-7} м, та колоїдні системи з розміром частинок дисперсної фази 10^{-9}…10^{-7} м. Дисперсні системи поділяють на три основні групи, які відрізняються фазовим складом дисперсійного середовища - твердим, рідким і газоподібним. При цьому дисперсні фази в системах кожної групи також можуть перебувати в трьох агрегатних станах.

У будівельних матеріалах, які належать до дисперсних систем, дисперсну фазу найчастіше складають тверді частинки. Це різноманітні порошки, суспензії, пасти, пластично-в'язкі рідиноподібні суміші, в'яжучі речовини, пластмаси, лакофарбові сполуки, керамічні маси, розчини та бетонні суміші, розплави склоподібних речовин тощо. У деяких матеріалах дисперсна фаза може бути рідкою (полімерні емульсії) або газоподібною (пористі гірські породи, ніздрюваті бетони, піноскло, пінопласти тощо).

Most construction materials belong to the heterogeneous *disperse systems*, which consist from two and more phases. In the disperse systems one or several substances (disperse phase) are fine particles or pores, distributed in a dispersion medium. Dispersity of a system is characterized by the specific area (ratio of general area of disperse phase to its general volume or the mass).

It is also possible to distinguish *micro-heterogeneous systems*, where disperse phase contains particles over 10^{-7} m in size , and colloid systems with the size of particles of disperse phase measuring between 10^{-9} and 10^{-7} m. Disperse systems are divided into three basic groups, which differ by phase composition of disperse environment - solid, liquid and gaseous. Thus disperse phases in the systems of every group also can be in three aggregate states.

In construction materials, which belong to the disperse systems, a disperse phase consists of solid particles more frequently. There are various powders, suspensions, pastes, yielding liquid-like mixtures, binders, plastics, paint-and-lacquer materials, ceramic masses, mortars and concrete mixtures, melts of glassy substances, etc. In some materials a disperse phase can be liquid (polymer emulsions) or gaseous (porous rocks, cellular concretes, foam glass, foam plastics, etc.).

1.8. Колоїдні системи
Colloid systems

Колоїдні системи мають розмір частинок дисперсної фази 10^{-9}…10^{-7} м. Для колоїдних систем можна застосувати ряд положень молекулярно-кінетичної теорії. Зокрема, в колоїдних розчинах (золях) так само, як в істинних, дисперсні частинки здатні брати участь у тепловому русі. Водночас значно більші порівняно із звичайними молекулами розміри колоїдних частинок зумовлюють незначний осмотичний тиск колоїдних речовин, їх повільну

Національний університет
водного господарства
та природокористування

дифузію. Всі колоїдні системи седиментаційно стійкі, тому що сила тяжіння в них врівноважується дифузією.

Колоїдні частинки характеризуються певними зарядами і переміщаються в електричному полі до протилежно зарядженого електрода (*електрофорез*). Через зовнішню різницю потенціалів рідка фаза в колоїдній системі здатна переміщатися відносно нерухомого твердого пористого середовища (*електроосмос*) (рис.1.4). Електрокінетичні явища, характерні для колоїдів, використовують в технології будівельних матеріалів. Так, за допомогою електрофорезу можна підготувати керамічні маси для формування фарфоро-фаянсових виробів, відокремити від них дрібні частинки, що не піддаються фільтрації, отримати гумові вироби з латексів. Електроосмос використовують при зневодненні деревини та в інших технологіях промислової обробки різноманітних пористих матеріалів.

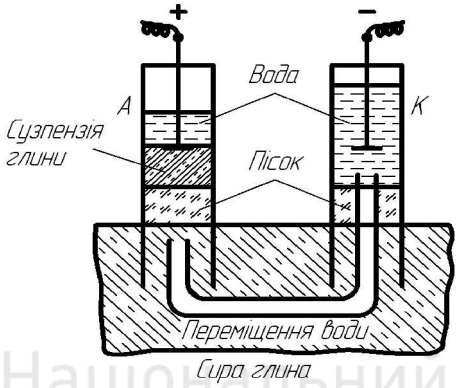

Рис. 1.4. Схема електрофорезу і електроосмосу
Fig. 1.4. Scheme of electrophoresis and electroosmosis

У результаті перерозподілу електричного заряду на межі поділу двох фаз різного хімічного складу виникає подвійний електричний шар, який складається з двох частин: щільнішої внутрішньої і дифузійної зовнішньої. Різницю потенціалів між двома частинами подвійного електричного шару називають *електрокінетичним, або дзета-потенціалом (ζ-дзета*). Потенціал визначають за швидкістю електроосмосу або електрофорезу. Він має велике значення для характеристики колоїдних систем, зокрема, відображає їхню стійкість. На показник і знак ζ-потенціалу колоїдних розчинів суттєво впливають добавки ПАР та електролітів. Якщо ζ - потенціал дорівнює нулю (ізоелектричний стан), то система нездатна мати електрокінетичні властивості. Якщо ζ - потенціал становить 25...30 мВ, то відбувається *коагуляція*, тобто агрегація колоїдних частинок. Внаслідок зчеплення невпорядковано розподілених твердих частинок дисперсної фази в суспензіях та колоїдних розчинах утворюється просторова сітка, або коагуляційна структура. Утворення таких структур характерне для багатьох матеріалів, наприклад, на основі в'яжучих речовин, у перший період їх твердіння.

Colloid systems have the particles of dispers phase with the size 10^{-9}… 10^{-7} m. For the colloid systems it is possible to apply a series of molecular kinetic theory positions. In particular, in colloid solutions (sols) the same as in true ones, disperse particles are able to take part in thermal motion. At the same time sizes of colloid particles, considerably larger than ordinary molecules sizes, predetermine the insignificant osmotic pressure of colloid substances, their slow diffusion. All the colloid systems are resistant to sedimentation, because the gravity in them becomes balanced diffusion.

Colloid particles have certain charges and move in the electric field to the oppositely charged electrode (*electrophoresis*) (fig.1.4). Because of the external difference of potentials a liquid phase in the colloid system is able to move in relation to an immobile hard porous environment (*electroosmosis*). The electrokinetic phenomena, which are characteristic of colloids, are used in the technology of construction materials. Thus, by electrophoresis it is possible to prepare ceramic masses for forming of porcelain and faiences, to separate fine particles, to get

Національний університет
водного господарства
та природокористування
rubber products from latex. An electroosmosis is used for wood dehydration and in other technologies of industrial treatment of various porous materials.

As a result of redistribution of electric charge at the interphase boundary of two different chemical compositions there is a double electric layer which consists of two parts: denser internal and diffusive external. The difference of potentials between two parts of double electric layer is called *electrokinetic*, or *ζ -potential* (*ζ -zeta*). Potential is determined by speed of electroosmosis or electrophoresis. It is a very important influence for the colloid systems and represents their stability. The SAS and electrolytes additives make a significant influence on an index and sign of colloid solutions ζ-potential. If ζ- potential is equal to zero (isoelectric state), the system is unable to have electrokinetic characteristics. If ζ- potential is 25...30 mV, there is *coagulation*, i.e. aggregation of colloid particles. As a result of cohesion of disorderedly distributed solid particles of disperse phase in suspensions and colloid solutions, a coagulation structure is formed. Formation of such structures is typical for row of the materials, in particular materials based on mineral binders at the first period of their hardening.

1.9. Адсорбція
Adsorption

Вільна енергія матеріалів може зменшуватися за рахунок зниження поверхневого натягу при поглинанні активних речовин на поверхні поділу фаз – *адсорбції*.

Адсорбція на твердих поверхнях (адсорбентах) недисоціюючих або слабкодисоціюючих речовин (*молекулярна адсорбція*) є оберненою і з підвищенням температури зменшується. При адсорбції з водних розчинів сильних електролітів *(іонна адсорбція*) процес характеризується необерненістю і можливим збільшенням інтенсивності у разі підвищення температури.

Якщо молекулярна адсорбція зумовлена силами молекулярної взаємодії, то іонна приводить до утворення поверхневих хімічних сполук (*хемосорбція*). При іонній адсорбції у разі, коли адсорбент на своїй поверхні має інший електроліт, ніж той, що є в розчині, відбувається іонний обмін, внаслідок чого одні іони витісняють інші.

В технології будівельних матеріалів широко використовується явище адсорбції поверхнево-активних речовин (ПАР) на твердих поверхнях, в результаті чого змінюється їх змочуваність, зменшується твердість (ефект Ребіндера) покращується пластичність та ін.

Free energy of materials can decrease due to the surface tension decline at active substances absorption on the phase interface – *adsorption*.

Adsorption on solid surfaces (adsorbents) of nondissociated or slightly dissociated substances *(molecular adsorption*) is inversed and decreases with temperature increase. The process of adsorption of strong electrolytes from water solutions (*ionic adsorption*) is irreversible and its intensity can increase with increasing temperature.

If the molecular adsorption due to molecular interaction forces, the ionic results in the formation of surface chemical compounds (*chemisorption*). At the ion adsorption in case if the adsorbent on its surface has a different electrolyte than the one that is in solution, the ion exchange takes place, whereby some displace other ions.

Surfase active substances (SAS) adsorption phenomenon on solid surfaces is widely used in the technology of construction materials, resulting in changes in their wettability, decreasing the hardness (Rehbinder effect), improving plasticity and other properties.

1.10. Поверхнево-активні речовини
Surface-active substances

До *поверхнево-активних речовин* (ПАР) належать речовини здебільшого органічного походження, до молекул яких входять як полярні, так і неполярні групи. Ця особливість

Національний університет
водного господарства
та природокористування

будови молекул ПАР (рис. 1.5) пояснює їхню здатність адсорбуватися на поверхні поділу фаз і орієнтуватися так, щоб полярні групи (OH, COOH, NH_2 та ін.) були спрямовані до полярних фаз системи (наприклад, до молекул води), а неполярні (вуглеводневий ланцюг) – до неполярної фази (наприклад, повітря). В технології будівельних матеріалів широко використовується явище адсорбції ПАР на твердих поверхнях, в результаті чого змінюється їхня змочуваність відносно рідин, зменшується твердість (ефект Ребіндера), поліпшується пластичність і змінюються інші властивості.

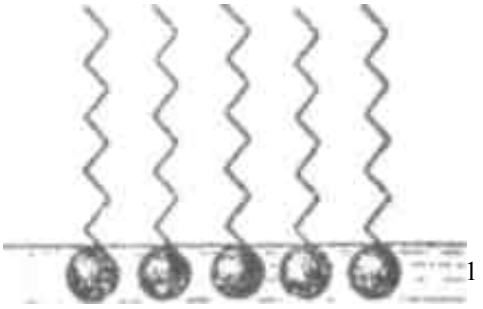

Рис. 1.5 . Адсорбційний шар: 1 - поверхня розділу фаз;2 – ПАР
Fig. 1.5. Adsorption layer: 1 - the interface; 2 - SAS

Most organic materials, containing both polar and non-polar groups in molecules are in the group of *surface-active substances* (SAS). This peculiarity of SAS molecules structure (fig. 1.5.) explains their ability to adsorb at the `phase interface and orient in such manner that polar groups (ON, COOH, NH_2 and others) are directed to the polar phases of the system (for example, to the water molecules), and non-polar (hydrocarbon chain) are directed to the non-polar phase (e. g, air). In technology of construction materials the phenomenon of SAS adsorption on solid surfaces is widely used for the improvement of wettability of solid surface by the liquids and also reduction of their hardness, plasticity improvements and other property changes.

1.11. Коагуляційні структури
Coagulation structures

Мінімізація вільної енергії та перехід системи в термодинамічно стійкий стан стають можливими внаслідок зменшення поверхні поділу фаз, що досягається довільною коагуляцією або злипанням частинок у колоїдних системах.

Коагуляційні структури інколи називають *гелями*. Під гелеутворенням розуміють перехід колоїдного розчину з вільнодисперсного стану (золь) у зв'язнодисперсний (гель). На гелеутворення, тобто на процес коагуляції, впливають різні фактори, зокрема форма частинок, концентрація дисперсної фази, температура суміші, види механічних дій (змішування, вібрування). Коагуляцію спричинюють електроліти, при цьому коагулюючи сила іонів зв’язана з їх зарядом.

Процес, зворотній коагуляції, тобто перехід агрегованих частинок у вихідний колоїдний стан, називається *пептизацією*. Він може відбуватися під впливом речовин-пептизаторів, що сприяють деагрегуванню осадів (наприклад, добавок електролітів, ПАР).

Коагуляційні системи розріджуються також під впливом механічних дій при змішуванні, струшуванні або вібруванні. Цей ізотермічний процес, що протікає за типом гель-золь, називають *тиксотропією*. Явище тиксотропії свідчить, що в коагуляційних колоїдних системах структуроутворення відбувається за рахунок Ван-дер-Ваальсівських сил. Після припинення механічних дій зв’язки, порушені в коагуляційній структурі, відновлюються.

Коагуляційні структури для багатьох будівельних матеріалів, зокрема на основі в'яжучих речовин, є первинними. Вони з часом переходять у *конденсаційно-кристалізаційні*

Національний університет
водного господарства
та природокористування

(за класифікацією П.О.Ребіндера). При утворенні таких структур розвивається сітка хімічних зв'язків (наприклад, при просторовій полімеризації, утворенні драглів кремнекислоти у воді, випалюванні керамічних та інших виробів) (рис.1.6). Конденсаційно-кристалізаційні структури з характерними необоротними контактами мають високу міцність, малу пластичність і не відновлюються після механічного руйнування.

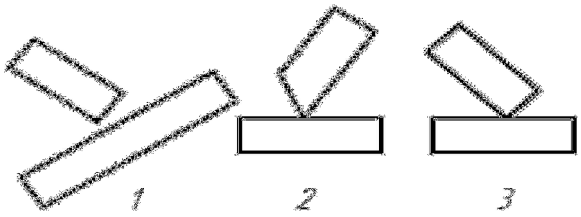

Рис. 1.6. Види контактів у просторових структурах: 1- коагуляційні; 2- точкові (після висихання); 3- фазові (після спікання або зростання)
Fig. 1.6. Types of contacts in the spatial structures: 1- coagulation; 2- point contact (after drying); 3- phase (after sintering or intergrowth)

Поряд з коагуляційними та конденсаційно-кристалізаційними структурами можуть бути й структури проміжного типу. Наприклад, якщо склад твердої фази і відповідно міцність коагуляційної структури перевищує деяку межу, то її механічне руйнування стає необоротним. Серед таких об'єктів – висушені керамічні пасти, відпресовані напівсухим способом прес-порошки та інш.

Minimization of free energy and transition of the system in the thermodynamic stable state become possible due to diminishing of the phase interface, which is achieved by the arbitrary coagulation or agglomeration of particles in the colloid systems.

Coagulation structures sometimes are called *gels*. Gelatinization is transition of colloid solution from the freely dispersed state (sol) to the bound dispersed (gel). Different factors make influence on gelatinization, that is coagulation process, in particular form of particles, concentration of disperse phase, temperature of mixture, types of mechanical actions (mixing, vibration). Coagulation is caused by electrolytes while the power of coagulation ions associated with their charge.

A process, which is the reverse coagulation, (i.e., the passing of aggregated particles to the initial colloid state), is called *peptization*. It can take place under the influence of substances - which promote disaggregation of sediments (for example, additions of electrolytes, SAS).

Coagulation structures are rarefied also under mechanical actions such as mixing, shaking or vibration. This isothermal process which flows as a type gel - sol is called *thixotropy*. The phenomenon of thixotropy proves that structure-forming in the coagulation colloid systems takes place due to Van der Waals forces. After mechanical actions stops, bonds broken in the process of coagulation structure formation, become renewed. A thixotropy is widely applied in technologies of construction materials, for example, for the vibratory compacting of concrete mixture.

Coagulation structures for many construction materials, in particular binders based, are primary. They transform into *condensation crystallization structures* in the course of time. The network of chemical bonds develop during formation of such structures (fig.1.6) (for example, during spatial polymerization, formation of gel-like silicic acid in water, burning-out of ceramic and other products). Condensation crystallization structures with characteristic irreversible contacts have high strength, low plasticity and do not renew after mechanical destruction.

Along with coagulation and condensation crystallization structures there can be structures of intermediate type. For example, if composition of solid phase and accordingly strength of coagulation structure exceeds some limit, its mechanical destruction becomes irreversible. Dried ceramic pastes, pressed by dry method moldings powders, are such objects.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1.12. Міцелярна структура
Micellar structure

Міцела - це найменша кількість колоїдної речовини, що є складним утворенням, в якому частинки дисперсної фази (ядро) перебувають у певному фізико-хімічному зв'язку з розчином через подвійний електричний шар іонів (рис. 1.7). Вплив міцелярної будови відчутно позначається на властивостях будівельних матеріалів. Наприклад, тверда дисперсна фаза бітуму – асфальтени утворює ядра, оточені оболонкою рідкого середовища - від важких смол до порівняно легких масел. У разі надлишку рідкого середовища міцели не контактують між собою і вільно пересуваються під впливом броунівського руху.

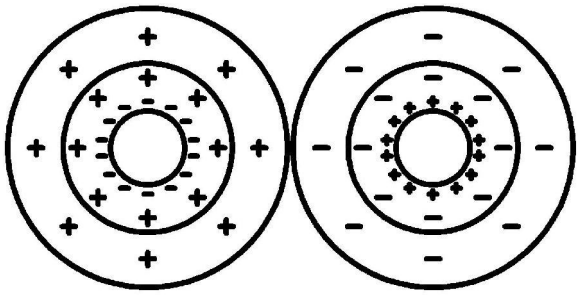

Рис. 1.7. Будова міцели: a- з позитивно зарядженою частинкою; b- з від'ємно зарядженою частинкою.
Fig. 1.7. Micela structure: a- with positive charge of particle; b- with negative charge of particle.

Ця структура характерна для рідких бітумів. При нагріванні в'язкого бітуму колоїдний розчин типу гель руйнується, якщо концентрація міцел збільшується, то бітум знову набуває структури гелю.

Micelle is the minimum of colloid, which is a complex formation, in which particles of disperse phase (nucleus) are in certain physical and chemical bound with solution through the ionic double electric layer (fig. 1.7). Micellar structure impacts significantly the properties of construction materials. E.g., solid disperse phase of bitumen – asphaltenes form nuclei, covered by shell of liquid medium - from heavy resins to comparatively light oils. In the case of liquid medium excess micelle does not make contact with each other and move freely under the influence of Brownian movement. Such a structure is characteristic of liquid bitumen. On heating viscous bitumen, the gel type colloid solution destroys, but if the micelle concentration increases the bitumen gains the gel structure.

1.13. Порошки
Powders

Порошки – мікрогетерогенні дисперсні системи, дисперсійним середовищем в яких є повітря. Порошки отримують, переважно використовуючи різні методи подрібнення. Дисперсність порошків контролюють за площею питомої поверхні (чи просто – *питомою поверхнею*) й зерновим складом. Серед методів визначення питомої поверхні будівельних порошків поширений метод, заснований на вимірюванні опору, який чинить шар досліджуваного матеріалу повітрю, що крізь цей шар проходить.

Для визначення зернового складу порошків використовують *ситовий* та *седиментаційний аналізи*. Седиментаційний аналіз пов'язаний з тим, що швидкість осідання частинок у рідкому середовищі змінюється залежно від їхніх розмірів.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Зменшення розмірів зерен у порошках нижче критичного рівня спричинює їх злипання та гранулювання. Гранулювання порошків відбувається завдяки зменшенню поверхневої енергії системи при злипанні частинок, Активізації цього процесу сприяє змочуваність поверхні твердої фази рідиною. Це забезпечує утворення на межі поділу прошарку з підвищеною в'язкістю, що збільшує адгезійну взаємодію.

За формою зернин у порошкоподібних матеріалах розрізняють ізометричні (кулясті, багатогранні) та неізометричні (волокнисті або у вигляді голок, пластинчасті тощо) зерна. Існує багато перехідних форм зерен. Неізометричність зерен впливає на їх розташування в просторі й призводить до анізотропності властивостей порошків.

Powders – microheterogeneous disperse systems, where air is a dispersion medium. Powders are obtained mainly, using the different methods of grinding. Dispersity of powders is controlled by the specific surface area (or just – by a *specific surface*) and grain distribution. Among the methods of specific surface determination of construction powders method based on measuring of layer resistance of the material under research to the air, passing through this layer is widely used.

For determination of grain distribution of powder *screen* and *sedimentation analyses* are used. Sedimentation analysis is related to speed of particles setting in a liquid medium changes depending on their sizes.

Diminishing of grains sizes in powders below critical level causes their agglutination and granulation. Granulation of powders takes place due to diminishing of surface energy of the system at particles agglutination. The wettability of solid phase surface by a liquid favors the activation of this process. It provides formation of a layer with raised viscosity which increases adhesive interaction at the interface.

Grains forms in powder materials can be distinguished as: isometric (spherical, polyhedral) and anisomeric (fibrous or needle-like, lamellar, etc.) grains. There are a lot of transitional forms of grains. The Anisometry of grains influences their location in space and results in anisotropy of powders properties.

1.14. Суспензії та емульсії
Suspensions and emulsions

Суспензії та *емульсії* - це мікрогетерогенні системи, в яких відповідно тверда або рідка дисперсні фази розподілені в рідкому дисперсному середовищі. У виробництві будівельних матеріалів суспензії широко використовують при отриманні сировинних шламів, шлікерів, розчинів. Емульсії застосовують, зокрема, як лакофарбові матеріали. Концентровані суспензії називають *пастами*. Мікроструктуру бітумної пасти наведено на рис. 1.8.

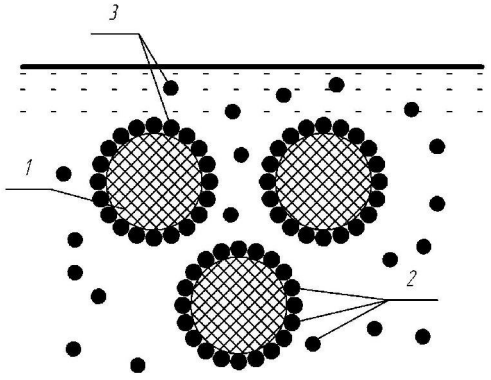

Рис. 1.8. Структура бітумної пасти:
1- бітум; 2- частинки емульгатора; 3- гідратаційні плівки води
Fig. 1.8. Structure of bitumen paste: 1- bitumen; 2- emulsifier particles;
3- hydration water films..

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Для забезпечення стійкості суспензій та емульсій та запобігання коагуляції (злипання крапель емульсії називають *коалесценцією*), потрібно, щоб їхні частинки були вкриті оболонками з молекул дисперсійного середовища (*сольватними оболонками*). Це можливо, якщо дисперсійне середовище змочує частинки дисперсної фази. Змочуваність частинок можна поліпшити, використовуючи добавки ПАР. Стабілізації системи сприяє утворення навколо мінеральних частинок подвійного електричного шару іонів.

Емульсії можуть бути прямими та оберненими (рис. 1.9). У прямих емульсіях, або емульсіях першого роду, дисперсна фаза є неполярною або слабкополярною рідиною (наприклад, масло), а дисперсійне середовище – полярне, у обернених (другого роду) – навпаки Водорозчинні емульгатори сприяють утворенню емульсій типу масло у воді (М/В), а нерозчинні - типу вода у маслі (В/М). Характерними емульгаторами є високомолекулярні сполуки та мила. Емульгаторами можуть бути також порошки, які добре змочуються дисперсійним середовищем і мають розміри зерен як мінімум на порядок менші від розміру частинок дисперсної фази.

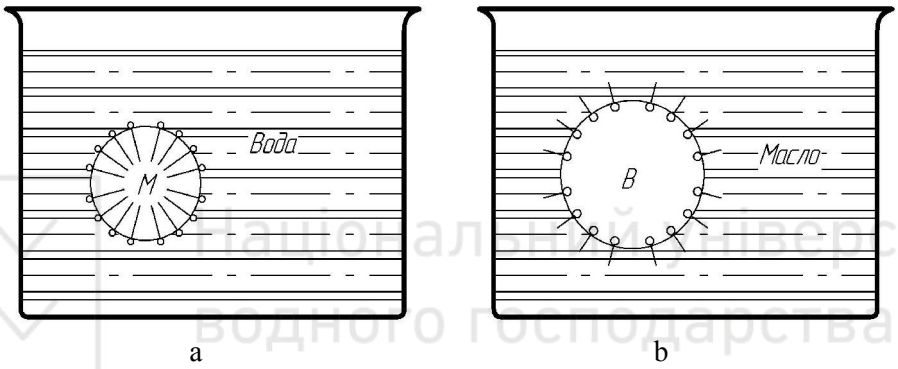

Рис. 1.9. Типи емульсій: a- пряма; b - обернена В/М.
Fig. 1.9. Types of emulsions: a- direct W/O; b- inverse W/O.

Suspensions and *emulsions* are microheterogeneous systems where accordingly solid or liquid dispersed phases are allocated in liquid dispersion medium. Suspensions are widely used in construction materials production at obtaining raw sludges, slurries, and mortars. Emulsions are applied particularly as paint-and-lacquer materials. Concentrated suspensions are called *pastes*. Microstructure of bitumen paste is shown in fig. 1.8.

For stability of suspensions and emulsions, that is for preventing coagulation (agglutination of emulsion drops, is called *coalescence*), it is required, that their particles should be covered by the shells made of dispersion medium molecules (*solvate shells*). It is possible when dispersion medium wets the disperse phase. Wettability of particles can be improved by SAS application. Formation of double electrical layer of ions around mineral particles facilitates system stabilization.

Emulsions can be direct and inverse fig. 1.9. Disperse phase in direct or first type emulsions is nonpolar or weakly polar liquid (e.g., oil), and dispersion medium is polar, in invers emulsions (second type.) – conversely. Water soluble emulsifiers promote formation of oil in water type emulsions (O/W), and nonsoluble – water in oil type (W/O). High-molecular compositions and soaps are representative emulsifiers. Powders which are well-wetted by dispersion medium and have substantially smaller grains sizes than disperse phase particles can also be the emulgators.

1.15. Піни
Foams

До *пін* належать висококонцентровані системи, в яких дисперсна фаза - газ, дисперсійне середовище - рідина. Як будівельні матеріали, переважно теплоізоляційні,

Національний університет
водного господарства
та природокористування

застосовують тверді піни, в яких перетинки між газовими бульбашками подані твердою фазою (пінопласти, піноскло, газо- й пінобетони).

Для отримання стійких пін використовують піноутворювачі -високомолекулярні речовини, мила та інші сполуки, які мають високу активність поверхні. Основними показниками пін є кратність, дисперсність та стійкість.

Кратність піни - це відношення її об'єму до об'єму рідкої чи твердої фази, що утворює стінки бульбашок. *Стійкість піни* вимірюється строком її існування й залежить від міцності плівок. Тверді піни мають практично необмежену стійкість.

Піни, як й інші дисперсні системи, можна отримати двома шляхами: конденсаційним - об'єднуванням дуже дрібних бульбашок у крупніші та дисперсійним - подрібненням крупних бульбашок і газових включень.

Highly-concentrated systems in which gas is a disperse phase and liquid is disperse medium are *foams*. As construction materials, mainly heat-insulating ones, solid foams, where straps between gas bubbles are in solid phase (foam plastics, foam glass, gas- and foam concrete) are used. To obtain stable foams foaming agents as highly molecular substances, soap and other compositions which have high activity of surface are used. The basic indexes of foams are multiplicity, dispersity and stableness.

The *multiplicity* of foams refers to foam volume ratio to the volume of liquid or solid phase formed at sides of bubbles. *Stableness* of the foam is measured by the term of its existence and depends on the durability of films. Solid foams have unlimited stableness practically.

Foams, as well as other disperse systems, are obtained by two ways: by condensation -the association of ultrafine bubbles in larger ones and by dispersion - grinding of large bubbles and occluded gas.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1.16. Наповнювачі
Fillers

*Наповнювач*і - це високодисперсні компоненти матеріалів, які самостійно не утворюють структуру твердіння, але активно втручаються в її формування разом із цементуючими речовинами. Для будівельних матеріалів на основі мінеральних в'яжучих наповнювачі утворюють первинні адгезійні контакти на стадії формування коагуляційної структури, що переходять в міру гідратації в необоротні контакти зрощення, міцність і структура яких визначають ефективність наповнювача. Наповнювачі, зменшуючи енергію на поверхні поділу фаз, прискорюють тим самим кристалізацію новоутворень. Вони також можуть вступати в хімічну взаємодію з продуктами гідратації в'яжучого і збільшувати, таким чином, об'єм новоутворень.

Перехід в'яжучих речовин у наповнених системах від об'ємного стану до тонкоплівкового дає змогу суттєво поліпшити їхні технічні властивості і зменшити витрати.

Fillers are fine-grained materials components, which do not form the hardening structure independently, but actively interfere in its forming jointly with cementations substances. For construction materials based on mineral binders fillers form primary adhesive contacts at the stage of coagulation structure forming, that transform with hydration in the irreversible contacts of intergrowth. Fillers, diminishing energy at the interface, accelerate crystallization of new formations in the same time. They also can interact with the products of binder hydration and to increase, thus, volume of new formations.

Transition of binders in the filling systems from volume state to thin-film state gives the possibility to improve substantially their technical properties and decrease expenses.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1.17. Види пор
Types of pores

Найважливішими елементами структури матеріалів, що визначають їхні властивості, є пори. Найдрібніші пори (*ультрамікропори*) виникають внаслідок анізотропії властивостей кристалів і частинок конденсаційних структур, а також їх орієнтації в просторі у процесі росту. Прикладами таких пор є пори в частинках гідратованого цементу (так звані *гелеві пори*), розмір яких становить $(15...30)10^{-8}$ м. Вода в них перебуває під сильною дією поля сил стінок пор. З цієї причини багато її властивостей (густина, в'язкість, теплопровідність тощо) мають аномальний характер.

Крупніші пори штучних матеріалів здебільшого мають технологічне походження. Вони виникають внаслідок нещільного укладання суміші, защемлення повітря, випаровування надлишкової води, деструктивних процесів вилуговування, дегідратації або вивітрювання тощо.

Пори можна поділити на дві групи: капілярні та некапілярні. В *капілярних порах* поверхня рідин набуває форму, зумовлену силами поверхневого натягу і мало спотворюється за рахунок ваги.

Мікрокапіляри (r < 0,1 мкм) в результаті характерного для них ефекту капілярної конденсації можуть бути повністю заповнені рідиною за рахунок поглинання її парів з навколишнього середовища.

Макрокапіляри (1,0 > r >0,1 мкм) можуть бути заповнені рідиною тільки у разі безпосереднього контакту з нею. Крім того, особливістю макрокапілярів є те, що вони не тільки не адсорбують вологу повітря, а, навпаки, віддають вологу в атмосферу.

Щоб оцінити вплив структури на властивості матеріалів, застосовують поняття *пористості* - відношення об'єму пор до загального об'єму матеріалу. Інтегральними параметрами порового простору є істинна (або повна), відкрита (або уявна) та умовно-замкнена пористість тощо. При цьому важливо розрізняти пори за їхніми розмірами, формою, характером. Існує ряд методів визначення пористості та структури порового простору. Для визначення ультрамікропор застосовують, наприклад, метод адсорбції гелію, для мікропор - методи електронної мікроскопії, адсорбції азоту й метанолу, для макропор - ртутну порометрію.

The major elements of materials structure which determine their properties, are pores. Finest pores (*ultramicropores*) appear as a result of anisotropy of properties of crystals and particles of condensation structures, and also their random orientation in space in growth process. The examples of such pores are pores in the particles of the hydrated cement (so-called *gel pores*), the size of which is $(15...30)10^{-8}$ m. Water in the such pores is under the strong action of the field of forces of pores walls. Because of this most of water properties (density, viscosity, heat-conductance, etc.) have anomalous character.

Larger pores of artificial materials are mostly technological by origin. They appear as a result of loose mixture placing, air entrapping, evaporation of excess water, destructive processes of leaching, dehydration or weathering, etc.

Pores can be divided into two groups: capillary and noncapillary. In *capillary pores* the surface of liquid acquires the form, caused by forces of surface tension and distorted a little due to weight.

Microcapillaries (r<0.1 mkm) as the result capillary condensation effect can be fully filled with liquid due to absorption of its vapors from environment.

Macrocapillaries (1.0 > r >0.1 mkm) can be filled with liquid only in the case of direct contact. Besides that, the peculiarity of macrocapillaries is that they not only adsorb the water from the air, but also vice-versa loss moisture into the atmosphere.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

To estimate influence of structure on materials properties, the concept of *porosity* (ratio of pores volume to the general volume of material) is applies. The integral parameters of porous space are true (or total), open (apparent), conditionally closed porosity, etc. Thus it is important to distinguish pores by their sizes, form and character.

There are a series of methods for porosity analysis and pore-structure assessment. For determination of ultramicropores for example, the method of helium adsorption is applied. For micropores there are methods involving electron microscopy, adsorption of nitrogen and methanol, the macropores mercury – porometry.

1.18. Макроструктура
Macrostructure

На макроскопічному рівні структуру матеріалів розглядають, якщо розміри частинок становлять понад 10^{-4} м. *Макроструктуру* вивчають неозброєним оком або при незначному збільшенні. При цьому можна визначити особливості будови та дефекти матеріалів, зумовлені процесами їх формування, виробництва та експлуатації (наприклад, дефекти ливарного походження у металах, вади деревини, бульбашки та сторонні включення у склі, тріщини та раковини у бетонах).

Макроструктури розрізняються за абсолютними та відносними розмірами зерен. Граничні розміри зерен для дрібно-, середньо- та крупнозернистих матеріалів можуть бути різними залежно від їх видів. Наприклад, структури гірських порід належать до *дрібнозернистих*, якщо розміри зерен менше ніж 2 мм, бетонів - 5 мм; до *середньозернистих* — відповідно 2...5 мм та 5...20 мм; до *крупнозернистих* - понад 5 та 20 мм.

За відносними розмірами виділяють рівномірно- та нерівномірно-зернисті структури. Типовими різновидами нерівномірно-зернистих структур є *порфірові структури*, які характеризуються наявністю в матеріалі склоподібної або тонкозернистої основної маси, в якій розсіяні окремі крупні кристали - вкраплення. Такі структури мають вилиті гірські породи, ряд конгломератних матеріалів штучного походження.

At the macroscopic level the materials structure is examined, if the sizes of particles are over 10^{-4} m. *Macrostructure* is studied with unaided eye or at insignificant magnification. Thus it is possible to define the peculiarities of structure and defects of materials, predefine the processes of their formation, production and performance (e.g., defects of casting origin in metals, defects of wood, bubble and impurity inclusions in glass, cracks and voids in concretes).

Macrostructures may be differentiated also by their absolute and relative sizes of grains. Maximum sizes of grains for fine-, medium- and coarse-grained structures can be different depending on the material. For example, the structures of rocks belong to *fine- grained*, if the grain sizes is less than 2 mm, for concretes - 5 mm; to *medium-grained* — 2...5 mm and 5...20 mm; to the *coarse-grained* - over 5 and 20 mm correspondingly.

By their relative sizes they are differentiated as even-grained and non even-grained structures. *Porphyritic structures* are the typical kinds of uneven-grained structures, which are characterized by a presence in material of glassy or fine-grained great bulk where separate large crystals - inclusions are dissipated. Such structures are mainly effusive rocks, a series of conglomerate materials which are artificial by origin.

1.19. Тріщини
Cracks

Тріщини - елементи структури будівельних матеріалів, які можна розглядати як порушення їх суцільності. Вони мають дві вільних поверхні, які зближуючись утворюють гостру вершину. Тріщини розділяють на технологічні і експлуатаційні. причинами

Національний університет
водного господарства
та природокористування

зародження тріщин можуть бути об'ємні деформації матеріалів і їх окремих компонентів, температурні і вологісні градієнти, осмотичні явища, корозійні впливу середовища експлуатації та ін. Тріщини можуть виникати внаслідок механічної, електрохімічної, термічної або інших видів обробки матеріалів.

Кожен вид тріщин проходить певну еволюцію. Зародження тріщин пов'язують, як правило, з переміщенням і видозміною дислокацій в кристалічних решітках. Умова на розповсюдження тріщин в полікристалічних матеріалах виражається рівнянням Гриффітса-Орована:

$$\sigma = \sqrt{Ev / d_{cp}}, \qquad (1.1)$$

де σ – напруження; E - модуль пружності; v - ефективна енергія руйнування; d_{cp} - середній розмір кристаліта.

Відповідно до теорії Гриффітса зростання тріщин повинно бути енергетично вигідним процесом, тобто їх поширення повинно супроводжуватися зменшенням внутрішньої енергії матеріалів. Енергія деформації, що звільняється, пропорційна квадрату довжини тріщини. Критична довжина тріщини, при перевищенні якої можливе її зростання, зменшується з ростом напружень в матеріалі. Тріщини, істотно знижуючи міцність матеріалів, є "воротами агресії". Особливо небезпечні тріщини в крихких матеріалах і в конструкціях, які піддаються циклічному навантаженню. Тріщини виявляють за допомогою візуального огляду, ультразвукової і магнітної дефектоскопії, люмінесцентних рідин, рентгеноскопії та ін.

Cracks are elements of structure of building materials than can be regarded as a breach of their continuity. They have two free surfaces that form a sharp peak when closed. Cracks are divided into technological and operational. The causes of emergence of cracks can be volumetric deformation of materials and their individual components, temperature and humidity gradients, osmotic phenomenon, corrosion influence of the operational environment, etc. Cracks are caused by mechanical, chemical, thermal or other types of materials processing.

Each type of cracks passes a certain evolution. The emergence of cracks is usually associated with displacement and modification of dislocations in crystalline lattices. The condition of emergence of cracks in polycrystalline materials is expressed by the Griffith-Orowan equation:

$$\sigma = \sqrt{Ev / d_{ave}}, \qquad (1.1)$$

σ is the stress; E - modulus of elasticity; ν is the effective energy of destruction; d_{ave} - average size of crystallite.

In accordance with the theory of Griffiths, cracks growth must be energetically advantageous process, i.e. their emergence is to be accompanied by a decrease in internal energy of materials. The freed energy of deformation is proportional to the square of the length of the crack. Critical length of the crack at which it grows, decreases with increasing stresses in the material. Cracks are "gates of aggression", substantially reducing the strength of materials. Particularly dangerous are cracks in fragile materials and those constructions that are subject to cyclic loading. Cracks are revealed by using a visual assessment, ultrasonic and magnetic testing, fluorescent liquids, x-ray, etc.

1.20. Склад матеріалів
Composition of materials

Властивості будівельних матеріалів значною мірою обумовлені їх складом. Для прогнозування властивостей матеріалів важливе значення має їх хімічний, фазовий та речовинний склад.

Хімічний склад характеризує процентний вміст в матеріалі хімічних елементів або оксидів. Для неорганічних матеріалів він зазвичай вказує вміст оксидів кремнію, алюмінію, заліза, кальцію, магнію, натрію, калію, водню і сірки.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Фазовий склад вказує вміст у матеріалі частин (фаз), однорідних за хімічним складом і фізичними властивостями і відокремлених один від одного поверхнями розділу. Наприклад, основними фазами портландцементного клінкеру є трикальцієвий силікат (аліт), двокальцієвий силікат (беліт), трикальцієвий алюмінат і алюмоферитна фаза. Матеріали, представлені однією фазою, називають *гомогенними*, а двома і більше – *гетерогенними*.

Склад матеріалів визначають методами аналізу, заснованими на використанні хімічних реакцій або фізико-хімічних і фізичних процесів. Вивчення співвідношень між складом і властивостями матеріалів, що складаються з декількох речовин, є предметом фізико-хімічного аналізу. Результати фізико-хімічного аналізу виражають діаграмами склад-властивість.

Properties of building materials due largely composition.

To predict the properties of materials important to the value of their chemical, phase, and material composition. *Chemical composition* of the materials describes the percentage of chemical elements or oxides. For inorganic materials generally it indicates the content of oxides of silicon, aluminum, iron, calcium, magnesium, sodium, potassium, hydrogen, and sulfur.

Phase composition indicates the content of the material parts (phases), uniform in chemical composition and physical properties, and separated from each other interfaces. For example, the main phases of Portland cement clinker are tricalcium silicate (alite), dicalcium silicate (belite), tricalcium aluminate and alyumoferritnaya phase. Materials from one phase is called *homogeneous*, and two or more – *heterogeneous*.

The composition of the material determines the methods of analysis qbased on the use of chemical reactions or physico-chemical and physical processes. The study of the relationships between composition and properties of materials consisting from several substances, is the subject of physico-chemical analysis. The results of physico-chemical analysis are expressed by diagrams the composition-property.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1.21. Розчинення і гідратація
Dissolution and hydration

Розчиненням твердого тіла в рідині називають його руйнування під дією розчинника з утворенням розчину - гомогенної системи, яка складається з розчинника і молекул або іонів, що перейшли в нього. У разі, якщо немає хімічної взаємодії, то може відбуватися зворотна кристалізація розчиненої речовини.

Мірою розчинності речовини є концентрація насиченого розчину. Розчинність більшості речовин з підвищенням температури зростає, але вона може і зменшуватися (рис.1.10). Існують також перенасичені розчини, які є нестійкими, оскільки не перебувають у термодинамічній рівновазі з твердою фазою.

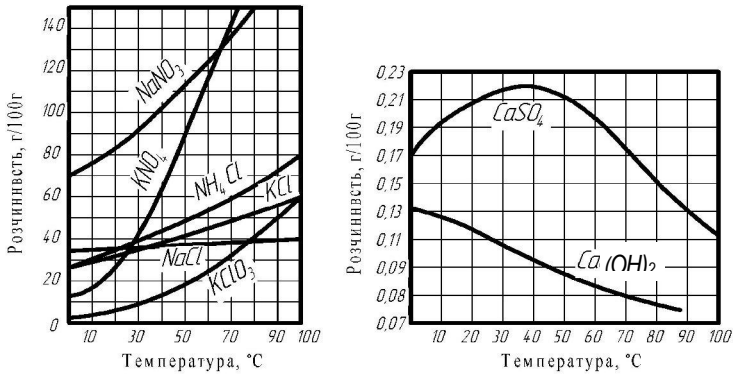

Рис. 1.10. Вплив температури на розчинність деяких речовин
Fig. 1.10. Relationship between temperature and solubility of some substances.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

При розчиненні твердих тіл можуть утворюватись істинні або колоїдні розчини. Істинний розчин характеризується гомогенним розподілом частинок молекулярного або іонного розміру. До колоїдних розчинів належать системи з розміром частинок дисперсної фази 1...100 мкм. Необхідними умовами для утворення колоїдних розчинів є досить мала розчинність дисперсної фази і наявність речовин, що стабілізують колоїдні частинки. На основі частинок іонного або молекулярного розміру можуть утворюватись колоїдні частинки за рахунок полімеризації або поліконденсації.

Процеси *гідратації* відповідно до сучасних уявлень відбуваються, головним чином, внаслідок хімічної взаємодії попередньо розчиненої речовини з водою (гідратація через розчин).

Термодинамічно можлива гідратація й у твердій фазі без попереднього розчинення вихідної речовини (*топохімічний процес*).

Розчинення й гідратація - найважливіші процеси, які зумовлюють твердіння мінеральних в'яжучих речовин. Механізм процесів гідратації залежить насамперед від водотвердого відношення. Розмір частинок продуктів гідратації змінюється від колоїдних до кристалів, що можна спостерігати під мікроскопом. Утворення переважно колоїдних продуктів гідратації характерне для портландцементу, автоклавних матеріалів, кристалічних продуктів - для гіпсових в'яжучих, магнезіальних цементів.

Dissolution of solid in a liquid is destruction under the action of dissolvent for formation of solution - homogeneous system, which consists of dissolvent and molecules or ions which have passed into solution. If there is no chemical interaction, there can be reverse crystallization of dissolved substance.

The measure of solubility is a concentration of the saturated solution. Solubility of most substances grows with temperature increase but it can diminish also (fig.1.10). There are also supersaturated solutions which are unstable, as they are not in thermodynamic equilibrium with a solid phase.

True or colloid solutions can form at dissolution of solids. True solution is characterized by the homogeneous distribution of molecular or ionic size particles. The systems with the size of disperse phase particles between 1 and 100 μm are considered to be colloid solutions. The requirements for colloid solutions formation is low enough solubility of disperse phase and presence of substances stabilizing colloid particles. Colloid particles can also appear due to polymerization or polycondensation on the basis of particles of ionic or molecular size.

Hydration processes in accordance with modern ideas take place mainly as a result of the chemical interaction of dissolved substance with water (hydration through solution).

Hydration is thermodynamically possible also in a solid phase without previous dissolution of initial substance (*topochemical process*).

Dissolution and hydration are the major processes which predetermine hardening of mineral binding materials. The mechanism of hydration processes depends primarily on water-solid ratio. The particles size of hydration products varies from colloids to the krystals, which can be observed with microscope. Formation of mainly colloid hydration products is a characteristic for Portland cement, autoclaved materials, crystalline products - for gypsum binders, magnesia cements.

1.22. Полімеризація
Polymerization

Полімеризацією називають процес сполучення низькомолеку-лярних продуктів - мономерів між собою без утворення побічних речовин. Мономерами, що вступають у реакцію полімеризації, найчастіше бувають сполуки із кратними зв'язками (подвійними, потрійними) або циклічні сполуки.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Високомолекулярні сполуки при полімеризації одержують за рахунок розмикання кратних зв'язків чи кілець в циклічних сполуках і утворення макромолекул у вигляді ланцюгів (рис. 1.11) під дією різних факторів: температури, світла, дії речовин-ініціаторів, каталізаторів тощо. Відповідно в залежності від характеру збуджуючого фактора, розрізняють термічну, фотохімічну, ініційовану та інші види полімеризації.

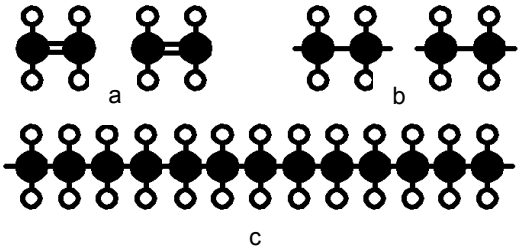

Рис. 1.11. Структурна схема утворення молекули поліетилену:
a – молекула етилену; b – мономер етилену; c – молекула поліетилену
Fig. 1.11. Structural scheme of polyethylene molecule formation:
a- ethylene molecule; b- ethylene monomer; c - polyethylene molecule.

Найпростішим прикладом полімеризації є реакція утворення поліетилену $(-CH_2-CH_2-)_n$ з етилену $CH_2=CH_2$ — горючого безбарвного газу, який одержують з продуктів переробки нафти чи кам'яного вугілля.

Застосовують п'ять основних способів полімеризації: блок-полімеризацію, полімеризацію в розчині, суспензії, емульсії і в газоподібній фазі. При *блок-полімеризації* полімер відразу дістають у вигляді виробів певної форми — блоків. Представником таких полімерів є поліметилметакрилат (органічне скло), котрий одержують у вигляді прозорих листів. При блок-полімеризації мономер з добавкою ініціатора чи каталізатора заливають у форми і нагрівають. *Полімеризацію в розчині* застосовують для одержання продуктів з відносно короткими ланцюгами, які використовують при виробництві лаків (лакова полімеризація), клеїв та ін. В цьому випадку мономер заздалегідь переводять за допомогою розчинника в розчин, а потім змішують з ініціатором. При *суспензійній* і *емульсійній полімеризації* мономер і ініціатор диспергують у воді до найдрібніших краплинок. Для забезпечення стійкості краплинок в суспензії вводять захисні колоїди (желатин та ін.), а в емульсії – поверхнево-активні речовини — емульгатори. При *газовій полімеризації* мономер знаходиться в газоподібному стані.

The process of bonding of low-molecular products (monomers) without formationof by-products is called *polymerization*. Monomers which enter into polymerization reaction, are more frequently the compounds with multiple bonds (double, triple) or cyclic compounds.

High molecular substances at polymerization are obtained because tearing of multiple bonds or ring in cyclic substances and forming of the macromolecule like a chain (fig. 1.11) under the influence of different factors: temperature, light, substances- initiators, catalysts, etc. Accordingly, there are thermal, photochemical, initiative and other kinds of polymerization according to stimulating factor character.

The simplest example of polymerization is reaction of polyethylene formation $(-CH_2-CH_2-)_n$ from ethylene $CH_2=CH_2$ – inflammable colorless gas, obtained from oil processing products or coal.

There are five main ways of polymerization: block – polymerization, polymerization in solution, suspension, emulsion and in gas state. At the *block-polymerization* polymer is obtained already as products of some shape – blocs. Representative of such polymers is polymethylmethacrylate (plexiglass), obtained in the form of transparent plates. At the bloc-polymerization monomer with additive of initiator or catalyst is inundated in a form and heated. *Solution polymerization* is used in products obtaining with short chains, used in varnishes and glue

Національний університет
водного господарства
та природокористування
manufacturing (varnishes polymerization), etc. In such case monomer previously is dissolved with the help of the solvent, later mixed up with initiator. At the *suspension* and *emulsion polymerization* monomer and initiator are dispergated in the water to the smallest globules. The protective colloids (gelatin and others) are brought in to suspension to guarantee the stableness of globules, to emulsion - SAS – emulsifiers. Monomers are in gaseous state at the *gas polymerization*.

1.23. Поліконденсація
Polycondensation

Поліконденсація - це процес утворення полімерів, що супроводжується виділенням низькомолекулярних речовин (води, аміаку, хлориду водню тощо). При цьому маса полімеру, яку отримують при поліконденсації, на відміну від полімеризації менша від маси вихідних речовин, а його елементарний склад не збігається з елементарним складом сполук, що вступають у реакцію.

Поліконденсати звичайно мають більш короткі ланцюги і відповідно меншу молекулярну масу, ніж полімеризаційні полімери.

Приклад реакції полікондинсації для отримання поліефірів:

$$nHOROH \rightarrow \left(-OR-\right)_n + nH_2O$$

де R - вуглеводневий радикал.

Поліконденсація відбувається ступінчасто. її можна проводити в розплаві, розчині, емульсії, суспензії, твердій фазі як з каталізаторами, так і без них.

Polycondensation is the process of polymers formation, which is accompanied by release of low-molecular substances (water, ammonia, hydrogen chloride, etc.). Thus mass of polymer, obtained at polycondensation unlike the polymerization process, is smaller than the mass of original substances and its elemental composition does not coincide with the elemental composition of compounds, entering into reaction.

Polycondensates have the shorter chains and the consistently lower molecular mass, than polymerization polymers.

An example of polycondensation reaction for obtaining polyethers is as follows:

$$nHOROH \rightarrow \left(-OR-\right)_n + nH_2O$$

where R – hydrocarbon radical.

Polycondensation takes place stepwise. It can be conducted in melt, solution, emulsion, suspension, solid phase both with catalysts and without them.

1.24. Кристалізація
Crustallization

Кристалізація – утворення кристалів при переході речовини з нестійкого рідкого стану в стійкий твердий. Інтенсивність кристалізації пропорційна швидкостям зародження центрів кристалів і їхнього росту. Розмір зерен зменшується зі збільшенням швидкості зародження центрів і зменшенням швидкості їхнього росту. Здатність матеріалів до кристалізації визначається їх хімічним складом. Ступінь кристалізації різних речовин змінюється в широкому діапазоні.

Процеси кристалізації відбуваються з перенасичених розчинів при твердінні в'яжучих, а також при одержанні різних матеріалів з розплавлених гірських порід, скла, шлаків, металів.

Кристалізація з розплавів відбувається в процесі переохолодження і супроводжується виділенням прихованої теплоти при температурі, нижчій рівноважної.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

За умови вільного росту кристали мають правильну форму. Звичайно під час кристалізації матеріалів утруднення вільного доступу поживної рідини до кристалів обумовлює їхню неправильну форму. Розмір зерен, обумовлений співвідношенням швидкості утворення зародків і їхнього росту, істотно впливає на властивості матеріалів. Наприклад, для металів в'язкість і пластичність значно вищі при дрібнозернистій структурі.

У реальних матеріалах завжди наявні різні дефекти кристалічних решіток. За геометричними ознаками їх поділяють на точкові, лінійні, поверхневі і об'ємні. *Точкові дефекти* можуть бути обумовлені тепловими коливаннями у вузлах решітки, впливом радіації та електромагнітних хвиль (енергетичні дефекти), змінами в розподілі електронів на енергетичних рівнях (електронні дефекти), зсувом атомів від середнього положення, наявністю домішкових атомів, не зайнятих вузлів - вакансій (атомні дефекти).

Якщо речовина кристалізується з розчину або розплаву при наявності сторонніх атомів, то ці атоми можуть увійти в решітку основної сполуки й утворити *тверді розчини*. Сторонні атоми проникають до решітки основного кристалу двома шляхами (рис. 1.12): 1) займають вузлові точки кристалічної решітки, заміщуючи часточки основного компонента (тверді розчини заміщення); 2) розміщуються між вузлами кристалічної решітки (тверді розчинипроникнення).

Утворення твердих розчинів заміщення характерно при одержанні багатьох керамічних матеріалів, цементного клінкера та ін. Тверді розчини проникнення характерні для металевих матеріалів.

Основними видами лінійних дефектів кристалів є *дислокації*, вздовж і поблизу яких порушується порядок у розташуванні атомних площин. Дислокації є джерелами внутрішніх напружень, ділянки кристалу біля них знаходяться в пружному-напруженому стані. Навіть незначна кількість дислокацій може знизити міцність матеріалів на кілька порядків.

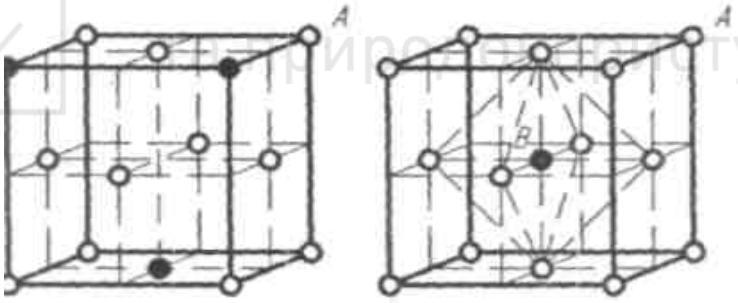

Рис. 1.12. Кристалічна решітка твердого розчину: а-заміщення; b-проникнення.
Fig. 1.12. The crystal lattice of the solid solution: a - substitution; b - implementation

Якщо між температурами, які відповідають інтенсивному утворенню зародків і значній швидкості росту кристалів є велика різниця, то розплав твердне до *склоподібного стану*. Найхарактерніший склоподібний стан такий, що утворюється при швидкому охолодженні силікатних розплавів.

На кристалізаційній здатності скла певного складу ґрунтується отримання склокристалічних матеріалів - ситалів, що мають особливо високі механічні властивості та стійкість.

Crystallization - the formation of crystals in the transition from an unstable substance liquid state to a stable solid. The intensity of this process is proportional to the velocity of crystallization centers of nucleation and growth. The grain size decreases with increasing velocity of the center of

Національний університет водного господарства та природокористування

origin and a decrease in their rate of growth. The ability to crystallize materials defined by their chemical composition. The degree of crystallization of various substances vary over a wide range.

Crystallization processes occur from supersaturated solutions hardening binders, as well as in the preparation of a variety of materials from molten rocks, glass, slags, metals.

Crystallization from the melt occurs during supercooling and accompanied by the release of latent heat at a temperature below the equilibrium.

Provided free growth of the crystals have a regular shape. Usually materials during crystallization difficulties free access to the nutrient liquid crystals causes their irregular shape. The grain size, due to the speed ratio of nucleation and growth, significantly affects the properties of the materials. For example, the viscosity of the metal and plasticity with fine structure is much higher.

The real materials always have various lattice defects. According to the geometric features they are divided into point, line, surface and volume. *Point defects* can be caused by thermal vibrations of the nodes, the effect of radiation and electromagnetic waves (energy defects), changes in the distribution of electrons in the energy levels (electronic defects), the displacement of the atoms from the middle position, the presence of impurity atoms, not occupied sites - vacancies (atomic defects) .

When a substance crystallizes out of solution or melt in the presence of impurity atoms, these atoms may enter into the lattice of the basic compound and to form *solid solutions*. Foreign atoms penetrate to the core of the crystal lattice of the two means (fig 1.12.):

1) occupy the lattice nodal points, replacing the main components atoms (substitutional solid solutions) 2) are placed between crystal lattice points (solid solutions of penetration). Formation of substitutional solid solutions is a characteristic in the preparation of many typical ceramic materials, cement clinker and others. Solid solutions penetration characteristic for metallic materials.

The main types of linear crystal defects are *dislocations* along and near which violated order in the arrangement of atomic planes. Dislocations are sources of stress, lots of crystal around them are in the elastic-stress. Even small amounts of the dislocations may reduce strength of materials by several orders of magnitude.

If the between temperature corresponding to an intense nucleation and significant crystal growth rate is a large difference, the melt solidifies to a *glassy state*. The characteristic for a glassy state such that is formed during rapid cooling of silicate melts.

On the crystallization ability of a certain compositions of glass is based – glass-ceramics having particularly high mechanical properties and resistance.

1.25. Спікання
Sintering

Для керамічних і ряду інших випалювальних матеріалів структура формується при *спіканні*, яке відбувається за високих температур, супроводжується усадкою та різким збільшенням міцності.

Спікання обумовлене переважно надлишковою вільною поверхневою енергією системи. При зменшенні цієї енергії виникає капілярний тиск (лапласівські сили), під дією якого утворюються контакти між частинками, і зменшується пористість. У загальному випадку капілярний тиск обернено пропорційний середньому розміру частинок порошку, тому характеристика дисперсності в значній мірі визначає його здатність до спікання.

А.С. Бережний запропонував характеризувати спікання узагальненим коефіцієнтом Z:

$$Z = \frac{C_1(П_1 - П_2)}{П_1} + \frac{C_2(R_2 - R_1)}{R_1}, \qquad (1.2)$$

де $(П_1-П_2)/П_1$ - відносна зміна пористості; $(R_2-R_1)/R_1$ - відносне підвищення міцності; C_1, C_2 - коефіцієнти.

Закономірності твердофазового спікання базуються на теорії Я.І.Френкеля - Б.Я.Пінеса. Відповідно до цієї теорії спікання розглядається як дифузний процес заповнення

Національний університет
водного господарства
та природокористування

речовиною пор матеріалу. Механізм переносу речовини при спіканні може бути різним: об'ємна або поверхнева дифузія, випаровування-конденсація та інш. Процес спікання можна активувати за рахунок реакцій, що збільшують рухливість атомів (дисоціація, поліморфізм оксидів та інш.), а також зовнішнього тиску (гаряче пресування).

Спікання за участю рідкої фази або рідинне спікання є найпоширенішим у технології кераміки на основі глинистої сировини. Розрізняють 2 випадки рідинного спікання: 1 - взаємодія твердої і рідкої фаз відсутня; 2 - така взаємодія відбувається. Найчастіше взаємодія може бути незначною і не впливати на механізм спікання.

Спікання багатофазної кераміки супроводжується заповненням пор між зернами кристалічної фази розплавом і склеюванням кристалічних частинок. Для ряду керамічних матеріалів, наприклад, фарфору, характерне змішане спікання за участю процесів у твердій фазі і в присутності розплаву.

For ceramic and several other roasted materials the structure forms during *sintering*, which occurs at high temperatures, accompanied by shrinkage and the sharp increase in strength.

Sintering is due mainly to the excess of free surface energy of the system. When reducing this energy, capillary pressure raises (Laplace forces), under the influence of which contacts between particles emerge and porosity decreases. In general, capillary pressure is inversely proportional to the average size of particles of a powder, which is why the characteristic of dispersion largely determines the powder's sintering.

A.S. Berezhnoy offered to characterize sintering by generalized coefficient Z:

$$Z = \frac{C_1(P_1 - P_2)}{P_1} + \frac{C_2(R_2 - R_1)}{R_1}, \qquad (1.2)$$

$(P_1-P_2)/P_1$ – the relative change in porosity; $(R_2-R_1)/R_1$ – the relative increase of strength; C_1, C_2 – coefficients.

Peculiarities of hard-phase sintering are based on theory of Ya.I.Frenkel – B.Ya. Pines. In accordance with this theory, sintering is regarded as a diffusion process of filling the material's pores with a substance. The mechanism of transfer of substances during sintering can be different: volumetric diffusion, plastic flow, surface diffusion and evaporation - condensation, but shrinkage occurs only because of volume diffusion and plastic flow. Sintering process can be activated by reactions that increase the mobility of atoms (dissociation, polymorphism of oxides, etc.) as well as by external pressure (hot pressing).

Sintering with a liquid phase or liquid sintering is the most common in the ceramic technology, it is characteristic of the entire clay-containing ceramics. There are two cases of liquid sintering: 1 - interaction between solid and liquid phase is absent; 2 - such an interaction occurs. Most often, the interaction can be insignificant and does not affect the sintering mechanism.

Sintering of multiphase ceramics is accompanied by filling the pores between grains of crystalline phase with melts and by gluing of crystalline particles. For a number of ceramic materials, such as porcelain, characteristic is a mixed sintering that involves processes in solid phase and in the presence of the melt.

1.26. Пружність
Elasticity

Здатність матеріалу відновлювати втрачені форму і об'єм (тверді матеріали) або тільки об'єм (рідкі та газоподібні матеріали) після припинення дії зовнішніх сил називають *пружністю*. Для кристалічних матеріалів пружність викликається силами притяжіння між частинками, що утворюють просторову гратку. Розсунуті під впливом механічних зусиль елементи ґратки після розвантаження намагаються повернутись у вихідне положення (рис. 1.13).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

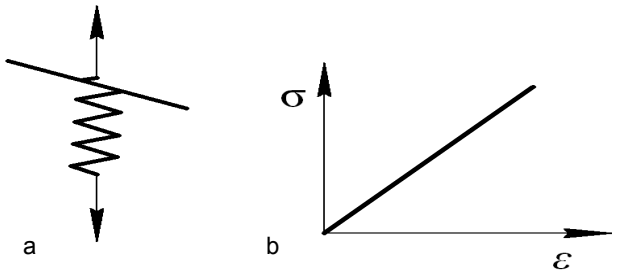

Рис. 1.13. Модель ідеального твердого тіла (що підкоряється закону Гука):
а – модель пружного тіла; б – графік напруження σ – деформація ε
Fig. 1.13. Model of perfectly rigid body (Hookean substance):
a – model of elastic body; b – stress (σ) - strain (ε) diagram.

Високоеластичні матеріали (гума, поролон тощо) після зняття навантаження практично миттєво відновлюють форму і розміри. Еластичні деформації мають яскраво виражений анізотропний характер. При перевищенні деякого граничного значення напруження, яке називається *границею пружності* спостерігається незворотна (пластична) деформація (рис.1.14.).

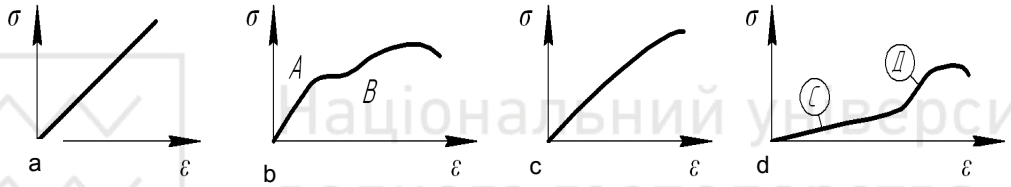

Рис.1.14. Схеми діаграм деформацій ε від напруження σ : а – скла; b – сталі ; с – бетону; d – еластоміру
Fig. 1.14. Schematic diagrams of deformations (ε) depending on stress (σ) :
a – glass; b – steel ; c – concrete; d – elastomer.

В пружній області деформація матералу пропорційна діючому напруженню (закон Гука). У відповідності з цим законом

$$\sigma = E\varepsilon, \tag{1.3}$$

де σ – нормальне напруження; Е– модуль пружності при розтязі; ε – відносне подовження.

Модуль пружності визначає міцність міжатомних зв'язків, він зв'язаний з іншими механічними і фізичними властивостями (табл.1.1). Слід зазначити, що крихкі матеріали руйнуються, не досягаючи границі пружності.

Таблиця 1.1

Механічні властивості деяких матеріалів

Матеріал	Границя міцності, МПа		Твердість МПа	Стирання, г/см^2	Ударна в'язкість, кДж/м^3	Модуль пружності, 10^3·МПа
	стиск	розтяг				
Граніт, сієніт, діорит	100...250	5,0...6,5	-	0,05...0,1	-	30…60
Вапняк	3,5…200	6,7…7,5	-	2…5	-	10…60
Бетон важкий	5…80	1,1…3,5	220…1800	0,6…1,5	2,0…4,5	19…40
Чавун сірий	800…1000	-	2000	-	10…20	80…160
Цегла клінкерна	40…100	-	-	0,2…0,4	-	-
Сосна (вздовж волокон, вологістю 12%)	36,2…48	70…130	21…26	-	42	12
Скло віконне	600…700	30…35	4000…6000	-	2,0	48…83
Шлакоситали	500…650	-	8100…8400	0,015	4,5…6	-
Склотекстоліт	-	110…300	200…220	-	50…116	11…21

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The ability of material to return lost shape and volume (solid materials) or only volume (liquid and gaseous materials) after removing of applied external forces is called *elasticity*. For crystalline materials elasticity is caused by attractive force between particles forming a space lattice. The elements of the lattice distended under the influence of mechanical forces after unloading try to return to initial position (fig. 1.13).

High-elasticity materials (rubber, foam rubber, etc.) after unloading in practice instantly renew in shape and sizes. Elastic deformations have pronounced anisotropic character. At exceeding of certain limit stress value which is called the *limit of elasticity* there is observed irreversible (plastic) deformation (fig. 1.14).

Material strain in elastic range is in direct proportion to the stress acting (Hooke's law).

According to this law:

$$\sigma = E\varepsilon, \tag{1.3}$$

where σ is normal stress; E– modulus of elasticity in tension ; ε – elongation.

Table 1.1

Mechanical properties of materials

Material	Ultimate strength, MPa		Hardness, MPa	Abrasiveness g/cm^2	Impact strength, kJ/m^3	Module of elasticity, 10^3·MPa
	Compression	tension				
Granite, syenite, diorite	100...250	5,0...6,5	-	0,05...0,1	-	30…60
Limestone	3,5…200	6,7…7,5	-	2…5	-	10…60
Heavyweight concrete	5…80	1,1…3,5	220…1800	0,6…1,5	2,0…4,5	19…40
Grey cast iron	800…1000	-	2000	-	10…20	80…160
Clinker brick	40…100	-	-	0,2…0,4	-	-
Pine-tree (along fibers, by humidity 12%)	36,2…48	70…130	21…26	-	42	12
Window glass	600…700	30…35	4000…6000	-	2,0	48…83
Slag glass ceramics	500…650	-	8100…8400	0,015	4,5…6	-
Fiber-glass	-	110…300	200…220	-	50…116	11…21

Modulus of elasticity determines atomic bonding strength; it correlates with other mechanical and physical properties (Table 1.1). It should be mentioned that brittle materials are destroyed before reaching limit of elasticity.

1.27. Релаксація
Relaxation

Матеріали під впливом зовнішніх сил здатні до зміни внутрішніх напружень без зміни лінійних розмірів. Це явище пояснюється *релаксацією* - поступовим розсіюванням пружної енергії деформованого під навантаженням матеріалу (рис. 1.15) і переходом її в теплоту. Релаксацією пояснюється принципова різниця в механічних властивостях і поведінці під навантаженням твердих та рідких тіл.

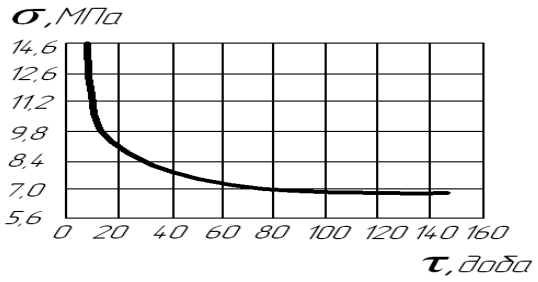

Рис. 1.15. Релаксація напружень у бетоні за постійної деформації.
Fig. 1.15. Relaxation stress concrete at constant strain.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Період релаксації виражають відношенням в'язкості тіла до модуля пружності Е. Він характеризується тривалістю процесу при якому напруження зменшується без зміни деформації матеріалу в 2.718 раз. Період релаксації для твердих тіл дуже великий, а для рідин навпаки.

Materials, which are under the action of external forces, are able to the arbitrary decreases of internal stresses without linear dimensions change. This phenomenon is caused by *relaxation* - gradual dispersion of elastic energy of the material strained under stress (fig. 1.15) and its transmission into heat. Relaxation is explained by the principle difference in mechanical properties and behavior under loads of solid and liquid bodies.

Relaxation period express the ratio of the body viscosity to the its modulus of elasticity. It is characterized by the duration of the process in which the reached stress is reduced without changing the deformation in 2,718 times. Period of relaxation is extremely high for solids and for liquids it is inverse.

1.28. Пластичність
Plasticity

Пластичність - це властивість матеріалів, протилежна пружності. Вона означає здатність матеріалів під впливом навантажень змінювати без руйнування форму й розміри і зберігати їх після зняття навантаження. Пластичність - найважливіша властивість, що визначає технологічність процесу формування матеріалів. Характерним прикладом пластичних матеріалів є висококонцентровані суспензії вапна, цементу, гіпсу, глини та інших мінеральних речовин у воді. Ці матеріали широко застосовують для виготовлення будівельних виробів. Пластичність суспензій багатьох мінеральних сполук тісно пов'язана з властивостями, які проявляють тонкі шари води на поверхні частинок дисперсної фази.

Пластичні деформації кристалічних матеріалів спричинені зсувом всередині кристалів, коли одна частина кристалу переміщується відносно іншої. Форма кристалів при цьому змінюється, видовжуючись у певному напрямку. Пластичні зсуви кристалів зумовлені переміщенням дислокацій.

З підвищенням температури пластичність матеріалів зростає. Зростає вона також зі зменшенням швидкості деформування, з переходом від ковалентного до металевого зв'язку.

В міру навантаження для пластичних матеріалів настає період, коли пластичні деформації продовжують розвиватися, незважаючи на незмінне напруження. Найменше напруження, при якому матеріал деформується без помітного зростання навантаження називають *границею текучості* (рис. 1.16). *Текучість* - важлива особливість структурованих дисперсних систем (цементного тіста, бетонної суміші, бітумів тощо).

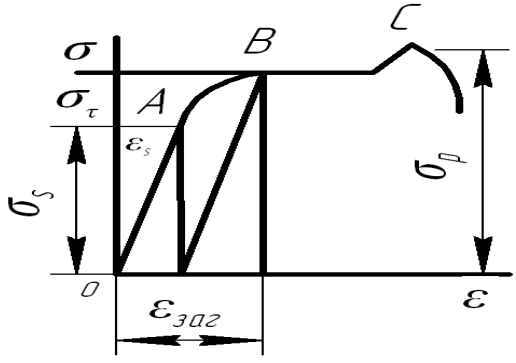

Рис. 1.16. Діаграма σ –ε при розтягуванні: σ_S – границя ружності; $\sigma_т$ –границя текучості; $\sigma_р$ – границя міцності.

Fig. 1.16. Diagram σ –ε at tension: σ_s – limit of elasticity; $\sigma_т$ – yield point; $\sigma_р$ – ultimate strength.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Plasticity is a property of materials, opposite to elasticity. It determines the ability of a material under loads influences change shape and sizes without rupture and to keep them after removal of loading. Plasticity is a major property which determines process ability of materials forming. The characteristic examples of plastic materials are high-concentration suspensions of lime, cement, gypsum, clay and other mineral substances in the water. These materials are widely applied for construction elements production. Plasticity of suspensions of the most mineral compounds is closely connected with properties which thin coats of water show on the surface of disperse phase particles.

Plastic deformations of crystalline materials are caused by shear into crystals, when one part of a crystal moves relatively to other one. The form of crystals changes at that, lengthening in certain direction. The plastic shears of crystals are predefined moving of dislocations. With temperature increasing, materials plasticity is increased. It also increases with loss of deformation speed, with a transition from covalent to metallic bond.

As far as loading increasing a period comes for plastic materials, when deformations continue developing, in spite of constant stress. The least stress at which material deforms without noticeable load growth is called *yield stress* (fig. 1.16). *Yield* is an important feature of the structured disperse systems (cement paste, concrete mixture, bitumen's, etc.).

1.29. Реологічні властивості
Reological properties

В'язкість – властивість матеріалів, що характеризує їх внутрішнє тертя. Для структурованих дисперсних систем (цементне тісто, бітумні мастики, розчини полімерів та ін.) в'язкість може змінюватись в залежності від напруження зсуву та градієнта швидкості.

Текучість структурованих рідин настає в момент, коли напруження зсуву τ перевищує напруження τ_0, яке називається границею текучості:

$$\tau - \tau_0 = \eta dV / dX , \qquad (1.4)$$

де η – в'язкість, dV/dX – градієнт швидкості потоку.

Якщо напруження менше границі текучості, то структурована рідина поводиться як пружне тверде тіло. Для таких рідин характерне поступове зменшення в'язкості зі збільшенням напруження зсуву.

Для твердих тіл при напруженнях, нижчих границі текучості, проявляється повзучість. Підвищення напруження зсуву до показника границі текучості призводить до стрибкоподібної зміни в'язкості, що вказує на лавиноподібне руйнування структури. При повному руйнуванні структури в'язкість стає мінімальною і знову не залежить від напруження зсуву. Так, для 10% -ної водної суспензії бентонітової глини найбільша в'язкість практично незруйнованої структури становить $\eta_0=10^6$ Нс/м^2, а найменша в'язкість гранично зруйнованої структури η_m= 0,01 Нс/м^2.

Твердий стан тіла виражений тим сильніше, чим більшою є різниця між η_0 і η_m і чим вища границя текучості, яка характеризує міцність структури. Для пластичних матеріалів границя текучості яскраво виражена і її перевищення викликає різке зменшення значення ефективної в'язкості. Такі матеріали, як глиняне тісто при напруженнях, нижчих за границю текучості, здатні зберігати будь-яку форму як завгодно довго. За рахунок зменшення різниці значень в'язкості практично незруйнованої і гранично зруйнованої структури (η_0- η_m), а також зниження границі текучості можна здійснювати безперервний перехід тіл з твердого стану в рідкий. Прикладом такого переходу від пружно-крихких тіл до пластичних, а потім до структурованих і реальних рідин з підвищенням температури може бути бітум.

Viscosity - material property, characterizing their internal friction. For structured disperse systems (cement paste, bituminous mastics, polymer solutions, etc.) viscosity dependence can vary in a wide range from depending on the shear stress and gradient of velocity.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The fluidity of structured liquids comes at a moment when the shift stress τ exceeds the tension τ_0 that is called the yield stress:

$$\tau - \tau_0 = \eta dV / dX , \quad (1.4)$$

η – viscosity; dV/dX – gradient of velocity.

If the tension is less than the yield stress, the structured liquid behaves like an elastic solid body. For the fluid-like substances characteristic is a progressive decrease in viscosity with increasing shift stress.

For the solid-like bodies the creep manifests itself during tensions below yield stress. Increasing shear stress to the yield point value leads to a jump-type change in viscosity, which indicates the avalanche-like destruction of the structure. With the full destruction of the structure viscosity becomes minimal and does not depend on the shear stress again. For example, the highest viscosity for a 10% water suspension of bentonite clay's suspension, with practically undestroyed structure, is $\eta_0 = 10^6$ N с / м^2, and the lowest viscosity of a completely destroyed structure is $\eta_m = 0{,}01$N с / м^2.

Solid state of the body and the presence of spatial grid is expressed stronger, the more the difference between η_0 and η_m is and the higher yield point is, which characterizes the strength of structures. For plastic materials, yield point is clearly expressed and its excess causes a sharp drop in the value of the effective viscosity. Such materials as clay slurry can keep any form as long as it may be, with tension below yield stress. Continuous transition of solid bodies into liquid bodies may occur by reducing the viscosity values difference of practically undestroyed and destroyed structures ($\eta_0 - \eta_m$) and lowering yield point. An example of such a transition from elastic-brittle solids to plastic, and then to structured and real liquids, with a temperature increase, shows bitumen.

1.30. Повзучість
Creep

Для твердих матеріалів важливою механічною властивістю є *повзучість* - повільне зростання протягом часу пластичних деформацій матеріалів при силових навантаженнях (рис. 1.17).

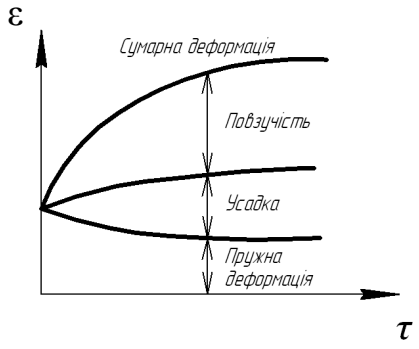

Рис.1.17. Види деформацій (ε) матеріалу, що залежать від часу (τ) при постійному навантаженні.
Fig. 1.17. Deformations types (ε) of material, depending on time (τ) at constant load.

Швидкість повзучості різко зменшується зі зниженням температури та зменшенням напружень. Деформація повзучості матеріалів у багатьох випадках небажана, оскільки вона може призвести, наприклад, до виникнення збільшених прогинів. Проектуючи конструкції це треба враховувати.

Повзучість характерна для таких матеріалів як бетони, грунти, деякі метали. Повзучість характеризується *границею повзучості* – максимальними напруженнями, при яких її швидкість наближається до нуля, або не перевищує допустимих значень.

Для більшості матеріалів механізм повзучості зв'язаний зі швидкістю переміщення дислокацій, дифузійним переміщенням атомів і в'язкою текучістю.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

For solids *creep* is an important mechanical property; it is slow plastic deformations of materials increasing with time at the constant power loads (fig. 1.17).

Creep speed reduces at temperature and stress decreasing. Creep deformation is undesirable for the most of materials as if it leads e.g. to increased deflection forming. It should be taking into consideration at structure design.

The creep characteristic for such materials as concrete, soil, some metals. Creep is characterized by the *limit of creep* - the maximum stress at which its velocity is close to zero, or does not exceed the permissible values.

For most materials creep mechanism associated with dislocations motion speed, diffuse movement of atoms and viscous flow.

1.31. Усадка
Shrinkage

Усадка - зменшення лінійних розмірів та об'єму матеріалів, спричинене зменшенням, головним чином, їх вологовмісту.

При нерівномірному розподілі вологовмісту й температури в матеріалі розвивається об'ємно напружений стан, тому можуть з'явитися тріщини і навіть відбутися повне його руйнування.

Усадка часто супроводжується короблennям матеріалу, коли разом з деформаціями об'єму відбуваються і деформації форми.

Щоб зменшити усадку та запобігти тріщиноутворенню, підбирають склад матеріалів (наприклад, добавляють до глини пісок та інші домішки), застосовують вологий режим тверднення, а також спеціальні покриття, які сповільнюють швидке висихання.

Усадка ряду матеріалів відбувається не лише в процесі їх сушіння. Для керамічних матеріалів вона відбувається і у процесі випалу, для металів і сплавів проходить при кристалізації розплавів.

Shrinkage is decreasing in linear sizes and volume of materials, caused diminishing, mainly, their humidity.

At the no uniform distribution of moisture content and temperatures volume stress state develops in material that is why cracks can appear and even complete destruction of materials can take place. Shrinkage is often accompanied by warping of a material, when there are shape deformations along with volume deformations.

To decrease shrinkage and to prevent cracks formation, materials composition is proportioned (e.g., sand and other admixtures are added to the clay), the moist curing is applied, and also special coatings are used to retard the rapid drying.

Shrinkage of materials occurs not only in the process of drying. For ceramic materials, it occurs in the firing process and for metals and alloys extends from the melt during crystallization.

1.32. Міцність
Strength

Здатність матеріалів чинити опір руйнуванню називається *міцністю*.

Міцність характеризується критичним напруженням, при якому порушується суцільність матеріалу. Це напруження називається *границею міцності*. Її визначають, як правило, дією на матеріал статичного навантаження, що зростає з певною швидкістю протягом кількох хвилин. Зміна швидкості зростання навантаження й характеру його прикладання (наприклад, повторно змінне або динамічне навантаження) приводить до зміни міцності. Вона може суттєво змінюватися залежно від виду напруженого стану (розтягу, стиску, згину, кручення тощо). Границю міцності матеріалів визначають на стандартних

Національний університет
водного господарства
та природокористування

зразках – циліндричних, кубічних та іншої форми (рис. 1.18). З усіх способів механічних випробувань найпоширеніші розтяг і стиск, їх виконують за допомогою спеціальних розривних машин та пресів.

Границю міцності R під час розтягу R_p і стиску R_c визначають за формулою. МПа:

$$R_{p(c)} = \frac{kP}{F}\ , \tag{1.5}$$

де k - коефіцієнт, що враховує розміри зразка, його вологість тощо; P - руйнівна сила; F - початкова площа поперечного перерізу зразка.

Границя міцності при згині:

$$R_з = \frac{M_з}{M_0}, \tag{1.6}$$

де M_3 - найбільший згинальний момент; M_0 - момент опору перерізу зразка.

При згинанні зразка, наприклад, прямокутного перерізу під дією зосередженої сили

$$R_з = \frac{3Pl}{2bh^2}, \tag{1.7}$$

де l- відстань між опорами, м; b, h - відповідно ширина й висота перерізу зразка, м.

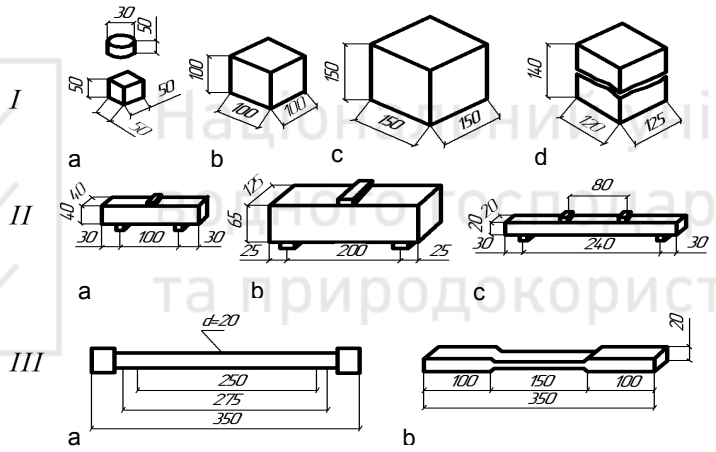

Рис. 1.18. Стандартні зразки для випробування матеріалів:
I – на стиск: a– щільний природний камінь;b– пористий природний камінь; c– бетон; d– цегла (куб склеєний з двох половинок).
II – на згин: a– цементний розчин; b– цегла; c– деревина.
III – на розтяг: a– сталь; b– деревина.
Fig. 1.18. Standard specimens for materials testing:
I – compression: a – dense natural stone; b – porous natural stone; c– concrete; d – brick (cube glued of two half-bats. II – bending:
a – cement mortar; b– brick; c– wood. III – tensile: a – steel; b – wood.

Теоретична міцність однорідного матеріалу $R_т$, характеризується максимальним напруженням, необхідним для розділення двох шарів атомів. Вона пропорційна модулю пружності E та поверхневій енергії твердого тіла $\sigma_п$ і обернено пропорційна міжатомній відстані l_a :

$$R_m = \sqrt{\frac{2E\sigma_n}{l_a}}\ . \tag{1.8}$$

Міцність реальних твердих тіл у сотні й тисячі разів менша за теоретичну.

Міцність матеріалів може вимірюватися не тільки прямим методом, тобто руйнуванням зразка, а й неруйнівними методами, які ґрунтуються на взаємозв'язку міцності з певною властивістю твердих тіл, зокрема, швидкістю поширення ультразвукових хвиль у твердому тілі, твердістю поверхні матеріалу та ін.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

An ability of materials to resist stress without destruction is called *strength.*

Strength is characterized by critical stress, when the integrity of material is destroyed. This stress is called *ultimate strength*. It is determined, usually, by acting on a material by static load growing with certain rate during a few minutes. The change of loading growth rate and character of its application (e.g. repeated interchangeable or dynamic loading) causes strength change. It can substantially vary depending on the type of the stress state (tension, compression, bending, torsion, etc.). Ultimate strength of materials is determined at the standard specimens -cylindrical, cubic and other in shape (fig. 1.18). Among all of methods of mechanical tests compression and tension are the most widespread; they are conducted by special breaking; machines and presses .

Ultimate strength under tension (R_t) and compression (R_c) is determined by formula, MPa:

$$R_{t(c)} = \frac{kP}{F}, \tag{1.5}$$

where k is a coefficient, which takes into account the sizes of the specimen, its humidity, etc.; P is a breaking force; F is an initial area of specimen cross-section.

Ultimate bending strength is:

$$R_b = \frac{M_b}{M_r}, \tag{1.6}$$

where M_b is a maximum bending moment; M_r is a moment of specimen cross section resistance.

At bending of a specimen, for example, of rectangular section under the action of the concentrated force:

$$R_b = \frac{3Pl^2}{2bh^2}, \tag{1.7}$$

where l - distance between supports, m; b, h - accordingly width and height to the section area.

Theoretical strength of homogeneous material (R_t) is characterized by maximum stress, required for separation of two layers of atoms. It is proportional to the module of elasticity (E) and surface energy of solid (σ) and inverse to interatomic distance (l_a):

$$R_t = \sqrt{\frac{2E\sigma}{l_a}}. \tag{1.8}$$

Strength of the real solids is in hundred and thousand times less than theoretical one.

Materials strength can be measured not only by direct method that is specimen destruction, but also by nondestructive methods, which are based on correlation between strength and certain property of solids, in particular, by spreading rate of ultrasonic waves in solids, by hardness of material surface, etc.

1.33. Твердість
Hardness

Окремим видом міцності є *твердість* – міцність при вдавлюванні. Як й інші види міцності, твердість - це структурно чутлива властивість, вона залежить також від виду обробки поверхні, температури та інших факторів. Твердість вимірюється натисканням на поверхню випробуваного матеріалу або переміщенням по ній під навантаженням наконечників, що мають сферичну, конічну або іншу форму (рис. 1.19). Мірою, або числом, твердості при цьому є відношення навантаження до площі поверхні відбитка.

За методом Брінелля твердість дорівнює:

$$HB = \frac{2P}{\left(\pi D\left(d - \sqrt{D^2 - d^2}\right)\right)}, \tag{1.9}$$

де P - навантаження; D - діаметр сферичного індентора (кульки діаметром 10; 5 або 2,5мм); d - діаметр відбитка.

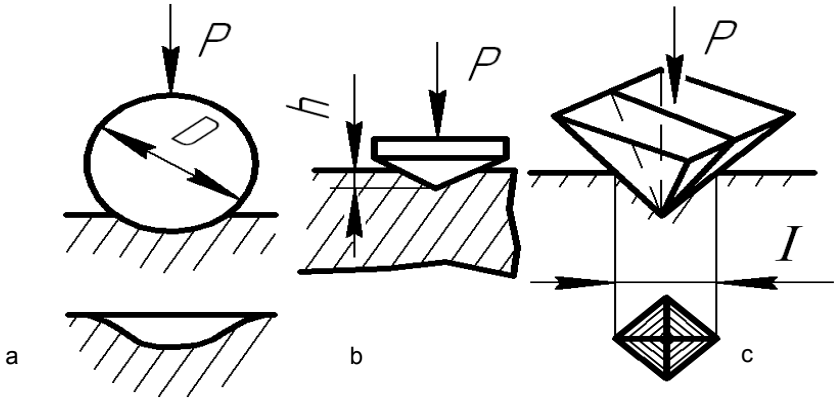

Рис. 1.19. Схема визначення твердості за: a – Брінеллем; b – Роквеллом; c – Віккерсом
Fig. 1.19. Scheme of hardness determination by: a – Brinell; b – Rockwell; c – Vickers.

Для приблизного визначення твердості порід та інших крихких матеріалів використовують *метод Мооса*, який полягає у дряпанні поверхні досліджуваного матеріалу за допомогою еталонного мінералу. При цьому твердість вимірюється в умовних одиницях, які відповідають номеру матеріалу за десятибальною шкалою: тальк - 1; гіпс - 2; кальцит - 3; флюорит - 4; апатит - 5; ортоклаз - 6; кварц - 7; топаз - 8; корунд - 9; алмаз – 10.

The separate type of strength is *hardness* – strength at indentation. As well as other types of strength, hardness is a structurally sensitive property; it depends also on the type of surface treatment, temperature and other factors. Hardness is measured by pressing on the surface of the tested material or moving on it loading tips which have a spherical, conical or other form (fig. 1.19). Hardness measure or number is a relation of load to the surface area of indentation.

Hardness after the Brinell test is equal:

$$HB = \frac{2P}{\left[\pi D(d - \sqrt{D^2 - d^2})\right]}, \qquad (1.9)$$

where P is load; D is a diameter of spherical indenter (balls 10; 5 or 2.5 mm in diameter); d is a diameter the indentation.

For approximate determination of rocks and other brittle materials hardness *Mohs scale method* is used, which consists in scratching of tested material surface by etalon minerals. Wherein hardness is measured in conditional units, which correspond to material number on the ten-point scale: talc - 1; gypsum - 2; calcite - 3; fluorite - 4; apatite - 5; orthoclase - 6; quartz - 7; topaz - 8; corundum - 9; diamond – 10.

1.34. Стираність
Abrasion

Для більшості будівельних матеріалів (за винятком пластмас) із твердістю пов'язаний їх опір стиральним діям - *стираність*. ЇЇ вимірюють за відношенням зменшення маси матеріалу Δm після проведення випробування до площі стирання F:

$$R_c = \Delta m/F. \qquad (1.10)$$

Високу стійкість до стирання мають деякі гірські породи, керамічні матеріали й пластмаси. Наприклад, стираність кварциту становить 0,06...0.12 г/см^2, керамічних плиток для підлоги - 0,08, одношарового полівінілхлоридного лінолеуму - 0,06 г/см^2. Для деяких

Національний університет
водного господарства
та природокористування

дорожно-будівельних матеріалів встановлюють марки за стиранням, які пов'язані з максимально допустимими втратами маси під час стирання у відсотках.

Визначають стирання на спеціальних машинах - кругах стирання або поличних барабанах, де матеріал руйнується в результаті інтенсивного тертя.

For the most construction materials (except plastics) their hardness is correlated to abrasive resistance - *abrasion*. It is measured by a ratio of mass reduction of a material Δ m after test conductance to the area of abrasion F:

$$R_a = \Delta m/F \ . \qquad (1.10)$$

Some rocks, ceramic materials and plastics have high abrasion resistance. For example, abrasion of quartzite is 0.06...0.12g/cm^2, floor ceramic tiles-0.08, one-layer polyvinylchloride linoleum – 0.06 g/cm^2. For some road construction materials abrasion grades are defined, connected with the maximal possible mass losses, % during abrasion testing.

Abrasion is determined on the special machines, where material destroys as a result of intensive friction.

1.35. Ударна міцність
Impact strength

Опір матеріалів руйнуванню під час прикладання ударних навантажень називають *ударною міцністю*. Для випробування матеріалів на удар застосовують копри. Ударну міцність характеризують величиною роботи, витраченої на руйнування матеріалу, віднесеної до одиниці його об'єму. Робота руйнування надрізаного зразка при випробуванні ударним приладом на маятниковому копрі характеризує *ударну в'язкість*. Опір удару важливий для матеріалів, які використовуються при влаштуванні фундаментів машин, підлог промислових будівель, дорожніх покриттів. Ударна в'язкість має практичне значення при оцінці якості металів, азбестоцементних виробів і ін.

Опір матеріалу одночасної дії удару і стирання характеризує *зносостійкість*. Її оцінюють по втратах маси зразка матеріалу в обертових барабанах, заповнених сталевими кулями.

Resistance of materials to destruction under the influence of shock loads is an *impact resistance.* For testing, the materials a crush copra apply. Impact resistance is characterized by the amount of work it took to destroy the material, related to the unit of its volume. The work of the destruction of cut-down sample during testing on the pendulum copra characterizes the *resilience*. Impact resistance is important for materials used in the construction of foundations of machines, floors industrial buildings, pavements. Resilience has practical value for assessing the quality of metals, asbestos cement products, etc.

Resistance of the material to simultaneous action of the impact and abrasion characterizes resistance to wear. It is estimated by the losses of weight of a sample material in rotary drums filled with steel balls.

1.36. Адгезія
Adhesion

Адгезією називають зчеплення різнорідних твердих або рідких речовин, обумовлене міжмолекулярними силами притягання. Зчеплення частинок в речовині або між однорідними за хімічним складом речовинами називають *когезією*. Кількісною мірою адгезії і когезії є робота, витрачена на роз’єднання частинок однієї або кількох речовин , віднесена до одиниці площі контакту. В системах, де немає хімічних міжфазових зв'язків, адгезія обумовлена, головним чином, Ван-дер-ваальсовими силами, які залежать від електричної природи

Національний університет
водного господарства
та природокористування

речовин і взаємодії утворених ними електричних полів. Чим більш полярні речовини, тим більше значення електростатичних сил і, відповідно, адгезійна взаємодія.

Якісними клеями, які проявляють в достатній мірі як когезійні, так і адгезійні властивості, є полімери, що містять гідроксильні (ОН), карбоксильні (СООН), амідні (NHCO), амінні (HH_2) та інші групи.

Розрив по контактній поверхні двох твердих тіл можливий тільки тоді, коли адгезійні сили набагато менші за сили когезійної взаємодії, характерної для кожного з них. Часто розрив має змішаний адгезійно-когезійний характер.

Adhesion is a grip of two dissimilar solid or liquid substances caused, by molecular forces of attraction. Adhesion of particles in the body itself or between homogeneous in chemical composition substances, is *cohesion*. Quantitative measure of adhesion and cohesion is the work, spent on the separation of substances, related to the unit of the contact area. In the systems without chemical interphase relationships, adhesion is caused, mainly, by van der Waals forces that depend on the electrical nature of the substances and the interaction of their electric fields. The more polar the substances are, the bigger the value of electrostatic forces and, consequently, adhesive bonding interaction.

Good adhesives with sufficiently displayed cohesive and adhesive properties are polymers that contain hydroxyl (OH^-), carboxyl ($COOH^-$), amid ($NHCO^-$), amine ((NH_2^-) and other polar groups.

Break on the contact surface of two solids is possible only when the adhesive forces are much smaller than the cohesion onces, specific to each of them. Often the break has mixed adhesive-cohesive character.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1.37. Густина
Density

Густина визначається відношенням маси матеріалу до його об'єму. Для будівельних матеріалів розрізняють істинну ρ і середню ρ_0 густину.

Істинна густина (або просто густина) характеризує масу матеріалу в одиниці об'єму без пор та порожнин матеріалу, а *середня* - з пустотами й порами.

Для сипких матеріалів поряд із середньою густиною зерен визначають *насипну густину*, яка враховує міжзернову порожнистість.

Густина більшості неорганічних матеріалів становить 2200...3300 кг/м^3, сталі – 7600...7900, сплавів алюмінію – 2600..2900 кг/м^3, поліетилену – 910…970 кг/м^3

Середня густина матеріалів змінюється в широких межах, наприклад, для найлегших пористих пластмас вона становить 10...20 кг/м^3. а для щільних – 2000 кг/м^3 і більше.

Густину матеріалів визначають пікнометричним методом, гідростатичним зважуванням та ін.

Для будівельних матеріалів у ряді випадків визначають також *відносну густину* $\rho_{від}$ - відношення об'єму середньої та істинної густини

$$\rho_{від} = \left(\rho_0 \middle/ \rho\right) 100\% . \qquad (1.11)$$

A *density* is determined as the mass of material per unit volume. For construction materials there are distinguished *absolute* (true) (ρ) and *average* (ρ_0) density.

Absolute density (or simply density) characterizes mass (m) of a material per unit volume without pores and voids, and average one - with voids and pores.

For the bulk materials along with average density of grains *bulk density* is determined, which takes into account intergranular voids.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Density of the most inorganic materials is 2200...3300 kg/m^3, steel 7600...7900, aluminum alloys - 2600…2900 kg/m^3, polyethylene – 910…970 kg/m^3.

Average density of materials changes within the wide range, for example, for the lightest porous plastics it is 10...20 kg/m^3 and for dense ones - 2000 kg/m^3 and more.

The density of materials are determined a pycnometer method, hydrostatical weighing and others.

The density of materials increases, if pressure increases, and diminishes with the increasing of temperature. Water is an exception as it has a maximal density at 4°C. At phase transformations density of materials changes saltatory, increases in the process of transition from the liquid state to the solid. Water, and also cast-iron and a series of other materials become less dense at hardening.

There is on a number of occasions when *relative density* (ρ_r) is determined for construction materials as a ratio of its average and absolute (true) densities:

$$\rho_r = \left(\rho_0 \big/ \rho \right) 100\% . \tag{1.11}$$

1.38. Питома поверхня і поверхнева енергія
Specific surface and surface energy

Для дисперсних матеріалів важливим параметром стану є *питома поверхня*, віднесена до одиниці об'єму або маси матеріалу. Питома поверхня $S_{пит}$ обернено пропорційна розміру частинок. Для частинок кулястої форми

$$S_{пит} = 3 \big/ r , \tag{1.12}$$

де r - радіус частинки.

Із збільшенням питомої поверхні матеріалів зростає їхній внутрішній потенціал і реакційна здатність. Питому поверхню дисперсних матеріалів вимірюють, визначаючи опір проходження повітря крізь шар порошку, а також за адсорбційним та іншими методами.

Енергетично. характеристикою стану матеріалів є *поверхнева енергія* - надлишок енергії поверхневого шару на межі розподілу двох фаз. Наприклад, значення поверхневої енергії на межі з повітрям зокрема для міді становить 1,43 Дж/м^2 (при 1100 °С), силікатного скла – 0,3 Дж/м^2 (при 650 °С). Зі збільшенням температури поверхнева енергія знижується, вона в значній мірі залежить від складу матеріалу, виду і концентрації домішок. Значення поверхневої енергії матеріалів прямо пов'язане з величиною поверхневого натягу (σ), що характеризує роботу переходу атомів з внутрішніх шарів на поверхню при утворенні 1 см^2 нової поверхні. Про величину поверхневої енергії твердих тіл судять за допомогою розрахункових методів і, побічно, вимірюванням деяких механічних характеристик.

Відповідно до рівняння Гіббса-Гельмгольца вільна питома поверхнева енергія визначається з рівняння:

$$I = \sigma - Td\sigma / dT, \tag{1.13}$$

де Tdσ/dT – теплота утворення одиниці поверхні.

Ефективним засобом збільшення поверхневої енергії матеріалів є їх механо-хімічна обробка.

For disperse materials *specific surface* is the important parameter of the state, related to volume or mass unit of a material. Specific surface (S_s) is inversely proportional to the particles size. For the particles of spherical form:

$$S_s = 3 / r, \tag{1.12}$$

where r is a particle radius.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The energy potential of materials and reactivity grows with the increase of their specific surface. The specific surface of disperse materials is measured by determination of the resistance to air passing through the layer of powder, by adsorption and other methods.

Energy characteristic of the material's state is the *surface energy* - excess of energy of the surface layer at the interface of two phases. For example, the value of the surface energy on the border with air for copper is 1,43 J/m^2 (at 1100°C), for silicate glass - 0,3 J/m^2 (at 650°C). With increasing temperature, surface energy decreases, it largely depends on the composition of the material, type and concentration of impurities. The value of surface energy of materials is directly related to the value of the surface tension (σ), which characterizes the work of moving atoms from inner layers to the surface during creation of 1 cm^2 of the new surface. The surface energy of solids is judged by using calculation methods and indirectly by measuring certain mechanical characteristics.

In accordance with the equation of Gibbs-Helmholtz, free surface energy is determined from equation

$$I = \sigma - Td\sigma / dT\,, \tag{1.13}$$

where $Td\sigma / dT$ – heat of creation of surface's unit.

An effective means of increasing surface energy of materials is their mechanic-chemical treatment.

1.39. Пористість
Porosity

Пористість – це ступінь заповнення об'єму матеріалу порами. Розрізняють відкриту і закриту пористість. Відкриту (уявну) пористість можна визначити за об'ємним водонасиченням матеріалу. Для сипких матеріалів загальне значення пористості характеризується ступенем заповнення порами як окремих зерен, так і міжзернових пустот. Пористість будівельних матеріалів коливається в широких межах (табл. 1.2). Регулювання пористості - ефективний технологічний засіб цілеспрямованої зміни властивостей матеріалів.

Загальну пористісь можна визначити за формулою

$$П = \left(1 - \rho_0 / \rho\right) 100\%\,, \tag{1.14}$$

де ρ_0 – середня або насипна густина; ρ – істинна густина матеріалу.

Таблиця 1.2

Характеристика матеріалів

Матеріал	Істинна густина, кг/м^3	Середня густина, кг/м^3	Загальна пористість, %
Граніт	2650…2700	2600…2700	0…2
Вапняк	2700	1800…2700	11…13
Бетон важкий	2600	1800…2400	8…31
Пінобетон	2600	300…600	77…85
Деревина: сосна дуб	 1500 1500	 400…500 610…750	 67…73 50…60
Скло віконне	2400…2650	2450…2650	-
Сталь	7800…7850	7800…7850	-

Пористість матеріалів суттєво впливає на ряд інших властивостей, зокрема тепло- й електропровідність, міцність, проникність.

Porosity is the degree of filling of the material volume by the pores.There is distinguished open and closed porosity. The open (apparent) porosity can be measured by volume water

Національний університет
водного господарства
та природокористування

absorption of material. For bulk materials the total value of porosity is characterized by the degree of filling both separate grains by pores and intergranular voids. Porosity of construction materials varies in a wide range (tabl. 1.2). Porosity adjustment is an effective technological mean of purposeful change of materials properties.

Table 1.2

Materials characteristic

Material	Absolute density,kg/m^3	Average density, kg/m^3	Total porosity, %
Granite	2650…2700	2600…2700	0…2
Limestone	2700	1800…2700	11…13
Heavy concrete	2600	1800…2400	8…31
Foam concrete	2600	300…600	77…85
Wood: pine-tree oak	 1500 1500	 400…500 610…750	 67…73 50…60
Window glass	2400…2650	2450…2650	-
Steel	7800…7850	7800…7850	-

Total porosity can be defined by the formula:

$$P = \left(1 - \rho_0 / \rho\right) 100\%, \qquad (1.14)$$

where ρ_0 – average or bulk density; ρ – absolute (true) density of material.

Porosity of materials substantially influences on the other properties, in particular thermal- and electrical conductivity, strength, permeability.

1.40. Гідрофільність та гідрофобність. Hydrophilicity and hydrophobicity

Властивість матеріалу змочуватися водою називають *гідрофільністю*, не змочуватися – *гідрофобністю*. Мірою змочуваності є крайовий кут θ, що утворюється краплею рідини на твердій поверхні. Для гідрофільних матеріалів кут θ гострий, для гідрофобних – тупий (рис. 1.20). Ступінь гідрофобності матеріалів можна суттєво змінити впливом ПАР, що адсорбуються на їхню поверхню. Характерним прикладом гідрофобізації матеріалу є отримання гідрофобного цементу помелом цементного клінкеру з введенням добавок жирних кислот або їхніх солей.

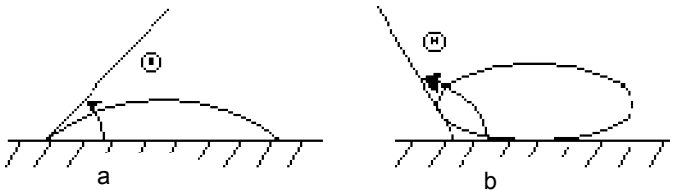

Рис. 1.20. Положення краплі води на поверхні матеріалу:
а – гідрофільного; б – гідрофобного.
Fig. 1.20. The provisions of water drop on the surface of the material:
a - hydrophilic; b - hydrophobic

Здатність твердого тіла змочуватися визначається насамперед хімічної природою його поверхні і природою змочуючої рідини. Водою змочуються гідрофільні - зазвичай речовини з іонним або полярним зв'язком, тобто більшість будівельних матеріалів - бетон, кераміка, деревина та ін. Для гідрофобних матеріалів - бітумів, дьогтів, синтетичних полімерів і ін. характерна низька полярність молекулярних сил, що діють на границі з повітряним

Національний університет
водного господарства
та природокористування
середовищем. Такі матеріали змочуються неполярними рідинами, наприклад, рідкими вуглеводнями.

Property of material to be moistened by water is called *hydrophilicity*, not to moisten - *hydrophobicity*. The measure of wettability is a wetting angle (θ), formed by the drop of liquid on solid surface. For hydrophilic materials an angle θ is acute, for hydrophobic it is obtuse (fig.1.20). The degree of hydrophobicity of materials can be substantially changed under the influence of SAS that adsorb on their surface. The representative example of the material hydrophobization is an obtaining of hydrophobic cement by the grinding at the presence of fatty acids additions or their salts.

The ability solids getting wet is determined primarily by the chemical nature of the surface, the composition and structure liquid. Water are wetted hydrophilic materials usually with ionic or polar bond i.e. most construction materials - concrete, ceramics, wood and others. For hydrophobic materials - bitumen, tar, and synthetic polymers. characterized by low molecular polarity of forces acting on the boundary of the air enviroment. Such materials are wetted nonpolar liquids, for example liquid hydrocarbons.

1.41. Гігроскопічність
Hygroscopicity

Гігроскопічність зумовлена адсорбцією води на поверхні та в мікрокапілярах матеріалу. Вона вимірюється відношенням кількості поглиненої вологи до маси матеріалу і зростає із збільшенням вологості та зменшенням температури навколишнього середовища Гігроскопічна волога коливається залежно від особливостей структури матеріалів: для піску 4...9%; керамічних стінових матеріалів 5...7, деревини – 12...18. ніздрюватих бетонів – 20% і більше. Гігроскопічне зволоження призводить до несприятливої зміни ряду властивостей будівельних матеріалів, зокрема до зниження активності цементу, набухання деревини й зниження її міцності, зростання теплопровідності теплоізоляційних матеріалів.

Hygroscopicity is predefined by water adsorption on the surface and in microcapillaries of a material. It is measured by the ratio of absorbed moisture amount to mass of material and it increases with the increasing of humidity and diminishing of ambient temperature. Hygroscopic moisture varies depending on the peculiarities of materials structure: for sand it is 4...9%; for ceramic masonry materials 5...7; for wood – 12...18; cellular concrete – 20% and more. The hygroscopic moistening causes the unfavorable change of row of construction materials properties, in particular to the decline of cement activity, swelling of wood and decline of its strength, increasing of thermal conductivity of heat-insulating materials.

1.42. Капілярне всмоктування
Capillary suction

Капілярне всмоктування (здатність матеріалів поглинати рідини внаслідок піднімання їх по капілярах) спричинюється силами поверхневого натягу, що виникають на межі поділу твердої і рідкої фаз, і характеризується висотою підняття (h), яку визначають за формулою:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{rg\rho_p}, \qquad (1.15)$$

де σ - поверхневий натяг; θ – крайовий кут змочування; g – прискорення вільного падіння; ρ_p – густина рідини, r – радіус капілярів.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

З рівняння (1.15) слідує, що у гідрофобних матеріалів, для яких $\varphi > 90^o$ і cos φ набуває від'ємного значення, капілярне всмоктування не відбувається. При цьому виникає капілярний тиск, що заважає проникненню води у пори.

Можливість самозволоження матеріалів за рахунок всмоктування потрібно враховувати, експлуатуючи будівлі та споруди. Так. щоб запобігти зволоженню ґрунтовими водами нижніх частин будівель, влаштовують гідроізоляційний шар, який відокремлює фундамент. Ефект капілярного всмоктування можна використовувати для просочування пористих матеріалів захисними сумішами.

Capillary suction (ability of materials to absorb liquids as a result of raising of them on capillaries) is caused by surface tension forces, which appear at the solid-liquid interface and is characterized by height of arising (h), which is determined by formula:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{rg\rho_l}, \tag{1.15}$$

where σ – surface tension; θ – a contact angle of wetting; g – acceleration of gravity; ρ_l – density of a liquid, r – radius of capillaries.

It follows from equation (1.15) that hydrophobic materials for which $\varphi > 90^o$, the cos φ takes negative value and capillary suction will not occur. Appearing capillary pressure prevents penetration of water into pores.

Possibility of materials self-moistening due to capillary suction should be taken into account at buildings and structures performance. Thus, to prevent moistening by groundwater of buildings downstairs, waterproof layer, which separates basement, is arranged. The effect of capillary suction can be used in impregnation of porous materials by protective mixtures.

1.43. Водопоглинання та вологість
Water absorption and humidity

Ступінь заповнення пор матеріалу водою характеризується *водопоглинанням*. Розрізняють водопоглинання за масою B_m і об'ємом B_V.

$$B_m = \left[\frac{(m_1 - m)}{m}\right] \cdot 100\%, \tag{1.16}$$

$$B_v = \left[\frac{(m_1 - m)}{V}\right] \cdot 100\%, \tag{1.17}$$

$$B_v = B_m \cdot \rho_0, \tag{1.18}$$

де m_1 – маса зразка, насиченого водою; m – маса сухого зразка;

V – об'єм зразка у природному стані; ρ_0 – середня густина матеріалів.

Водопоглинання за об'ємом характеризує відкриту або так звану уявну пористість. На відміну від водопоглинання за масою пористість завжди менша ніж 100%. Для металів, скла, фарфору водопоглинання практично дорівнює нулю, граніту 0,5...0,7%, щільного бетону – 2...7, керамічної цегли – 8...20, ряду високопористих теплоізоляційних матеріалів – понад 100% (за масою). Оскільки водопоглинання пов'язане з рядом інших властивостей матеріалів (міцністю, морозостійкістю, проникністю тощо), у разі потреби воно нормується.

Вологість – вміст води в порах і на поверхні матеріалу. Її визначають у відсотках за масою або об'ємом. Розрізняють абсолютну і відносну вологість. *Абсолютну вологість* визначають як відношення маси вологи, яка знаходиться в матеріалі, до маси сухого матеріалу, *відносну вологість* - до маси матеріалу у вологому стані.

The degree of pores filling of a material by water is characterized by *water absorption*. There are distinguishing water absorption by mass (B_m) and by volume (B_v):

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$B_m = \left[\frac{(m_1 - m)}{m}\right] \cdot 100\%, \tag{1.16}$$

$$B_v = \left[\frac{(m_1 - m)}{V}\right] \cdot 100\%, \tag{1.17}$$

$$B_v = B_m \cdot \rho_0, \tag{1.18}$$

where m_1 is a mass of a specimen, saturated by water; m is a mass of dry specimen; V is a volume of a specimen in the natural state; ρ_0 is an average density of materials.

Volumetric water absorption characterizes open or so-called imaginary porosity. Unlike mass volumetric water absorption porosity is always less than 100%. For metals, glass, porcelain mass water absorption is approximately equals zero, for granite is 0.5...0.7%, for dense concrete – 2...7, for ceramic brick – 8...20, to the row of high-porous heat-insulating materials – over 100% (by mass). As water absorption is correlated to the row of other materials properties (strength, frost-resistance, permeability, etc.), it is specified in the case of necessity.

The *humidity* is a content of water in the pores and on the surface of the material. It is deterimined in presents by mass or volume. There are absolute and relative humidity. *Absolute humidity* is defined as the ratio of the mass of moisture in the material to the mass of dry material, *relative humidity* - to the mass of wet material.

1.44. Водопроникність
Water permeability

Для матеріалів, що застосовуються для будівництва гребель, резервуарів, колекторів та інших напірних споруд, важливою властивістю є *водопроникність*, здатність пропускати воду під дією тиску. Водопроникність характеризується *коефіцієнтом фільтрації* $k_ф$, який показує кількість води $V_в$, що протягом часу τ просочилась крізь одиницю площі F випробуваного матеріалу завтовшки δ при різниці гідростатичного тиску $\Delta P = 1$ м вод. ст.

$$K_ф = \frac{V_в \sigma}{F \Delta P \tau}. \tag{1.19}$$

Водопроникність або водонепроникність вимірюється також граничним тиском, при якому вода не проходить крізь зразок. Залежно від значення граничного тиску (×10МПа) зокрема для бетонів встановлені марки за водонепроникністю (W2, W4, W6, W8, W12 та ін.).

Водопроникність матеріалів визначається, перш за все, наявністю шляхів фільтрації, відкритими сполученими порами і тріщинами. Зменшення водопроникності, як і проникності по відношенню до інших флюїдів досягається регулюванням пористої структури матеріалів, їх гідрофобізацією, кольматацією (закупоркою) пір, введенням в їх склад деяких добавок або просочуванням, а також нанесенням захисних покриттів.

For materials, which are used for construction of dams, reservoirs, collectors and other pressure structures, *water permeability* – an ability to leak water under the pressure, is an important property. Water permeability is characterized by *filtration coefficient* (k_f), which shows the amount of water (V_w) that during time (τ) leaked out through unit of area (F) of the tested material thick (δ) at the difference of hydrostatical pressure ΔP= 1 m of water column.

$$K_f = \frac{V_w \delta}{F \Delta P \tau}. \tag{1.19}$$

Water impermeability or watertightness is measured also by limit pressure, at which water does not leak through a specimen. Depending on the value of ultimate pressure (×10MPa), in particular for concretes, grades by watertightness are set (W2, W4, W6, W8, W12, etc.).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Water impermeability of materials is determined primarily by the presence of ways of filtering, open connecting pores and cracks. Reduction of water permeability, as well as impermeability in regards to other fluids, is achieved by regulation of porous structure of materials, their hydrophobization, clogging (blocking) of pores, introduction of some additives or impregnation, as well as by applying protective coatings.

1.45. Водостійкість
Water resistance

Під час зволоження матеріалів можуть суттєво змінюватися їхні механічні властивості за рахунок утворення адсорбційно-активного середовища і розклинювальної дії тонких плівок води (ефект П.О.Ребіндера), розчинення на контактах зрощення кристалів, набухання глинистих мінералів тощо.

Здатність матеріалу зберігати механічні властивості у насиченому водою стані - *водостійкість*, характеризується *коефіцієнтом розм'якшення*:

$$k_p = \frac{R_н}{R_c}, \qquad (1.20)$$

де $R_н$ – міцність зразка, насиченого водою; R_c – міцність сухого зразка.

Коефіцієнт розм'якшення може змінюватися практично від нуля (вапно, деякі види глини тощо) до одиниці (сталь, скло, фарфор, граніт тощо). До водостійких належать матеріали, які мають коефіцієнт розм'якшення не менше як 0,8. Підвищення водостійкості досягають зниженням розчинності та пористості матеріалів, їх гідрофобізацією або просочуванням та покриттям водостійкими сумішами.

During wetting of materials their mechanical properties can vary significantly due to creation of adsorption-active medium and wedjing out of thin films of water (Rehbinder effect), dissolution of contacts of growing crystals, swelling of clay minerals, etc. The ability of materials to maintain strength in a water-saturated state - *water resistance* - is characterized by a *coefficient of softening*:

$$C_s = R_{sat} / R_d, \qquad (1. 20)$$

R_{sat} – the strength of the sample in a saturated water state; R_d – strength of a dry sample.

Softening coefficient can change practically from a zero (lime, some types of clay, etc.) to one (steel, glass, porcelain, granite and others like that). Materials, which have a softening coefficient not less than 0.8, belong to water resistant. Water resistance increase is reached by reduction of materials solubility and porosity, their hydrophobization or impregnation and coverage by water resistant mixes.

1.46. Морозостійкість
Frost resistance

Здатність насиченого водою матеріалу не руйнуватися під дією знакозмінної температури називається *морозостійкістю*.

Руйнівний вплив води особливо великий при поперемінному її заморожуванні і відтаванні в порах матеріалу. Він пояснюється розвитком значних внутрішніх напружень у результаті циклічного повторення в заповнених водою порах процесу кристалізації льоду, що супроводжується збільшенням об’єму. З чергуванням циклів заморожування і відтавання в матеріалі накопичуються залишкові деформації, що викликають руйнації втомлюваного типу. Інтенсивність руйнування збільшується зі збільшенням водопоглинання, об’єму відкритих пор, зниженням температури заморожування, тобто збільшенням, в кінцевому результаті, об’єму льоду, утвореного в матеріалі.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Кількісно морозостійкість оцінюється марками, що дорівнюють кількості циклів почергового заморожування й відтавання, яку витримують зразки матеріалу без зниження міцності понад 5...25% (у залежності від виду матеріалу) або маси понад 5%. Марки за морозостійкістю можуть коливатись у широких межах залежно від виду матеріалу, його складу, характеру пористості тощо. Наприклад, для цегли встановлюють марки F15...50, для гідротехнічного бетону F50…500.

У найхарактерніших капілярних порах матеріалу вода починає кристалізуватися при температурі $-10...-20$°С, тому водонасичені зразки заморожують у холодильних камерах звичайно при температурі –(18±2)°С. Відтавання зразків здійснюють при температурі +(18±2)°С.

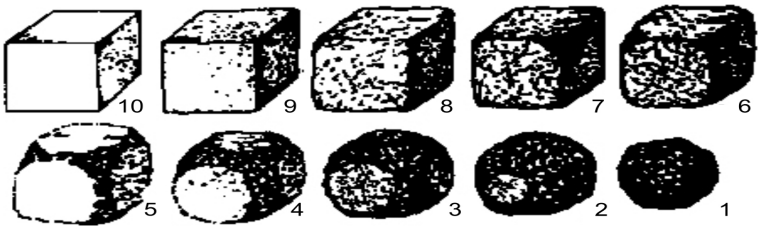

Рис.1.21. Оцінка стану зразків при випробуванні на морозостойкість за десятибальною шкалою
Fig.1.21. Estimation of specimen's state at testing of frost resistance by ten-point scale.

Для прискореного випробування на морозостійкість зразки випробовують у сольових розчинах і при більш низьких температурах. Показником деструктивних змін у матеріалі, який використовують також при прискорених випробуваннях, є залишкові деформації і видимі руйнування у вигляді лущення поверхні зразків, появи сітки мікротріщин та ін. (рис.1.21).

Підвищення морозостійкості матеріалів досягають насамперед за рахунок зменшення відкритої капілярної пористості, а також збільшення об'єму закритих пор. Закриті пори, заповнені повітрям, виконують роль буферів, які послаблюють тиск утворюваного льоду. Морозостійкість зростає, якщо підвищується водостійкість матеріалів, їхня міцність на розтяг.

Ability of water-saturated material not to fail under the action of alternating temperature is called *frost resistance*. Destructive effect of water is particularly big during its variable freezing and thawing in the pores of the material. It is explained by the development of significant internal stresses as a result of cyclically recurring ice crystallization process in water-filled pores that increases the volume. With alternating cycles of freezing and thawing, the material accumulates residual deformations, causing destructions of fatigue type.

The intensity of destruction increases with the increase of water absorption, volume of open pores, and decrease in the freezing temperature, i.e. with the increase, ultimately, of the amount of ice formed in the material. Quantatively frost-resistance is estimated by grades, that are the amount of cycles of alternate freezing and thawing, which is maintained by the material specimens without the strength decline 5...25% (depending on the type of a material) or the mass over 5%. Grades by frost resistance can vary in wide range depending on the type of a material, its composition, porosity nature, etc. E.g, the grades from F15 to F50 are set for a brick and from F50 to F500 for the hydraulic concrete.

In the capillary pores of a material as the most representative ones water starts crystallization at a temperature $-10...-20$ °C, therefore water-saturated specimens are tested for frost resistance in cooling chambers by freezing usually at a temperature −(18±2)°C. Thawing of samples is carried out at a temperature +(18±2)°C. For accelerated tests on frost resistance, samples are put into salt solutions and at lower temperatures. The indicator of destructive changes in the

Національний університет
водного господарства
та природокористування

material, which is also used during accelerated tests, are residual deformations and visible fractures in the form of flaking of the samples' surface and the appearance of cracks grid, etc. (fig. 1.21).

The increase in frost resistance of materials is achieved first of all by diminishing of open capillary porosity, and also increasing of amount of closed pores. Closed pores, filled with air, act as shock absorbers weakening the pressure of the ice formed. Frost resistance grows, if materials water resistance and tensile strength increase.

1.47. Теплоємність
Heat capacity

Міра теплової енергії, необхідної для підвищення температури матеріалу на 1° С, називається *теплоємністю*, її визначають експериментально за допомогою калориметрів, використовуючи рівняння теплового балансу систем. Теплоємність залежить від хімічного складу й будови матеріалів, їхньої температури та вологості. Питома теплоємність скла становить 0,035...1,047 кДж/(кг·^{0} С), природних й штучних кам'яних матеріалів – 0,754,..0,921 кДж/(кг·^{0} С). Для органічних матеріалів вона значно вища, ніж для неорганічних (табл. 1.3).

Підвищення теплоємності при зростанні температури виражається лінійною залежністю

$$C = C_0(1 + \alpha T), \tag{1.21}$$

де C_0 – питома теплоємність при 0°С; α – константа; Т – абсолютна температура.

Таблиця 1.3

Питома теплоємність для деяких будівельних матеріалів

Матеріал	Масова теплоємність кДж/(кг·° С)	Об'ємна еплоємність кДж(дм^3·° С)
Асфальт	0,92	1,2
Цегла керамічна	0,84	1,344
Цегла силікатна	1	1,7
Бетон важкий	0,88	1,7
Скло віконне	0,84	2,1
Граніт	0,84	2,1
Гіпс	1,09	2,507
Пісок кварцовий	0,835	1,2
Сталь	0,47	3,713
Деревина	1,7	1

The measure of thermal energy, required for the material temperature increase for 1°C, is called a *heat capacity*, it is determined experimentally by calorimeters, applying the heat balance equation of the systems. Heat capacity depends on chemical composition and structure of materials, their temperature and humidity. Specific heat capacity of glass is 0.035…1.047 kJ/(kg·^{0}C), natural and artificial stones – 0.754..0.921 kJ/(kg·^{0}C). It is considerably higher for organic materials than for in organic ones (table 1.3).

The increase of heat capacity at growth of temperature is expressed linear dependence:

$$C = C_0(1 + \alpha T), \tag{1.21}$$

where C_0 – specific heat capacity at 0°C; α – constant; T – absolute temperature.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Table 1.3

Specific heat capacity for some construction materials

Material	Mass heat capacity kJ/(kg·°C)	Volumetric heat capacity kJ(dm^3·°C)
Asphalt	0,92	1,2
Ceramic brick	0,84	1,344
Lime-sand brick	1	1,7
Normal concrete	0,88	1,7
Window glass	0,84	2,1
Granite	0,84	2,1
Gypsum	1,09	2,507
Quartz sand	0,835	1,2
Steel	0,47	3,713
Wood	1,7	1

1.48. Теплопровідність
Heat conductance

Теплопровідність – здатність матеріалів проводити теплоту. При різниці температур у матеріалі теплота передається у напрямку менш нагрітих поверхонь. Теплопровідність зумовлена коливальним рухом молекул, атомів, іонів (кераміка, природний камінь, скло) або рухом вільних електронів (метали). Для більшості матеріалів теплопровідність зростає, якщо температура підвищується, але для деяких (гірських порід, металів) – зменшується.

Мірою теплопровідності λ є кількість енергії, що передається за одиницю часу через одиницю поверхні матеріалу при різниці температури 1° С. її визначають експериментально, ґрунтуючись на рівнянні

$$Q = \frac{\lambda F \tau \Delta t}{\delta}, \qquad (1.22)$$

де Q – кількість теплоти, Дж; F – площа перерізу, перпендикулярного до напрямку теплового потоку, м^2; τ – тривалість проходження теплового потоку, год.; ΔT – різниця температур, ° С; δ – товщина матеріалу, м.

Величину, обернену теплопровідності, називають *термічним опором*.

Теплопровідність зменшується в міру ускладнення хімічного складу матеріалів і будови їх просторової ґратки, переходу від кристалічної структури до аморфної. Вона значною мірою залежить від зміни пористості матеріалів і, відповідно, їх середньої густини.

Нижче наведені значення теплопровідності деяких матеріалів (λ) і їх середньої густини (ρ_0).

	ρ_0, кг/м^3	λ, Вт/(м·К).
Граніт	2600...2800	2,8...3,4
Сосна	530	0,17
Сталь	7860	58,00
Мінеральна вата	200...400	0,06...0,08
Цегла	1900	0,80
	1200	0,44

Теплопровідність – один з визначальних показників якості матеріалів, які використовують у конструкціях стін і покрівель будівель.

Якщо вологість зростає, то теплопровідність матеріалів збільшується. У порах матеріалів діаметром 0,027...0,1мм теплопровідність повітря при 0° С становить 0,024...0,031 Вт/(м·^{0} С), води - 0,58, а льоду - 2,326 Вт/(м·^{0} С).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Heat conductance – the ability of materials to conduct heat. At the difference of temperatures in material heat is transferred in a direction of the less heated surfaces. Heat conductance (thermal conductivity) is predefined by oscillating movement of molecules, atoms, ions (ceramics, natural stone, and glass) or motion of free electrons (metals). In most of the materials heat conductance grows at temperature rising, but in some (rocks, metals) - diminishes. The measure of heat conductance λ is an amount of energy which is transferred per time unit through surface unit of a material at the difference of temperature of 1°C. It is determined experimentally, basing on equation:

$$Q = \frac{\lambda F \tau \Delta T}{\delta}, \qquad (1.22)$$

where Q is a quantity of heat, J; F is an area of section, perpendicular to direction of heat flow, m^2; τ is a duration of heat flow transfer, h; ΔT is a difference of temperatures ^{0}C; δ is a thickness of material, m.

A value reverse to heat conductanse is called *heat resistance*. Heat conductance diminishes, as chemical composition of materials and structure of their spatial lattice complicate and as crystalline structure transform to amorphous one. However it is most sensible to porosity change and accordinely their averadge density.

For comparison there are presented heat conductances of some materials λ and their average density ρ_0:

	ρ_0, kg/m^3	λ, Wt/(m·°C)
Granite	2600...2800	2.8...3.4
Pine-tree	530	0.17
Steel	7860	47
Mineral wool	200...400	0.06...0.08
Brick	1900	0.80
	1200	0.44

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Heat-conductance is one of the key parameters of quality of materials, used in the structures of walls and roofs of buildings.

If humidity grows, heat-conductance of materials increases. In the materials pores 0.027...0.1mm in diameter a heat-conductance for air at 0° C is 0.024...0.031 W/(m·^{0} C), 0.58 – for water, and 2.326 W/(m·^{0} C) – for ice.

1.49. Теплове розширення
Thermal expansion

Збільшення амплітуди коливань атомів і молекул при нагріванні призводить до зміни міжатомної відстані і теплового розширення твердих тіл. Для характеристики *теплового розширення* використовується зазвичай *температурний коефіцієнт лінійного розширення* α_p (коефіцієнт термічного розширення – к.т.р.), що враховується при влаштуванні температурних швів, нанесенні захисних покриттів, підборі складів композиційних матеріалів. Він характеризується відносним видовженням зразка при нагріванні його на 1° С:

$$\alpha_p = \Delta l / l \Delta t, \qquad (1.23)$$

де Δl – зміна розміру зразка після нагрівання; l – початковий розмір зразка; Δt – зміна температури при нагріванні зразка.

Температурний коефіцієнт лінійного розширення органічних матеріалів значно більший, ніж неорганічних. Так, якщо для кварцового скла, він дорівнює $0{,}5 \cdot 10^{-6}$, дюралюмінієвого сплаву $2{,}2 \cdot 10^{-6}$, сталі $12 \cdot 10^{-6}$, то для полівінілхлориду $\alpha_p = (80...90) \cdot 10^{-6}$; поліетилену $(160...230) \cdot 10^{-6}$ град$^{-1}$.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

An increase in the amplitude of the oscillations of atoms and molecules during heating leads to change of interatomic distances and *thermal expansion* of solids. To characterize the thermal expansion, *temperature coefficient of linear expansion* α_p (coefficient of thermal expansion – c.t.e.) is usually taken into account when applying of expansion joints, protective coatings and for the selection of components of composites. It characterizes the specific elongation of the sample by heating it at 1° C:

$$\alpha_p = \Delta l / l \Delta t , \qquad (1.23)$$

where Δl – change in the size of the sample after heating; l – initial sample's size; Δt – temperature change of heated sample.

Temperature coefficient of linear expansion of organic materials is considerably greater than that of non-organic. For example, for the quartz glass it is equal to $0{,}5 \cdot 10^{-6}$, duralumin alloy – $2{,}2 \cdot 10^{-6,}$, steel – $12 \cdot 10^{-6}$, for PVC – $\alpha_p = (80...90) \cdot 10^{-6}$ and polyethylene – $(160...230) \cdot 10^{-6}$ degree^{-1}.

1.50. Термостійкість
Thermal shock resistance

Термостійкість – здатність матеріалу витримувати температурні коливання без зниження механічних і деформативних властивостей. Термостійкість зростає при зменшенні коефіцієнта лінійного розширення матеріалів при їх нагріванні.

Термостійкість визначають температурою, нагрівання до якої і швидке охолодження різко зменшує міцність матеріалу. Можлива також характеристика термостійкості числом теплозмін, що витримує матеріал при певній температурі. Її відображають також у формі критеріальної залежності, наприклад у вигляді відношення міцності матеріалу до термічних напружень.

До матеріалів високої термостійкості належать матеріали, які мають термічний коефіцієнт лінійного розширення (α_p) менший ніж $45 \cdot 10^{-7}$ град$^{-1}$. Наприклад, вироби, виготовлені з плавленого кремнезему, що має $\alpha_p < 7 \cdot 10^{-7}$ град$^{-1}$, не руйнуються при термічному ударі практично будь-якої інтенсивності. Матеріали, в яких α_p перевищує $80 \cdot 10^{-7}$ град$^{-1}$, характеризуються низькою термостійкістю. Термостійкість матеріалів збільшується зі збільшенням їх теплопровідності і міцності, зменшення модуля пружності і зростання однорідності.

Thermal shock resistance is an ability of a material to withstand temperature variations without the decline of mechanical and deformation properties. It grows at diminishing of coefficient of linear expansion of materials at their heating.

Thermal shock resistance is determined by temperature, heating to which and rapid cooling reduces drastically strength of material. Possible characteristic of thermal shock resistance is the number of thermal shifts that the material withstands at specific temperature. It is represented also in form criterion dependence, for example as ratio material strength to thermal stresses. Materials, which have a thermal coefficient of linear expansion (α_p) less than a $45 \cdot 10^{-7}$ degree^{-1}, are high heat stable materials. For example, elements made of fused silica ($\alpha_p < 7 \cdot 10^{-7}$ degree^{-1}) is not destroyed by thermal shock practically any intensity. Materials with α_p, which exceeds $80 \cdot 10^{-7}$ degree^{-1}, are considered as low heat-stable.

Thermal shock resistance of materials increases with the increase in their thermal conductivity and strength, reduction in elasticity modulus and increase in their homogeneity.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1.51. Вогнетривкість
Refractoriness

Властивість матеріалу протистояти дії високих температур, не розплавлюючись, називається *вогнетривкістю*. Вона характеризується температурою, при якій зразок пірамідальної форми деформується, дістаючи вершиною основи. Висока вогнетривкість і температура плавлення характерні для однокомпонентних систем (наприклад, чистих оксидів). Для багатокомпонентних матеріалів поява розплаву і відповідно розм'якшення спостерігається при порівняно низьких температурах.

Вогнетривкими називають матеріали з вогнетривкістю 1580...1770° С (динасові, кварцові, шамотні вогнетриви тощо), високовогнетривкими – понад 1770° С (високоглиноземисті, хромітові, карборундові вогнетриви тощо).

Property of material to resist the action of high temperatures, without melting, is called *refractoriness* (fireproofness). It is characterized by a temperature, at which the specimen of pyramidal form deforms, reaching the base by vertex. High refractoriness and melting temperature are characteristic of one-component systems (for example, pure oxides). For multicomponent materials melt formation and accordingly softening are observed at comparatively low temperatures.

Fireproof materials are materials with refractoriness 1580...1770° C (dinas, quartz, chamottere refractory products, etc.), high fireproof – over 1770° C (high-aluminous, chromite, carborundum refractory products, etc.).

1.52. Вогнестійкість
Fire resistance

Здатність матеріалів не змінювати своїх фізико-механічних властивостей під дією відкритого полум'я називають *вогнестійкістю*. Границя вогнестійкості будівельної конструкції вимірюється в годинах дії відкритого полум'я до появи наскрізних тріщин або отворів, крізь які вільно проникають продукти горіння чи вогонь. Границі вогнестійкості досягають також тоді, коли підвищення температури на поверхні конструкції, що не обігрівається, становить понад 220° С і конструкція втрачає несучу здатність. Для незахищених металевих конструкцій границя вогнестійкості становить 0,5 год., залізобетону – 1...2, бетону – 2...5 год.

Головним показником пожежної безпеки матеріалів є їхня *спалимість*. За спалимістю будівельні матеріали поділяються на три групи:

- неспалимі – матеріали, не здатні горіти в повітрі нормального складу;
- важкоспалимі – матеріали, які здатні займатися під дією джерела горіння, але згасають після його видалення;
- спалимі – матеріали, здатні самостійно горіти у повітрі нормального складу.

До неспалимих належать природні і штучні неорганічні матеріали, до важкоспалимих - такі, що складаються як з неспалимих, так і спалимих компонентів (асфальтобетон, гіпсові і бетонні вироби на органічних заповнювачах, фіброліт тощо), до спалимих – органічні матеріали, не захищені антипіренами (амонійними сполуками, борно- і фосфорнокислими солями і т.д.).

Ability of materials not to change the physical-mechanical properties under the action of the open flame is called *fire resistance*. Fire-resistance of building structure is measured in hours of open flame action until appearance of cracks or voids, through which the combustion products or flame penetrate freely. Fire-resistance limit is achieved also when the temperature increase on the unburned surface of structure exceeds 220°C and the structure loses load-bearing capacity. For

Національний університет
водного господарства
та природокористування

unscreened metal structures fire-resistance limit is 0.5 hours, for reinforced concrete one – 1...2, for concrete one – 2...5 by hours.

The main parameter of fire safety of materials is their *flammability*. According to their flammability construction materials are divided into three groups:

- incombustible are the materials, unable to burn in the air normal composition;
- hard combustible are materials, able to inflame under the action of source of ignition, but go out after the source is removed;
- combustible are materials, able to burn independently in the air of normal environment composition.

Natural and artificial inorganic materials are incombustible, hard combustible materials are such which consist both of incombustible and combustible components (asphalt concrete, gypsum and concrete elements on an organic aggregate, fibrolite, etc.), combustible are organic materials, not protected by fire-retardants (by ammonium compounds, borax- and phosphate salts, etc.).

1.53. Газопроникність
Gas permeability

Газопроникність – здатність матеріалів пропускати гази через пори і тріщини при виникненні на їх поверхні різниці тисків. Характеризується коефіцієнтом газо-, паропроникності, який показує кількість газу або пари, що пройшли через стінку з визначеною площею поверхні 1 м^2 і товщиною 1 м за одну годину при різниці тисків 1 Па. При визначені коефіцієнта газопроникності об'єм газу, що проходить, приводять до нормальних умов.

Стіновий матеріал повинен мати певну газопроникність (стіна повинна «дихати»), при якій має місце природня вентиляція, що особливо важливо для житлових будинків, у яких відсутнє кондиціонування повітря. Стіни житлових будинків, лікарень тощо не рекомендується опоряджувати матеріалами, що затримують водяну пару. Разом з тим потрапляючи в холодну частину огороджень пара конденсується і створюються умови, що сприяють швидкому руйнуванню матеріалів при дії морозу.

Газо-, паронепроникні матеріали розташовуються з того боку огорож, з якого вміст водяної пари більший.

Газопроникність у великій мірі залежить від щільності і пористості матеріалів (табл.1.4)

Таблиця 1.4

Відносні значення газо- і паропроникності
деяких матеріалів

Матеріал	Густина, кг/м^3	Пористість, %	Відносне значення	
			паропро-никності	газопрони-кності
Цегла керамічна	1800	31	1	1
Легкий бетон	1800	31	0,8	0,9
Цегла трепельна	1100	58	2,2	4,2
Вапняк	2000	23	0,7	1,2
Бетон на гравію	2200	15	0,25	0,1

Gas permeability is the ability of materials to pass gases through pores and cracks under the difference of pressures occurring on their surface. It is characterized by a coefficient of gas-, steam permeability, showing guantity of gas or steam passing through the wall with a specific surface area of 1 m^2 and thickness of 1 m in one hour, with the difference in pressure 1 Pa. When determining the coefficient of gas permeability, the volume of passing gas is led to normal conditions.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Wall material must possess a certain permeability (wall should "breathe"), where natural ventilation takes place, which is especially important for residential buildings that lack air conditioning. The walls of residential buildings, hospitals, etc. are not recommended to finish with materials that retain water steam. Getting inside a cold part of the fences, steam is condensed, creating conditions, leading to the rapid destruction of the materials of the outer frame structures under the action of frost.

Gas- and steam-proof materials are on the same side of the fences from which water steam content is higher.

Gas permeability depends in large measure on the density and porosity of the materials (table 1.4.).

Table 1.4

The relative values of gas and steam permeability of some materials

Material	Density, kg/m^3	Porosity%	Relative values	
			steam permeability	gas permeability
Ceramic brick	1800	31	1	1
Lightweight concrete	1800	31	0,8	0,9
Earth brick	1100	58	2,2	4,2
Limestone	2000	23	0,7	1,2
Concrete on gravel	2200	15	0,25	0,1

1.54. Оптичні властивості (колір, блиск, прозорість) Optical properties (color, glitter, transparency)

Колір матеріалів фізично можна пояснити вибірковим поглинанням видимої області спектра. Розрізняють дві групи кольорового забарвлення: ахроматичне (чорно-біле), яке має перехідні відтінки, і хроматичне з певною насиченістю кольору, тобто ступенем наближення до чистої спектральної барви. Колір природних мінеральних матеріалів зумовлений характером електронної взаємодії складових елементів, а також структурних дефектів і кількістю механічних домішок.

Хромофорні властивості, тобто здатність надавати матеріалам певний колір мають іони перехідних металів – титану, ванадію, хрому, заліза, марганцю, кобальту, нікелю і міді. Особливе місце серед хромофорів належить залізу. Найбільш інтенсивне забарвлення дає Fe^{3+} (червоне, буре, жовту, зелену). Іон Fe^{2+} викликає більш бліду, ніж Fe^{3+} зелене і блакитнувате забарвлення. Поєднання іонів Fe^{3+} і Fe^{2+} надає синьо-чорного забарвлення мінералам.

На колір мінералів істотно впливають також умови їх утворення, головним чином, температура і характер навколишнього середовища.

Для отримання різноманітних кольорових сумішей застосовують фарби мінерального та органічного походження (*пігменти)*, переважно оксиди й солі різних металів або їхні суміші.

Блиск – властивість матеріалів відбивати світло, що на них падає. Кількісно він виражається коефіцієнтом відбиття, який є функцією показника заломлення, а для непрозорих матеріалів і коефіцієнта поглинання.

Прозорість – властивість матеріалу пропускати світло без розсіювання. Мірою прозорості є коефіцієнт прозорості:

$$k_{np} = \frac{L'}{L_0}, \tag{1.24}$$

де L', L_0 - інтенсивність світла, яке відповідно пройшло крізь поверхню виходу і падає на вхідну поверхню.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Зменшити прозорість матеріалу можна застосуванням різних домішок, утворенням мікротріщин, відносно крупних дислокацій.

The *color* of materials physically can be explained by selective absorptions of visible area of spectrum. There are differenced two groups of the coloring: achromatic (black-and-white), which has transitional tints, and chromatic with certain color saturation that is with the degree of approaching to the pure spectral color. The color of natural mineral materials is predefined by the character of electronic interaction of component elements, and also structural defects and the amount of admixtures.

For obtaining various colored mixtures there are applied the paints of mineral origin (*pigments*), mainly oxides and salts of different metals or their mixtures.

Chromophore properties, i.e. the ability to attach a color to materials, are possessed by ions of transition metals – titanium, vanadium, chromium, iron, manganese, cobalt, nickel and copper. A special place among the chromophores belongs to iron. The most intensive color is given by Fe^{3+} (red, brown, yellow, green). Ion Fe^{2+} causes color paler than Fe^{3+} (greenish and bluish coloring). The combination of ions of Fe^{3+} and Fe^{2+} add blue-black coloring to minerals.

The color of minerals is significantly affected by the conditions of their creation, mainly, temperature and the nature of the environment.

Glitter is a property of materials to reflect the light that falls on them. It is expressed quantitatively by reflection coefficient, which is the function of refraction index, and also by coefficient of absorption for opaque materials.

Transparency is a property of a material to transmit light without dispersion. The measure of transparency is a coefficient of transparency:

$$k_{tr} = \frac{L'}{L_0}, \qquad (1.24)$$

where L', L_0 are the intensities of light, which accordingly transmits through the surface of output and falls on an entrance surface.

Material transparency decreasing can be possible due to application of different admixtures, micro cracking and relatively large dislocations.

1.55. Звукопоглинання
Sound absorption

Звукопоглинання матеріалів характеризується ступенем або коефіцієнтом поглинання звуку. Здатність матеріалів поглинати звук зумовлена їхньою пористістю, вона зростає з підвищенням кількості відкритих пор, максимальний діаметр яких не перевищує 2 мм.

Звукопоглинальні матеріали забезпечують також потрібну *тривалість реверберації* – поступового загасання звуку в закритих об'ємах (приміщеннях). Тривалість реверберації залежно від інтер'єру приміщення й частоти коливань становить 0,2...2,0 с.

До відомих звукопоглинальних матеріалів належать мінераловатні та скловолокнисті плити, що мають відкриту пористість не менше ніж 75%.

Високе звукопоглинання в широкому діапазоні частот забезпечується також комбінацією перфорованого покриття з пористим матеріалом.

Sound absorption of materials is characterized by degree or sound absorption coefficient. The ability of materials to absorb sound is caused by their porosity, it grows with increasing of open pores amount, the maximal diameter of which does not exceed 2 mm.

Sound-absorbing materials provide also required *duration of reverberation* – the gradual sound fading in the closed volumes (premises). Duration of reverberation depending on the interior of a premise and frequency of vibrations is 0.2...2.0 sec.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Mineral wool and glass-fibro boards are well-known sound-absorbing materials, which are the open porosity not less than 75%.

High sound absorption in the wide range of frequencies is provided also by combination of the perforated covering with porous material.

1.56. Електропровідність
Conductivity

Однією з основних електрофізичних властивостей матеріалів є *електропровідність* - здатність проводити електричний струм.

Цей показник для електропровідних матеріалів дорівнює $10^4...10^6 Ом^{-1} \cdot см^{-1}$, напівпровідників – $10^{-10}...10^4 Ом^{-1} \cdot см^{-1}$, електроізоляційних – менш $10^{-10} Ом^{-1} \cdot см^{-1}$. Для провідників та напівпровідників характерна електронна провідність, для різних видів електроізоляторів (діелектриків) - переважно іонна. Іонна електропровідність зростає з підвищенням температури. Домішки, підвищуючи коефіцієнт дифузії, також сприяють збільшенню електропровідності матеріалів з іонною електропровідністю. Вплив пористості на електропровідність подібний до її впливу на теплопровідність. Незначна кількість ізольованих рівномірно розміщених пор зменшує електропровідність майже пропорційно зростанню пористості. Із збільшенням пористості її вплив на електропровідність зростає.

Характерні тверді електропровідні матеріали – метали та їхні сплави; електроізоляційні – кераміка, скло, слюда, азбест.

Будь-який діелектрик може бути використаний при напругах, які не перевищують граничних значень, характерних для нього в певних умовах. При вищих напругах настає явище пробою діелектриків і повна втрата ними ізоляційних властивостей. Здатність матеріалів витримувати напругу (*електрична міцність*) характеризується величиною пробивної напруги електричного поля.

One of basic electro-physical properties of materials is *electrical conductivity* - ability to conduct electric current. This index for electroconductive materials is $10^4...10^6$ $Om^{-1} \cdot cm^{-1}$ semiconductors is 10^{-10}-10^4 $Om^{-1} \cdot cm^{-1}$, for electrically insulating materials it is less than 10^{-10} $Om^{-1} \cdot cm^{-1}$. For conductors and semiconductors electronic conductivity is characteristic, for the different types of electrical insulators (dielectrics) it is ionic prevalently. Ionic conductivity grows with temperature increase. Admixtures, promoting coefficient of diffusion, also increase the ionic conductivity of materials. Influence of porosity on conductivity is similar to its influence on a heat-conductance. The negligible quantity of isolated equispaced pores diminishes conductivity almost proportionally to porosity growth. With the increase of porosity its influence on conductivity also increases.

Metals and their alloys are representative solid electrical conducting materials; ceramics, glass, mica, asbestos are electrical insulating materials.

Any dielectric can be used for voltages, which do not exceed maximum values, characteristic for it in certain conditions. At higher voltage the phenomenon of dielectric breakdown appears and total loss of their insulating properties comes. The ability of materials to stand the voltage (*electric strength*) is characterized by the value breakdown voltage stress of electric field.

I.57. Радіоактивність
Radioactivity

Радіоактивність будівельних матеріалів характеризується вмістом в них атомів хімічних елементів, здатних до радіоактивного розпаду (радіонуклідів).

Для вихідної сировини, готових будівельних матеріалів і виробів характерна природна радіоактивність. Вона обумовлена вмістом в матеріалах природних радіонуклідів: радію-226, торію-232, калію-40. Основною характеристикою радіоактивності будівельних матеріалів є

Національний університет
водного господарства
та природокористування

сумарна питома активність природних радіонуклідів ($A_{еф}$ - відношення активності радіонуклідів в зразку до маси зразка, Бк/кг. Її величину визначають за формулою:

$$A_{еф} = ARa + 1.31ATh + 0.085AK, \quad (1.25)$$

де ARa, ATh, AK - питомі активності відповідно радію-226, торію-232 і калію -40.

Таблиця 1.5

Класи матеріалів за $A_{еф}$

Питома ефективна активність ($A_{еф}$), к/кг	Клас матеріалу	Область застосування
До 370	I	Всі види будівництва
Від 370 до 740	II	Дорожнє будівництво в межах населених пунктів та зон перспективної забудови, будівництво виробничих споруд
від 740 до1500	Ш	Дорожнє будівництво поза населеними пунктами
від 1500 до 4000	IV	Питання про будівництво вирішується за погодженням з урядовими організаціями

За величиною сумарної питомої ефективної активності радіонуклідів будівельні матеріали поділяють на класи, для яких встановлено можливі галузі використання (табл. 1.5)

Radioactivity of building materials is characterized by content of atoms of chemical elements capable of radioactive decay (radionuclides).

For the initial raw materials, and ready-made building materials and products characteristic is a natural radioactivity. It depends on the content in the materials of natural radionuclides: radium -226, thorium-232, potassium-40. The main characteristic of the radioactivity of building materials is the total specific activity of natural radionuclides (A_{eff}) (the ratio of activity of radionuclides in the sample to the sample weight, Bq/kg). Its value is determined by the formula:

$$A_{eff} = ARa + 1.31ATh + 0.085AP, \quad (1.25)$$

where ARa, ATh, AP - specific activity of radium-226, thorium-232 and potassium -40.

Table 1.5

Classes of materials on A_{ef}

Specific effective activity (A_{ef}), Bk/kg	Class of material	The scope of application
up to 370	I	All kinds of construction
from 370 to 740	II	Road construction within settlements and perspective development zones, construction of industrial buildings
from 740 to 1500	III	Roads outside residential areas
from 1500 to 4000	IV	The construction is decided by agreement with Government bodies

Based on the total of specific effective radionuclide activity, the building materials are divided into classes, with possible fields of use (table 1.5).

1.58. Радіаційна стійкість
Radiation resistance

Радіаційна стійкість – властивість матеріалу протистояти дії радіаційного опромінювання. Серед усіх відомих експлуатаційних факторів, що діють на матеріали, радіаційне опромінення є найсильнішим. Ступінь і глибина якісних змін матеріалів залежить від дози опромінення.

За рахунок передачі матеріалу великої кількості енергії він може нагріватись і переходити з кристалічного стану в аморфний. Радіаційні дефекти структури матеріалів, що

Національний університет
водного господарства
та природокористування

виникають, призводять до розвитку внутрішніх напружень, деформацій, тріщин і нарешті до повного руйнування. Змінюються також пружні характеристики, температурна деформативність, теплопровідність, густина та інші властивості матеріалу.

Різні матеріали неоднаково поглинають іонізаційне випромінювання. Теплові нейтрони ефективно поглинаються матеріалами, що містять атоми бору, кадмію, самарій, гафній і інші. Для матеріалів, які поглинають нейтронні випромінювання, часто використовують елементарний бор, нітрид або карбід бору, а також борну сталь. Поглинання γ-радіаційного випромінювання зростає з підвищенням густини матеріалів. Тому для поглинання цього виду випромінювання використовуються чавун, сталь, свинець, свинцеві стекла, а також часто використовується звичайний бетон. Якщо потрібно зменшити товщину захисного шару, як правило, застосовується особливо важкий бетон, густина якого становить 6000 кг/м^3 і більше. Збільшення вмісту легких елементів (водень, бор) в бетоні дозволяє використовувати його одночасно для поглинання як γ- ,так і нейтронного випромінювання.

Радіаційна стійкість матеріалів залежить від їх складу й структури. Наприклад, радіаційна стійкість гірських порід га інших кам'яних матеріалів зростає, якщо збільшується в їхньому складі вміст аморфної фази та зменшується розмір кристалів. Для бетонів і розчинів позитивне значення має збільшення об'єму цементного каменю, зменшення крупності заповнювача.

Radiation resistance is material property to resistance of radiation emissions. Among all of the known performance factors, which act on materials, radiation is the strongest one. A degree and depth of quality changes of materials depends on the radiation dose.

Due to transmission to material large quantity of energy it can be heated and pass from the crystalline state to amorphous. The radiation defects of materials structure, which form, are resulting in internal stresses development, deformations, cracks and finally in complete destruction. Elastic characteristics, temperature deformability, heat conductance, density and other properties of material change also.

Different materials absorb ionization radiation in a different measure. Thermal neutrons are effectively absorbed by the materials, containing the atoms of boron, cadmium, samarium, hafnium and others. For materials, which absorb the radiation, there are often used the elemental boron, boron nitride or carbide, and also boron steel. γ- radiation absorption increases in dense materials. Therefore for absorption of this type of radiation cast-iron, steel, lead, leaden glasses are used and also frequently ordinary concrete is used. If it is required to decrease the thickness of protective layer, usually extra-heavy concrete is applied, which density is 6000 кg/м^3 and more. Increasing of light elements content (hydrogen, boron) in concrete enables to use it simultaneously for absorption both γ - and neutron radiation.

Radiation resistance of materials depends on their composition and structure. For example, radiation resistance of rocks and other stone materials grows, if content of amorphous phase in their composition increases and the size of crystals diminishes. For concretes and mortars a positive significance has an increase of volume stone content, coarseness of aggregate diminishes.

1.59. Корозійна стійкість
Corrosion resistance

Корозія (від лат. *corrosio* - роз'їдання) - руйнування матеріалів під впливом агресивного середовища. За ступенем впливу на будівельні конструкції середовища поділяють на неагресивні (Н), слабоагресивні (СЛ). середньоагресивні (СР) і сильноагресивні (СИ). В основу класифікації покладено відносне зниження міцності матеріалу в зоні корозії і зовнішнє проявлення ознак корозії в результаті експлуатації конструкцій протягом одного року.

Розрізняють газоподібні, рідкі й тверді агресивні середовища. Залежно від виду й концентрації газоповітряні середовища умовно поділяють на чотири групи: A, B, C, D (табл. 1.6).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Ступінь агресивного впливу рідких середовищ визначається концентрацією агресивних речовин, температурою, напором або швидкістю руху рідини поблизу поверхні матеріалу. До агресивних речовин, розчинених у воді, можуть належати кислоти, їдкі луги, солі.

Агресивні властивості води визначаються ступенем її мінералізації, жорсткості, а також кислотності й лужності. Вода річок і озер має слаболужну реакцію. Загальний вміст солей у річкових водах не перевищує 0,3...0,5 г/л. Ґрунтові та підземні природні води містять підвищену кількість мінеральних солей та інших домішок. Морська (океанська) вода може містити до 35 мг/л солей, з них до 78% хлориду натрію, близько 11% сульфатів магнію, кальцію, калію.

Таблиця 1.6

Класифікація газоповітряних агресивних середовищ

Газ	Нормативна концентрація газу, мг/м^3 , у середовищі групи			
	A	B	C	D
Диоксид вуглецю	до 2000	> 2000	-	-
Сірчистий ангідрид	до 0,5	0,5…10	10…200	> 200
Фтористий водень	до 0,05	0,05…5	5…10	> 10
Сірководень	до 0,01	0,01…5	5…100	> 100
Оксид азоту	до 0,10	0,10…5	5…25	> 25
Хлор	до 0,10	0,10…1	1…5	> 5
Хлористий водень	до 0,05	0,05…10	5…10	> 10

Корозійну стійкість мінеральних матеріалів визначають найслабкіші компоненти, що входять до їхнього складу (як правило, цементуючі речовини).

Стійкість мінеральних матеріалів до лужних і кислотних розчинів залежить від складу і структури їх. Неметалеві кислотостійкі матеріали за хімічним складом можна представити переважно кислотними, лугостійкі - основними оксидами. Наприклад, силікатні матеріали (скло, кварц, азбест тощо), які містять головним чином оксид кремнію, стійкі до дії кислот, але здатні взаємодіяти з лугами, а цементний камінь, магнезит, вапняк, мармур, до складу яких входить оксид кальцію, - лугостійкі, але легко руйнуються під дією кислот.

До найбільш хімічно стійких належать полімерні матеріали. Однак ряд з них за певних умов також піддаються хімічної деструкції. Порівняно легко розпадаються у гарячій воді, кислотах і лугах гетероланцюгові полімери, які містять у головному ланцюгу атоми кисню, азоту, сірки тощо (поліаміди, тіоколи, силоксани, поліефіри та ін.).

Легко реагують із кислотами полімери, що мають у структурі подвійні зв'язки, наприклад, деякі види синтетичних каучуків і полівінілацетат.

Серйозні пошкодження різних матеріалів можуть статися через біологічні фактори, Наприклад, інтенсивну корозію бетону спричиняють динітрофікуючі, уролітичні та інші бактерії. Динітрофікуючі бактерії окислюють сірчисті сполуки, які містяться у стічних водах, спочатку до сірководню, а потім до сірчаної кислоти. Уролітичні бактерії діють, головним чином, на сечовину, гідролізуючи її. При цьому виділяється аміак і вуглекислота.

Бактерії також можуть активно впливати на метали. Наприклад, на сталь найбільше впливають бактерії, що утворюють кислоти.

Основні біологічні фактори, що впливають на деревину, - це гриби.

Для металів корозія під впливом рідких середовищ має електрохімічний характер. Різновидом електрохімічної корозії є так звана *електрокорозія* під дією як постійного, так і змінного струму.

Corrosion (from lat. *"corrosion"* – destruction) is a destruction of materials under act of aggressive environment. By the degree of influence on building constructions environments are divided into non-aggressive (N), low-aggressive (L), medium aggressive (M) and strongly aggressive

Національний університет
водного господарства
та природокористування

(S). The classification is based on the relative strength decreasing of a material in corrosion area and external display of corrosion signs as a result of performance of structure during one year.

There are differenced gaseous, liquid and solid aggressive environments. Depending on the type and concentration gaseous environments are divided into four groups: A, B, C, D, (tabl. 1.6).

The degree of aggressive influence of liquid environments is determined by the concentration of aggressive substances, temperature, pressure or fluid velocity of near-by the surface of material. Acids, caustic alkalis, some salts, dissolved in water, can be aggressive agents.

Table 1.6

Classification of gaseous aggressive environments

Gas	Normative concentration of gas, mg/m^3, in the environment of group			
	A	B	C	D
Carbon dioxide	to 2000	> 2000	-	-
Sulfurous anhydride	to 0,5	0,5…10	10…200	> 200
Anhydrous hydrogen fluoride	to 0,05	0,05…5	5…10	> 10
Hydrogen sulphide	to 0,01	0,01…5	5…100	> 100
Nitrogen oxide	to 0,10	0,10…5	5…25	> 25
Chlorine	to 0,10	0,10…1	1…5	> 5
Hydrogen chloride	to 0,05	0,05…10	5…10	> 10

Aggressive properties of water are determined by the degree of its mineralization, hardness, and also acidity and alkalinity. Water of the rivers and lakes has alkalescent reaction. General content of salts in river waters does not exceed 0.3...0.5 g/l. Ground and underground natural waters contain the raised amount of mineral salts and other admixtures. Salt (ocean) water can contain up to 35 mg/l of salts, from them up to 78% of sodium chloride, about 11% of magnesium, calcium and potassium sulfates.

Corrosion resistance of mineral materials is determined by the weakest components which are included in their composition (usually, cementing substances).

Resistance of mineral materials to alkaline and acid solutions depends on their composition and structure. Non-metal acid-resistant materials according to the chemical composition mainly consist of acidic oxides, alkali-resistant consist of basic oxides. For example, silicate materials (glass, quartz, asbestos, etc.) which contain mainly silicone oxide are proof to the action of acids, but they are able to react with alkalies. Cement stone, limestone, marble, which contain mainly the oxide of calcium, are alkali-resistant, but easily deteriorate under the action of acids.

Polymeric materials are the most chemically resistant. However some of them at certain terms also attackable by chemical destruction. Heterochain polymers, which contain in the main chain atoms of oxygen, nitrogen, sulphur, etc. (polyamides, thiokol, siloxanes, polyethers, etc.), are comparatively easily disintegrate into hot water, acids and alkalis. Polymers which have double bonds in a structure, react easily with acids, for example, some types of artificial rubber and polyvinylacetate.

The serious damages of different materials can happen due to biological factors (*biocorrosion*). For example, intensive corrosion of concrete is caused by denitrifying, urolitical and other types of bacteria. Denitrifying bacteria oxidize sulfureous compounds, containing in waste waters, primarily to hydrogen sulphide, and then to sulphuric acid. Urolitical bacteria impact mainly on urea, hydrolyzing it. Ammonia and carbonic acid exude at that.

Bacteria can also actively influence on metals. For example, bacteria which form acids have the most influence on steel.

Basic biological factors which influence on wood are fungi.

For metals corrosion under act of liquid medium is electrochemical by character. The type of electrochemical corrosion is the so-called *electrocorrosion* under the action of both direct and alternating current.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1.60. Втомленість
Fatigue

Зміна механічних властивостей матеріалів при тривалій дії циклічно змінюваних в часі напружень називається *втомленістю*.

У стані втомленості в матеріалах утворюються мікротріщини в структурних складових і на їх межах, які перетворюються в макротріщини, що призводять до руйнування. Втомленість матеріалів істотно прискорюється при активному впливі середовища (підвищені температури, корозія). Це призводить до зміни їх міцності, твердості, модуля пружності, електричного і магнітного опору, щільності.

Втомленість матеріалів зазвичай характеризують *кривою витривалості*, яка описує залежність між відносною міцністю або деформацією і числом циклів до виникнення макротріщин або до остаточного руйнування (рис.1.22). Руйнуванням краще чинять опір матеріали з підвищеною міцністю, пластичністю і в'язкістю. Властивості матеріалів з підвищеною чутливістю до концентрації напружень сильно залежать від стану поверхні і, в зв'язку з цим, від технології їх обробки. Опір втомленості, наприклад, сталі, збільшують легуванням, використанням електропереплаву, що знижує вміст шкідливих домішок, термомеханічним зміцненням. Низька втомленість і, відповідно, висока витривалість матеріалів досягається вибором оптимального складу і структури, захисними покриттями.

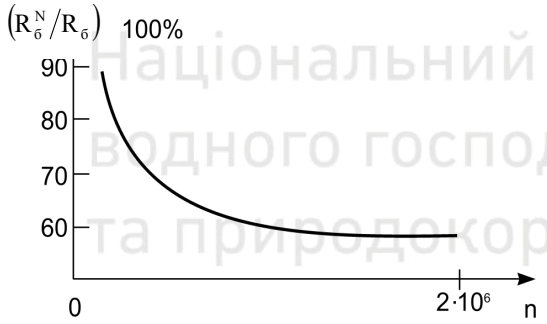

Рис. 1.22. Характер залежності відносної границі витривалості бетону від кількості циклів навантаження N: $R_б^N, R_б$ - відповідно міцність бетону після N циклів і початкова міцність
Fig. 1.22. Character of relative fatigue limit depending on the number of stress cycles of concrete N: R_c^N, R_c – the strength of concrete after N cycles and initial strength, accordingly

Change of mechanical properties of materials during long-term action of stresses that cyclically change in time is called *fatigue*.

With the accumulation of fatigue damage, in the materials are formed microcracks in structural components and at their borders, which developed into macrocracks and lead to destruction. The fatigue of materials is accelerated substantially under the active impact of the environment (high temperature, corrosion). The fatigue leads to a change in their strength, hardness, modulus of elasticity, electric and magnetic resistance, and density.

Resistance of materials to fatigue is usually characterized by the *curve of stamina*, describing the relationship between their relative strength or deformation and the number of cycles before the macrocracks detection during or prior the final destruction (fig. 1.22). Materials with high strength, ductility and viscosity better resist fatigue destructions. The fatigue properties of materials with higher sensitivity to concentrations of stresses strongly depend on the surface conditions and, therefore, on the technology of their processing. Resistance to fatigue of, for example, steel, is increased by alloying, using electro refining that reduces the content of harmful impurities, by thermal-mechanical hardening. High resistance to fatigue of materials is achieved also by the choice of the optimal composition and structure, protective coatings.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

2. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ
MAIN TEXNOLOGICAL PROCESSES

2.1. Класифікація технологічних процесів
Classification of the technological processes

Властивості матеріалів і виробів, техніко-економічна ефективність їх виробництва визначаються особливостями використаної технології, яка становить сукупність різних процесів, спрямованих на отримання з вихідної сировини готової продукції.

Загальна схема технології виробництва будівельних матеріалів включає в себе добування і транспортування сировини до підприємства, підготовку робочої суміші та її обробку, формування виробів, їх обробку до отримання необхідних якісних показників. Готові вироби транспортують на склад готової продукції. де їх зберігають і згодом відправляють споживачу. Залежно від виду матеріалів певні стадії технологічного процесу можуть виключатися (наприклад, добування сировини, якщо вона привізна, виготовлення робочої суміші – у разі отримання виробів із природного каменю, однокомпонентної сировини тощо).

Технологічні процеси можна класифікувати так:

• *механічні* – подрібнення, помел, просіювання, фракціонування, змішування, формування, ущільнення тощо.;

• *хімічн*і – антисептування, антипірування, екстрагування, гідрофобізування, окислення тощо;

• *теплові* – сушіння, випал, випаровування, пропарювання, автоклавування тощо.

Відрізняють також *гідромеханічні* (транспортування газоподібних, рідких, порошкоподібних матеріалів, осідання зважених частинок тощо); *масообмінні* (поділ сировинних матеріалів за їхньою густиною, зниження вологості) та інші процеси. У деяких випадках технологічні процеси можна вважати комплексними, що відбуваються одночасно. Наприклад, теплові процеси часто супроводжуються масообмінними та хімічними реакціями.

Properties of materials and elements, technical and economic efficiency of their manufacturing are determined by the peculiarities of the technology applied, which is the group of different processes, directed on production of the ready-made products from the initial raw.

The general process chart of construction materials production includes output and transportation of raw material at the enterprise, preparation of working mixture and its processing, products forming, their processing to produce the required qualitative indexes. The finished elements are transported on storage of the end products, where they are stored and then are delivered to the customer. Depending on the type of materials the certain stages of technological process can be eliminated (for example, output of raw material, if it is imported, making of working mixture – in the case of elements production made of natural stone, single-component raw, etc.).

The technological processes can be classified into:

• *mechanical* – crushing, grinding, screening, fractionating, mixing, forming, consolidation, etc.;

• *chemical* – antiseptic treatment, fire-retarding agents treatment, extracting, hydrophobization, oxidization, etc.;

• *therma*l – drying, burning, evaporation, steaming, autoclaving, etc.

There are also distinguished *hydromechanical* (transportation of gaseous, liquid, powdery-like materials, precipitation of the suspended particles, etc.); *mass-transfer* (separation of raw materials according to their density, reduction of humidity) and other processes. In many cases technological processes are complex. For example, thermal processes are often accompanied by the mass-transfer and chemical reactions.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

2.2. Подрібнення
Grinding

Найбільш поширеним і енергоємним способом обробки сировини для виготовлення будівельних матеріалів є *подрібнення*. Наприклад, близько 70...75% використовуваної електроенергії при виробництві 1т цементу витрачається на подрібнення сировинних матеріалів і клінкеру.

Подрібнення твердих матеріалів можливо для прискорення їх хімічної взаємодії, отримання більш однорідних сумішей і полегшення їхньої подальшої обробки.

Залежно від фізико-механічних властивостей матеріалу, початкової крупності зерен і потрібного ступеня подрібнення використовують способи роздавлювання, удару, стирання, розколювання та їхні комбінації (рис.2.1).

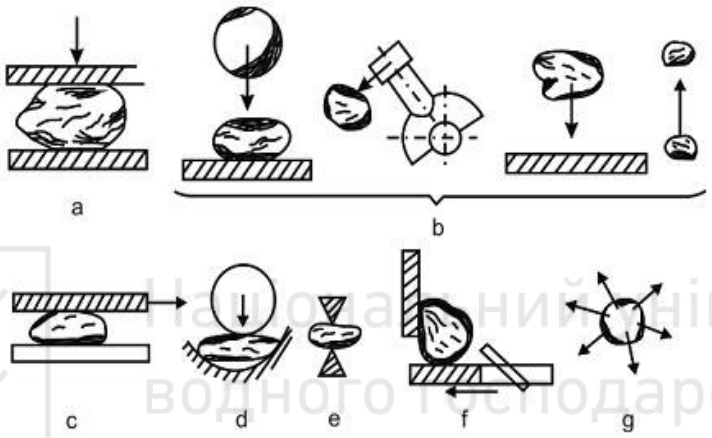

Рис. 2.1. Способи подрібнення матеріалів: a – роздавлюванням; b – ударом; c – стиранням; d – згинанням;e – розколюванням; f – різанням; g – вибухом.
Fig. 2.1. Methods of material grinding: a – crushing; b – impaction; c – abrasion; d – tension; e – splitting; f – cutting; g – explosion.

Тверді й крихкі матеріали доцільно подрібнювати роздавлюванням, а в'язкі – роздавлюванням за участю стирання. Крупне подрібнення м'яких і крихких матеріалів виконують розколюванням, а середнє й дрібне – ударом. При тонкому подрібненні – помелі найчастіше використовують роздавлювання і стирання. Деревину, торф та інші волокнисті матеріали подрібнюють ударом і різанням.

Під ступенем подрібнення і розуміють відношення середніх значень діаметрів кусків вихідного й кінцевого продуктів. Залежно від значення і розрізняють крупне (i = 2…6), середнє (i = 6…10), дрібне подрібнення (i = 10…50) та помел (i = 50 і більше) .

Основними видами машин для подрібнення є щокові, конусні, молоткові, валкові дробарки та бігуни (рис.2.2). Для помелу матеріалів застосовують барабанні, вібраційні, струменеві та інші види млинів.

Здатність матеріалів до помелу може оцінюватися коефіцієнтом розмелювання. Якщо прийняти коефіцієнт розмелювання цементного клінкеру за одиницю то коефіцієнт розмелювання становить, наприклад, для вапняку 1.2…1.8, гранульованого доменного шлаку 0.8…1.1, трасу 0.5…0.6 кварцового піску – 0.6…0.7.

Відповідно до закону подрібнення, встановленого Ріттингером, робота подрібнення A пропорційна площі новоутворюваної поверхні ΔS :

$$A = \sigma \Delta S, \qquad (2.1)$$

де σ – питома поверхнева енергія твердого тіла.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

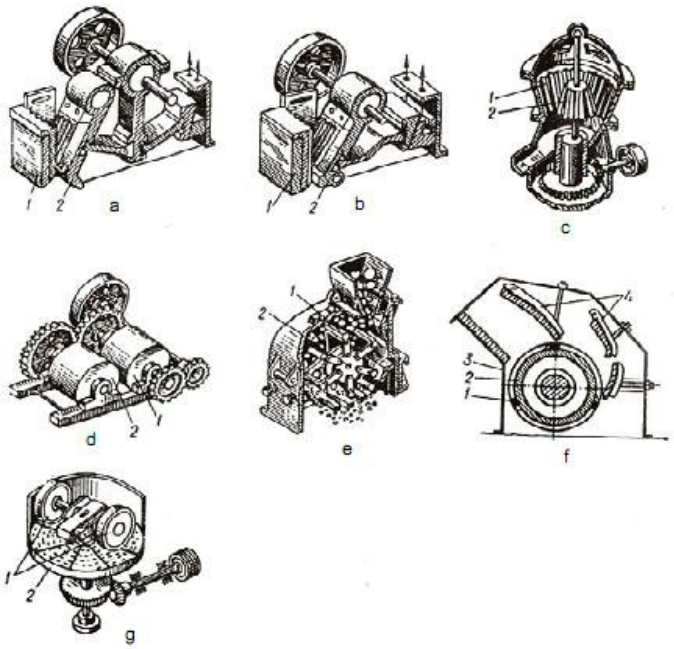

Рис. 2.2. Види дробарок: a – щокова дробарка з простим рухом щоки; b – щокова дробарка з складним рухом щоки (1 – фіксована щока, 2 – рухома щока); c – конусна (1 – нерухомий зовнішній конус, 2 – мобільний внутрішній конус); d – валкова (1,2 – ролики, обертаються один до одного); e – молоткова; f – роторна(1 – молотки, 2 – ротор, 3 - корпус, 4 – відбійні плити); g – бігуни (1 – ролики, 2 – чаша).
Fig. 2.2. Crushers: a – jaw with the simple oscillation of crushing jaw; b – jaw with the complicated oscillation of crushing jaw (1 – fixed jaw, 2 – movable jaw); c – cone (1 – immobile external cone, 2 – mobile internal cone); d – roll (1,2 – rollers, revolved to each other); e – hammer; f – rotor (1– hammers, 2 – rotor, 3 – enclosure, 4 – beds); g – grinding mills (1 – rolls, 2 – bowl).

Процеси деформації й руйнування твердих тіл суттєво змінюються під впливом фізико-хімічної взаємодії із зовнішнім середовищем. Якщо поверхнева енергія під впливом ПАР зменшується, то їх подрібнення прискорюється.

Grinding is one of the most widespread and power-consumption method of raw material treatment for construction materials manufacturing. For example, about 70...75% of the general consumption of electric power at the production of 1t cement is expended on grinding of raw material materials and clinker.

Grinding of solid materials is possible for the acceleration of their chemical interaction, production of more homogeneous mixtures and facilitation of its subsequent processing.

Depending on the physical and mechanical properties of the material, initial size of grains and the desired degree of grinding, crushing, impaction, abrasion, splitting and their combinations are used (fig. 2.1).

It is reasonable to grind hard and brittle materials by crushing, and viscous – by crushing with abrasion. Coarse grinding of soft and brittle materials is executed by splitting and secondary and fine - by impaction. Crushing and abrasion are very often used at fine grinding – milling. Wood, peat and other fibrous materials, are ground down by impact and cutting.

Under the degree of grinding D_g one understands the ratio of the average values of diameters of the pieces of the raw and finished products. Depending on the value of the D_g they distinguish coarse (D_g = 2 to 6), medium (D_g = 6 ... 10), fine crushing (D_g = 10 to 50) and milling (D_g = 50 and higher).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The main types of machines for grinding are jaw, cone, hammer, roll, crushers and runners (fig.2.2). For grinding of materials drum, vibratiory, jet and other mills are applied.

Resistance of materials to grinding can be estimated by the coefficient of grindability. If grindability of cement clinker is taken as one, the grindability of other materials can be described by the following coefficients: limestone – 1.2…1.8; granulated blast-urnace slag – 0.8…1.1; trass – 0.5…0.6; quartz sand – 0.6…0.7.

In accordance with the law of grinding set by Rittinger, grinding work (A) is proportional to the area of the newly formed surface ΔS:

$$A = \sigma \Delta S \,, \qquad (1.1)$$

σ is the specific surface energy of a solid body.

The processes of deformation and destruction of solids substantially change under the influence of the physical and chemical interaction with the environment. If the surface energy of materials diminishes under influence of surface-active substances (SAS), its grinding is accelerated.

2.3. Класифікація матеріалів за крупністю
Grain-size classification

У багатьох технологічних процесах подрібнення використовується в комплексі з *класифікацією* зернистих матеріалів, тобто розподілом та сортуванням їх за крупністю. Залежно від способу здійснення класифікація може бути механічною (просіювання), повітряною (сепарація), гідравлічною й електромагнітною.

При *механічній класифікації* сипкі матеріали розділяють за допомогою машин або устаткування (*грохотів*) з плоскими або барабанними колосниковими ґратками або ситами. Найпростіші грохоти – нерухомі, вони можуть бути також хиткими, обертовими, вібраційними та ін. Ефективність *грохочення* оцінюють відношенням маси частинок нижнього класу, тобто частинок, розмір яких менший від розміру отворів на ситі, до фактичної кількості частинок цього класу у вихідному продукті, %. Цей показник, що називається *коефіцієнтом якості грохочення*, залежить від параметрів процесу, вологості, зернового складу матеріалу та інших факторів. Для барабанних грохотів він становить 50...80%, таких що коливаються – 70...80%, вібраційних – 90...95%.

При *повітряної класифікації* частинки матеріалу виділяють за допомогою сепараторів з повітряного середовища під дією сили тяжіння з вертикального чи горизонтального потоку або під впливом відцентрової сили з криволінійного потоку. В існуючих конструкціях повітряних сепараторів найчастіше класифікація відбувається при спільній дії цих сил. Метод повітряної сепарації широко використовується під час роботи помольних агрегатів за замкненим циклом, коли потрібно відділити від загального потоку матеріалу готовий продукт, а крупніші частинки спрямувати на домелювання (рис. 2.3).

Гідравлічна класифікація здійснюється в горизонтальному або вихідному водяному потоці. Швидкість потоку вибирають такою, щоб із класифікатора виносилися на злив частинки розміром менше певної крупнисті. А в класифікаторі осідали частинки більших розмірів (нижній продукт). Гідравлічну класифікацію широко застосовують при збагаченні сировинних сумішей, тобто при відділенні домішок і фракціонуванні. Відмивання домішок звичайно здійснюється в спіральних класифікаторах і гідро циклонах. А фракціонування пісків – у вертикальних гідравлічних класифікаторах. Усі ці способи й процеси ґрунтуються на законах гідродинаміки.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

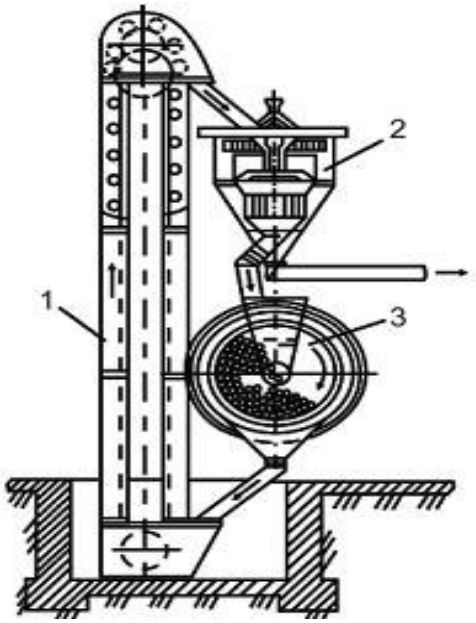

Рис.2.3. Схема роботи помольного агрегату з відцентровим сепаратором у замкненому циклі: 1 – елеватор; 2 – відцентровий сепаратор; 3 – кульовий млин
Fig.2.3. Scheme of mill device work with centrifugal separator in the closed cycle: 1– elevator; 2 – centrifugal separator; 3 – ball mill.

In many technological processes, grinding is used in a complex with *classification* of grain materials that means, distributing and sorting them depending on fineness. The classification, depending on the method of realization, can be mechanical (sieving), air (separation), hydraulic and electromagnetic.

During the *mechanical classification*, the bulk materials are divided by machines or equipment (*sieving machines*) with plane or drum grates or sieves. The simplest sieving machines are immovable ones, they can be also revolving, vibrational, etc.

Efficiency of sieving is estimated by the ratio of particles mass of undersize, that means the particles size of which is less than the size of voids on a sieve, to the actual amount of particles of this class in the initial product, %. This index, called the *coefficient of sieving quality*, depends on the parameters of process, humidity, grain distribution of material and other factors. For the drum sieves it is 50...80%, swinging – 70...80%, vibrational – 90...95%.

At *air classification* particles of material are selected in separators during the grinding from the air environment under the action of gravity from vertical or horizontal stream or under the influence of centrifugal force from a curvilinear stream. Classification very often takes place at the combined action of these forces in the existent constructions of air separators. Air – separation method is widely used at the work of mills by the closed cycle, if it is needed to separate the prepared product from the general stream of material, and to send more large particles for re-crushing (fig. 2.3).

The hydraulic classification is carried out in a water stream. A stream rate is selected to provide the carrying out from the classifier for wash the particles less than the certain fineness in size, and sedimentation of the particles with coarser fineness in a classifier (underflow). Hydraulic classification is widely applied at enrichment of raw meals that means separation of admixtures and fractionating. Washing of admixtures is usually carried out in spiral classifiers and hydraulic cyclones, and fractionating of sands – in vertical hydraulic classifiers. All of these methods and processes are based on the hydrodynamics laws.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

2.4. Очищення газів від пилу
Cleaning of gases from dust

Технічні методи *очищення газів від пилу* можна поділити на такі основні групи:

1) *механічне (сухе) очищення газів*, коли частинки осідають під дією механічних сил – тяжіння, відцентрових та інерційних. Для механічного очищення застосовують пилоосаджувальні камери, циклони (рис. 2.4), відцентрові пиловловлювачі ротаційної дії та інерційні пиловловлювачі;

2) *електричне очищення газів*, при якому частинки осідають в електричному полі високої напруги. Електричне очищення здійснюють за допомогою пластинчатих і трубних електрофільтрів (рис.2.5);

3) *фільтрування газів* – через ткані (рукавні) фільтри, насипні чи набивні й керамічні фільтри, які затримують частинки, підвішені в газовому потоці;

4) *мокре очищення* – зрошення газового потоку рідиною або промивання його під час проходження крізь шар рідини. Гідравлічні пиловловлювачі – це скрубери й мокрі циклони;

5) осідання частинок з використанням для їх агрегації ультразвуку.

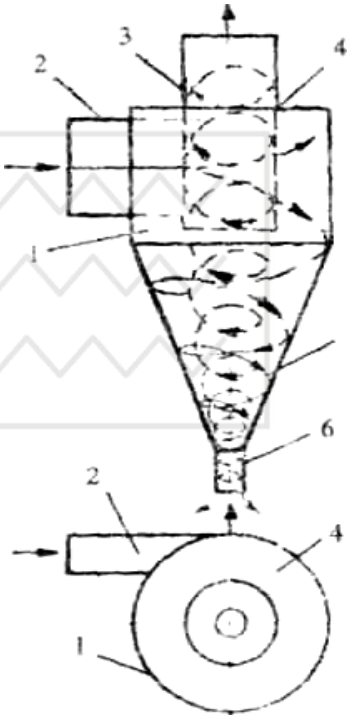

Рис. 2.4. Схема дії циклону:
1 – циліндрична частина; 2– газохід;
3 – патрубок для виходу газу; 4 – кришка;
5 – конічна частина; 6 – вивантажувальний патрубок.
Fig. 2. 4. Scheme of cyclone action:
1 – cylindrical part; 2 – gas flue;
3 – branch for gas make; 4 – deck;
5 – conical part; 6 – branch for unloading.

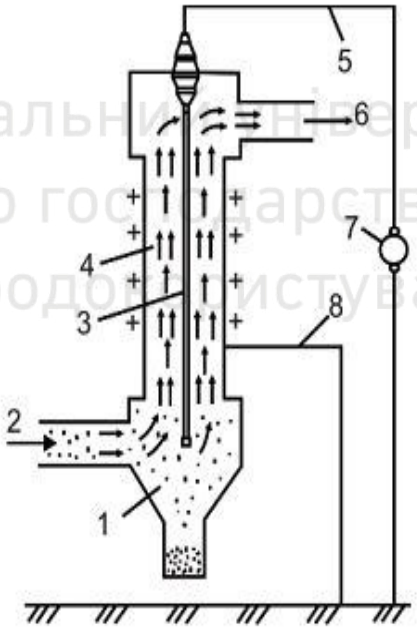

Рис. 2.5. Схема роботи електрофільтра:
1– бункер;2 – входження неочищеного газу;
3 – дріт; 4 – циліндр;5 – провід з від'ємним зарядом; 6 – вихід очищеного газу; 7 – джерело струму високої напруги; 8-заземлення.
Fig. 2.5. Scheme of electrical cleaner work:
1 – hopper; 2 – entering of unrefined gas; 3–line;
4 –cylinder; 5 – wire with negative charge; 6 – output of the cleared gas; 7 – source of current of high voltage; 8 – grounding.

Ефективність роботи пилоосаджувального пристрою оцінюється коефіцієнтом корисної дії або ступенем очищення ($К_ф$):

$$K_ф = (M_2/M_1)\cdot 100\% = [(C_1 - C_2)/C_1]\cdot 100\%, \qquad (2.2)$$

де M_1 – кількість пилу, що надходить у пиловловлювач; M_2 – кількість уловленого пилу в пиловловлювачі; C_1, C_2 – концентрація пилу до і після осідання, г/м^3.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Ефективність очищення газів, що досягається пиловловлювачами, залежить від багатьох факторів, головні з них – розмір частинок пилу, що надходять в камеру осадження, тип і конструкція пиловловлювача.

Ступінь очищення газів для різноманітних видів пилоосаджувальних пристроїв залежно від розміру частинок наведено в табл.2.1.

Таблиця 2.1.

Ступінь очищення газів різними пиловловлювачами

Агрегат	Розмір частинок, що осідають,мкм	Ступінь очищення,%
Пилоосаджувальна камера	5…2000	4….70
Відцентровий пиловловлювач(циклон)	3…100	45…85
Електрофільтр	0,005…10	85…90
Гідравлічний пиловловлювач	0,01…10	85…95

It is possible to divide technical methods of *gases cleaning from dust* into such basic groups:

1. *Mechanical (dry) gas cleaning*, at which particles are settled under the action of mechanical forces – gravity, centrifugal and inertial. The dust precipitation chambers, cyclones (fig. 2.4), centrifugal air filters and inertia-type precipitators are applied for the mechanical cleaning.

2. *Electric gas cleaning*, at which particles are settled in the electric field of high voltage. The electric cleaning is carried out by plate and pipe electrostatic cleaners (fig. 2.5).

3. *Gas filtration* - through the woven (bag) filters, bulked or prepacked and ceramic filters, which detain the particles, weighted in a gas stream.

4. The *wet cleaning* - spraying of gas stream or its washing at passing through the layer of liquids. The scrubbers and hydraulic cyclones belong to the wet-type collectors.

5. Settling of particles with the use of the ultrasound for its aggregation.

The work efficiency of dust precipitation device is estimated by coefficient of efficiency or by degree of purification:

$$C_f = (M_2/M_1) \cdot 100\% = [(C_1 - C_2)/C_1] \cdot 100\%, \qquad (2.2)$$

where M_1 – the dust amount, which enters the dust collector; M_2 – the amount of the recovered dust in dust collector; C_1, C_2 – the concentration of dust before and after settling, g/m^3.

Purification efficiency, achieved by the dust collectors, depends on many factors, but the main one the size of dust particles, entering settling chamber, type or construction of dust collector.

Purification efficiency of various types of dust collectors depending on the size of particles are shown in table 2.1.

Table 2.1

Gas purification efficiency by different dust collectors

Aggregate	Particle sizes, which are settled, micrometers	Purification efficiency, %
The dust precipitation chamber	5...2000	40...70
Centrifugal air filter (cyclone)	3...100	45…85
Electrostatic cleaner	0,005...10	85…90
Wet-type collector	0,01...10	85…95

2.5. Змішування
Mixing

Основна мета *змішування* – забезпечення рівномірного розподілу компонентів суміші й досягнення потрібної однорідності. З однорідністю сумішей тісно пов'язані їхні властивості, а також якість матеріалів і виробів на їхній основі. Поширені два основних способи змішування: механічний – за допомогою машин-змішувачів і пневматичний - за

Національний університет
водного господарства
та природокористування

допомогою стисненого повітря (барботаж). Змішування може здійснюватись як періодично, так і безперервно, Однорідність суміші залежить від кількості переміщень частинок та їхній траєкторії. Так, найкраще бетонні суміші змішуються в центрі бетонозмішувача. Важливу роль відіграє траєкторія при наявності крупних зерен, оскільки при цьому суміш може розшаровуватися під дією сили тяжіння.

Для подолання інерції найвигіднішим вважається обертальний рух. Порошкові матеріали змішують за допомогою барабанних, шнекових, стрічкових, циркуляційних, відцентрових, вібро– і пневмозмішувачів. Барабанні змішувачі найпростіші, однак змішування в них відбувається порівняно повільно. Апаратами інтенсивного змішування є одно– і двовальні шнекові змішувачі. До ефективних видів змішувачів належать циркуляційні, відцентрові та віброзмішувачі. У перших матеріали змішуються інтенсивною циркуляцією їх у розпиленому(псевдозріджувальному) стані, в інших – за рахунок відцентрової сили, що розвивається при обертанні ротора, у третіх – за рахунок створення рухомого шару на поверхні, що коливається з високою частотою.

Під час виготовлення розчинових і бетонних сумішей, емульсій і паст змішування відбувається в рідких середовищах за допомогою лопатевих, пропелерних, турбінних та інших механічних змішувачів (рис.2.6), сопел, насосів, а також при барботажі.

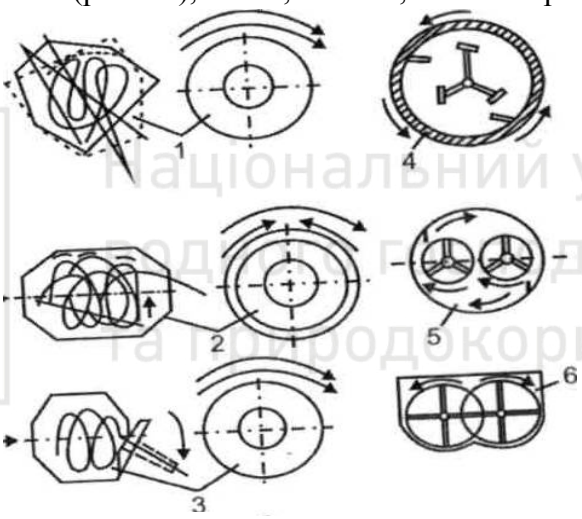

Рис. 2.6. Схеми бетонозмішувачів: а – гравітаційної дії; б – примусової дії; 1 – перекидний; 2 – неперекидний реверсивний; 3 – нереверсивний з вивантажувальним лотком; 4 – протиточної дії з обертовою чашею; 5 – з двома змішувальними пристроями; 6 – двовальний.
Fig. 2.6. Schemes of concrete mixers: a – gravitation action; b – forced action: 1 – reversible; 2 – unreversible bidirectional; 3 – unreversible with an unloading tray; 4 – counterflow action with revolved bowl; 5 – with two mixer devices; 6– twin-shaft.

Primary purpose of *mixing* is providing of the uniform distribution of the mixture components and achievement of required homogeneity. The properties, quality of materials and elements based on them, are closely related to homogeneity of mixtures. Two basic methods of mixing are widespread: mechanical one – by machines-mixers and pneumatic – by the compressed air (barbotage). Mixing can be carried out both periodically and continuously. Homogeneity of mixture depends on the amount of movements of particles and its trajectory. Thus, concrete mixtures are mixed up the best in the center of concrete mixer. The important role trajectory plays at the presence of coarse grains, as if here mixture can segregate under the gravity forces.

For overcoming of inertia rotation is considered to be the most advantageous. Powder-like materials are mixed up by barrel, screw, band, circulation, centrifugal, vibro – and pneumatic mixers. Barrel mixers are the simplest; however mixing in them takes place comparatively slowly. The units of the intensive mixing are tandem- and two-shaft screw mixers. Circulative, centrifugal and vibromixers belong to the effective types of mixers. In some of them materials are mixed up by

Національний університет
водного господарства
та природокористування

intensive circulation in the sprayed (pseudodiluted) state, in other one – due to centrifugal force, eveloped at the rotation of rotor, in the third one – due to creation of mobile layer on-the-spot, which oscillates with highfrequency.

At manufacturing mortars and concrete mixes, emulsions, paste, mixing in liquid environments takes place by paddle, propeller, turbine and other mechanical mixers (fig. 2.6), jets, pumps, and also at barbotage.

2.6. Пресування
Pressing

Формування *пресуванням* застосовують здебільшого при використанні мало пластичних та сипких сировинних сумішей. Під час пресування примусово переміщуються і взаємно зближуються тверді компоненти суміші, що призводить до найкомпактнішого розміщення їх у певному об'ємі й видавлювання вільної води та повітря.

Оптимальний тиск пресування підбирають дослідним шляхом з урахуванням тиску, потрібного для доведення маси до заданої щільності, подолання тертя маси об стінки пресформ і деякого надлишкового тиску через відмінності у вологості, зерновому складу тощо.

Під час напівсухого пресування порошкових мас при тиску 10...200 МПа залежність між пористістю сирцю П й тиском пресування Р описується формулою:

$$П = a - b \lg P. \qquad (2.3)$$

Значення а і Ь залежать від складу й реологічних властивостей мас. Наприклад, для вогнетривких мас пропонується а=50, Ь=15.

Тиск, при якому об'єм маси дорівнює сумі об'ємів твердих та рідких частинок, називається критичним. Коли тиск перевищує критичний, настає перепресування, розвивається пружна протидія, що призводить до руйнування контактів, які утворились, і виникнення тріщин.

Оптимальний тиск пресування залежить від вологості та зернового складу суміші. З підвищенням вологості зменшується внутрішнє тертя частинок, однак це заважає виходу повітря й отриманню щільної структури. Звичайно вологість маси порошків для напівсухого пресування становить 6... 12%. Кращі умови пресування забезпечуються при безперервній гранулометрії і максимальному розмірі зерен до 3 мм.

Формування пресуванням можна виконувати *штампуванням* з передачею пресувального навантаження через штамп, що перекриває всю площу виробу і формує лицьову і гильну поверхні; пресування за допомогою катків, що переміщуються по укладеній у форму суміші (рис. 2.7); *вібропресуванням*, яке поєднує в собі прикладання статичного тиску й вібрування.

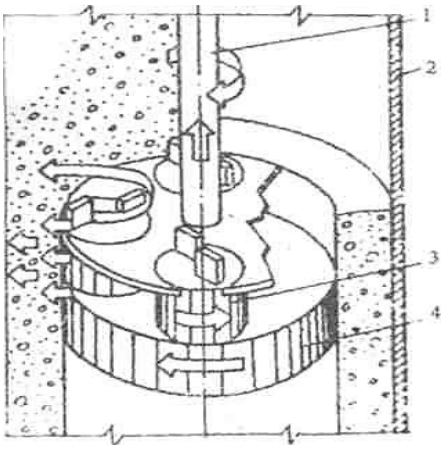

Рис. 2. 7. Схема пресування циліндричного виробу робочим органом роликового типу:
1 – приводний вал; 2 – форма; 3 – ущільнюючий ролик; 4 – пригладжувальний циліндр.
Fig. 2.7. Chart of pressing of barrel-type element by a working organ of roller type:
1 – input drive; 2 – form; 3 – sealing roller; 4 – smoothing bowl.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Різновидом пресування є *трамбування*, суть якого полягає в багаторазовому прикладанні до частинок миттєвого пресуючого тиску.

Shaping by *pressing* is applied mainly at the use of low-plastic and bulk raw meals. The solid components of mixture forcedly move and are mutually drawn together during pressing, which leads to the most compact placing them in a certain volume and extrusion of uncombined water and air.

Optimum compaction pressure is selected in experimental way. Thus, pressure, required for taking of mass to the specified density and overcoming of friction of mass at the walls of molds, and also some excessive pressure because differences between humidity, grain distribution and others are taken into account.

At the semi-dry pressing of the powder-like masses under the pressure 10...200 MPa, dependence between porosity of raw product (P_r) and compacting pressure (P) is described by the formula:

$$P_r = a - b\lg P , \qquad (2.3)$$

where *a* and *b* – empirical constants.

Values a and b depend on composition and rheological properties of the masses. For example, for the refractory masses it is suggested to assign a=50, b=15.

Pressure at which the volume of mass is equal to the sum of volumes of solid and liquid particles is called critical. If pressure exceeds critical, the overpress comes, elastic counteraction develops, which results in destruction of appeared contacts and cracks formation.

The optimal compacting pressure depends on the humidity and grain distribution of the mix. The internal friction of particles diminishes with the increase of humidity; however it interferes to air release and formation of dense structure. Usually, the humidity of powder mass for the semi-dry pressing is 6...12%. The best conditions of pressing are provided at a continuous size of distribution, and maximal sizes of grains up to 3 mm.

Shaping by pressing can be executed with *stamping* with transfer the pressing loading through a stamp, which recovers all of element's area and forms facial and back surfaces; pressing by rollers, moved on the placed mix in the form (fig. 2.7); *vibrocompaction*, combining the static pressure and vibration itself.

Ramming is a type of pressing, which consists in repeated application of momentary compacting pressure to the particles of the material under compaction.

2.7. Формування литтям
Shaping by casting

Формування литтям полягає у заповненні відповідного об'єму сировинною сумішшю та її ущільненні під дією сил тяжіння. Виконують його із сировинних сумішей, що мають достатню текучість, яка залежить від властивостей твердої фази, водотвердого відношення, наявності добавок електролітів і ПАР.

Поряд з потрібною текучістю (рухливістю) суміші для лиття повинні мати достатню структурну міцність та в'язкість для протидії розшаруванню внаслідок седиментації (осідання) частинок твердої фази. Лиття застосовують для виготовлення гіпсових виробів, а також для отримання ніздрюватих бетонів, керамічних санітарно-будівельних виробів з шлікерів.

Метод шлікерного виробництва заснований на здатності глин давати стійкі водні суспензії, а також на поглинанні рідкої фази капілярами гіпсової форми з утворенням на її поверхні твердого шару. Швидкість набирання стінки виробу залежить від швидкості поглинання формою рідкої фази шлікера, гранулометричного складу твердої фази й співвідношення твердої та рідкої фаз. При значному випередженні швидкості поглинання

Національний університет
водного господарства
та природокористування

води формою на поверхневому шарі відливки утворюється надмірно ущільнений шар, що призводить до відшаровування і появи тріщин. У разі відставання швидкості поглинання води формою може відбуватися її розмивання й прилипання виробів.

Останнім часом область використання формування виробів за допомогою лиття розширюється. Його застосовують, наприклад, для виготовлення бетонних і залізобетонних виробів із литих бетонних сумішей, розріджених суперпластифікаторами, що вводяться в бетонну суміш на стадії змішування.

Shaping by casting consists in filling of the appropriate volume with the raw mix and its compression under the gravity. This method is applied for raw mixes, which have sufficient fluidity, depending on properties of solid phase, water-solid ratio, presence of additives of electrolytes and surface-active substances. Along with required flow ability (workability), the mixes for casting should have sufficient structural strength and viscosity for counteraction to segregation caused by sedimentation (settling) of particles of solid phase. Casting is applied for production of gypsum elements, and also for the production of cellular concretes, ceramic sanitary - construction elements from ceramic slurries.

The *slurry production method* is based on ability of clays to give stable water suspensions, and also on absorption of liquid phase by the capillaries of gypsum form with formation of solid layer on its surface. Rate of wall set of element depends on the rate of slurry absorption of liquid phase by the form, grain distribution of solid phase and ratio of solid and liquid phases. At the considerable advancing of water absorption rate by form, the excessively compacted layer forms at the surface of the cast resulting in the exfoliation and cracks appearance. At the delaying of the rate of absorption of water by the form, its diffusion and element adherence can occur.

At recent time the application area of method of elements shaping by casting broadens. It is applied, for example, for production concrete and concrete products from the cast concrete mixes, diluted by superplasticizers, which are introduced in concrete mix on the stage of mixing.

2.8. Вібрування
Vibration

До найпоширеніших способів ущільнення та формування належить *вібрування.* Понад 90% всіх виробів з бетону й залізобетону виготовляється з використанням вібрації. Це пояснюється тим, що в процесі вібраційної дії на бетонні суміші створюються умови для тиксотропного розрідження і найкомпактнішого розміщення частинок.

Вібрування – це коливальний процес, що характеризується величиною збуджувальної сили, амплітудою, частотою та інтенсивністю коливань. Під час формування бетонних сумішей ефективними є синусоїдні та періодичні несинусоїдні (полічастотні) коливання. Можуть також поєднуватися різні види вібрування.

Інтенсивність вібрування може бути визначена для синусоїдних коливань за формулою, см^2/с:

$$I = A^2 f^3, \tag{2.4}$$

де А – амплітуда коливань; f – частота.

Показник інтенсивності вібрування для більшості сумішей, що застосовуються для формування залізобетонних конструкцій, становить 80...300 см^2/с.

Амплітуда коливань залежить від розмірів зерен заповнювача бетонної суміші. Для крупнозернистих важких бетонів вона дорівнює 0,3...0,7 мм, з підвищенням жорсткості її збільшують, при цьому доцільно збільшувати й частоту вібрації. Занадто великі амплітуди коливань без використання навантаження можуть спричинити розрихлення бетонної суміші й погіршити властивості бетону.

Зі зменшенням крупності заповнювача відповідно зростає частота коливань. Наприклад, для крупності заповнювача 40 мм оптимальна частота становить 38 Гц; 20 мм –

Національний університет
водного господарства
та природокористування

50 Гц; 10 мм – 100 Гц. Використання різночастотних режимів вібрації дає змогу поліпшити ущільнення різних фракцій заповнювача.

Для кожної бетонної суміші за прийнятих параметрів коливань оптимальною є тривалість вібрування, що підбирають дослідним шляхом. Скоротити час вібрування можна за рахунок підвищення (до певної межі) інтенсивності вібрування та створення додаткового тиску на поверхні ущільнювальної суміші.

Віброущільнюють суміші різними видами обладнання, серед яких поширені глибинні, поверхневі, об'ємні вібратори та вібромайданчики (рис. 2.8).

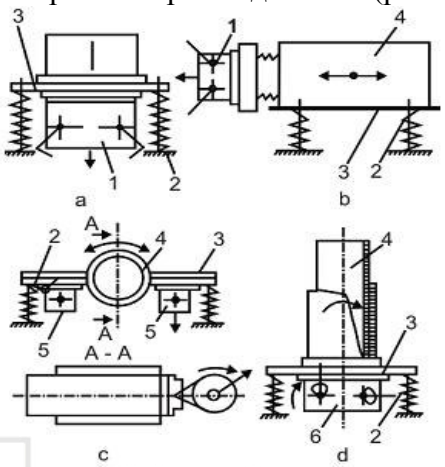

Рис. 2.8. Схеми віброплощадок: a– з прямолінійними вертикальними коливаннями; b – з прямолінійними горизонтальними коливаннями;
c – кутовими коливаннями; d – комбінованими коливаннями; 1 – вібратор спрямованих коливань; 2 – пружина; 3 – рама віброплощадки; 4 – форма з виробом; 5 – вібратор кутових коливань; 6 – вібратор комбінованих коливань.

Fig. 2.8. Charts of vibroplatforms: a – with rectilineal vertical oscillations; b – with rectilineal horizontal oscillations; c – with angular oscillations; d – with combined vibrations 1– vibrator of the directed vibrations; 2 – spring; 3 – frame of vibroplatform; 4 – form with element; 5 – vibrator of angular vibrations; 6 – vibrator of the combined vibrations.

Вібраційні машини поділяють на три групи: безударні, ударно-вібраційні та резонансні. До безударних належить більшість застосовуваних вібраційних машин та пристроїв – віброплощадки, вібратори, вібровставки, віброщити, віброштампи тощо. В ударно-вібраційних машинах коливання робочого органу обов’язково супроводжується ударами об інші елементи машини або в середовище, яке обробляється. Прикладом такої машини є ударна віброплощадка, платформа якої разом з формою безперервно піднімається і падає, вдаряючись об металеві балки. В резонансних вібраційних машинах частота примусових коливань близька до власної частоти системи, що коливається.

Вібрування часто застосовують разом з іншими способами ущільнення (віброштампування, вібропресування, вібровакуумування, вібропрокат).

The method of *vibration* belongs to the most widespread methods of compacting and shaping. More than 90% of elements from concrete and reinforced concrete products are made with the application of vibration. It is explained by the conditions, which are created for thixotropic dilution and more compact placing of particles in the process of the oscillation influence in the concrete mixes. The vibration is an oscillating process, which is characterized by the values of amplitude, frequency and intensity of vibrations. Sinusoidal and periodic nonsinusoidal (poly-frequency) oscillations are effective during the shaping of concrete mixes. The different types of vibrations can also be combined.

Intensity of vibration can be determined for sinusoidal vibration by a formula, cm^2/sec:

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$I_{nt} = A^2 f^3 \ , \qquad (2.4)$$

where A – amplitude of oscillations; f – frequency.

Index of vibration intensity for majority of mixes, which are used for reinforced concrete structures shaping, is 80...300 cm^2/sec.

Amplitude of vibrations depends on the sizes of graines of concrete mix aggregates. For coarse-grained heavy-weight concretes it is equal 0.3...0.7 mm, it is increased with the increasing of stiffness of mixes, wherein is expedient to increase frequency of vibration. Too large amplitudes of vibrations without the use of loading can cause the aeration of concrete mixture and worsen concrete properties.

With diminishing of aggregate coarseness frequency of vibrations increases accordingly. For example, at the coarseness of the aggregates 40 mm optimum frequency is 38 Hz; 20 mm – 50 Hz; 10 mm – 100. The use of the modes with different frequency of vibration gives the possibility to improve the compaction of different aggregate fractions.

The duration of vibration, which is selected by the experimental way is optimal for every concrete mixture at the accepted parameters of vibrations. It is possible to shorten the time of vibration due to the increase vibration intensity (to a certain limit) and creation of additional pressure on the surface of the compacted mixture.

Vibratory compacting of mix is provided by different machines among which there are internal vibrators, surface vibrator, volume vibrators and vibroplatforms (fig.2.8)..

Vibratory machines are divided into three groups: shock less, shock-and-vibratory and resonance. The majority of applied vibration machines and devices: belong to the shockless. In the *shock-and-vibration machines* the oscillations of actuator are accompanied with impacts at other elements of machine or at medium, which is processed. The example of such machine is a shock vibroplatform, the platform of which together with a form continuously rises and falls, strucking at metallic beams. In resonance oscillation vibration machines the frequency of the forced vibrations is near to the natural frequency of the oscillating system.

Vibration is often applied together with other methods of compactions (vibrostamping, vibration pressing, vibrovacuumizing, vibrorolling).

2.9. Сушіння
Drying

Сушінням називають процес випаровування вологи з матеріалу з наступним видаленням у навколишнє середовище утвореної пари. У виробництві будівельних матеріалів і виробів сушінню піддають сировинні матеріали, напівфабрикати та готові вироби.

Сушіння можливе тоді, коли тиск водяних парів біля поверхні висушуваного матеріалу вищий, ніж у навколишньому середовищі. Тиск водяних парів у матеріалі зростає зі збільшенням вологості й температури сушіння й зменшується з посиленням зв'язку вологи з матеріалом.

При сушінні можливо видалити фізико-механічну та фізико-хімічну вологу. Хімічна волога видаляється лише при високотемпературній обробці або дії хімічних реагентів.

Сушити матеріали можна у звичайних умовах, тобто на відкритому повітрі без додаткового нагрівання, і значно частіше – при нагріванні, у спеціальних сушарках. Теплота до матеріалу може підводитись: конвективно-омиваючим теплоносієм (гарячим повітрям або димовими газами); за рахунок теплопровідності; випромінюванням – опроміненням матеріалу інфрачервоними променями; під дією струменів високої частоти. У деяких випадках можливе сублімаційне сушіння – випаровуванням вологи без переходу в рідкий стан за низьких температур і глибокого вакууму.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Процес сушіння твердих матеріалів можна виразити кривими, що мають загальний характер і умовно поділені на три ділянки: 1 – стадія прогрівання; 2 – період сталої швидкості сушіння (перший період); 3 – період падаючої швидкості сушіння (другий період) (рис. 2.9).

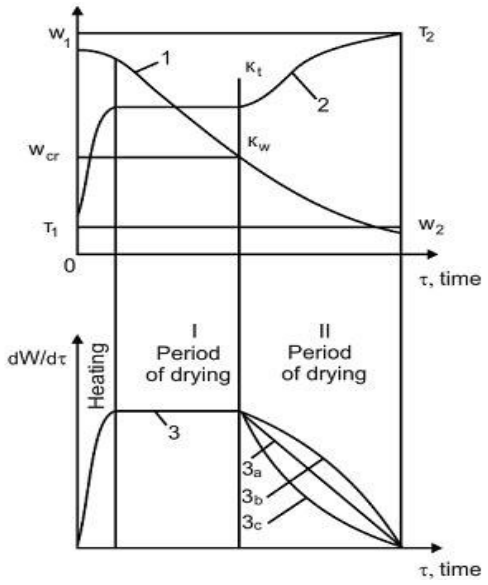

Рис. 2.9. Типові криві сушіння: 1 – вологість; 2 – температура; 3 – швидкість сушіння матеріалу.
Fig. 2.9. Typical drying curves: 1 – humidity; 2 – temperature; 3 – rate of material drying.

Матеріали, різні за характером зв'язку вологи, дають різну форму кривої швидкості сушіння dW/dτ. Так, волокнисті матеріали дають криві з прямолінійними ділянками, що відповідає періоду падаючої швидкості (рис. 2.9, 3а). Для тканин, тонких шкір характерні криві, повернені випуклістю до осі ординат (рис. 2.9, 36), для пористих керамічних матеріалів – випуклістю до осі абсцис (рис.2.9, 3с). Складніші за структурою вологі матеріали дають у другому періоді й складніші криві сушіння.

Сушіння будівельних матеріалів і виробів проводиться здебільшого за рахунок конвективного теплообміну між теплоносієм і матеріалом. При цьому потік теплоти від теплоносія до матеріалу можна визначити за формулою:

$$Q = \alpha(\bar{t}_m - \bar{t}_{n.м}), \tag{2.5}$$

де a – коефіцієнт тепловіддачі; $\bar{t}_m, \bar{t}_{n.м}$ – середня температура відповідно теплоносія і поверхні матеріалу.

Коефіцієнт тепловіддачі залежить від аеродинамічних умов обтікання матеріалу теплоносієм, його властивостей, питомої площі поверхні матеріалу, з якої випаровується волога, й ряду інших факторів. Умови тепловіддачі вивчають із застосуванням теорії подібності, використовуючи критеріальні залежності.

Сушильні установки за режимом роботи поділяють на сушарки періодичного й безперервного типу дії, за способом передавання теплоти на конвективні, контактні, радіаційні, з використанням високої частоти тощо, за схемою руху теплоносія на протиточні, прямоточні, з рециркуляцією тощо, за конструкцією на розпилювальні для суспензій, із сушінням у зваженому і киплячому шарах, барабанні, шнекові, тунельні та конвеєрні.

The process of evaporation of moisture from material with the subsequent removal of the formed steam in the environment is called *drying*. Raw materials, semi-finished and finished products are subjected to drying in the production of construction materials and elements. Drying is possible when the pressure of water steam on the surface of the dried out material is higher than in

Національний університет
водного господарства
та природокористування
the environment. Pressure of water steam in material increases with the increasing of humidity and drying temperature and diminishes with strengthening of moisture interaction with a material.

It is possible to delete physical-mechanical and physical-chemical moisture due to drying. Chemical water is removed only by high temperature treatment or due to the action of chemical reagents.

It is possible to dry materials in normal conditions that means outdoors without the additional heating and at heating in the special dryers. Heat to the material can be lead by: convectively - washed heat-transfer agent (hot air or flue gases); due to thermal conductance; by emission - irradiation of material with infrared rays; at the action of currents of high frequency. Sublimation drying by moisture evaporation without to the liquid state transmission at low temperatures and deep vacuum is possible in some cases.

The process of drying of solid materials can be presented by curves which have general character and conventionally divided on three areas: 1 – the stage of heating; 2 – period of constant-rate of drying (first period); 3 – period of falling rate of drying (second period) (fig. 2.9).

Materials, different according to the character of the moisture connection, are characterized by different rate performance curve of drying $dW/d\tau$. The fibrous materials give the curves with linear areas which correspond to the period of rate falling (fig. 2.9, 3a); curves, turned with the convexities to the ordinate axis are characteristic for fabrics, thin leathers (fig. 2.9, 3b); for porous ceramic materials – by the convexities to abscissa axis (fig. 2.9, 3c). More complex according to structure moistened materials are characterized in the second period with more complicated drying curves.

Drying of construction materials and elements is conducted mainly due to a convective heat transfer between the heat-transfer agent and material. Thus, it is possible to define stream of heat from heat-transfer agent to material by a formula:

$$Q = \alpha(t_h - t_{m.s.}), \qquad (2.5)$$

where α – a heat-transfer coefficient; t_h , $t_{m.s.}$ – medium temperature of the heat-transfer agent and material surface accordingly.

The heat-transfer coefficient depends on the aerodynamic conditions of flowing around of material by heat-transfer agent, its properties, surface of a material, from which the moisture is evaporating, and a series of other factors. The conditions of heat emission are studied with the use of laws of similarity, applying the criterion dependences.

The drying units according to the operating regime are divided on periodic and continuously working, according to the method of transmission of heat on convective, contact, radioactive, with the use of currents of high-frequency, etc., to the traffic diagram of heat-transfer agent on counterblow, direct-flow, with recirculation, etc., by a construction on pulverizing for suspensions, with drying in the weighted and boiling layed, roll, screw, tunnel and conveyer.

2.10. Випал
Burning

Випалом у технології будівельних матеріалів називають високотемпературну обробку сировини й напівфабрикатів, внаслідок якої в них відбуваються необоротні фізико-хімічні процеси, що змінюють фазовий склад, структуру і властивості матеріалу. Випал – основна технологічна операція отримання мінеральних в'яжучих речовин і керамічних матеріалів. Залежно від виду матеріалів під час випалу відбуваються процеси дегідратації (гіпс, глинисті мінерали), дисоціації (вапно), синтез силікатів – алюмінатів, феритів (цементний клінкер).

Високотемпературний випал матеріалів завершується спіканням і отриманням каменеподібної структури.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Для випалу матеріалів і виробів застосовують промислові печі, які класифікують за технологічним призначенням, режимом роботи, конструктивною схемою, способом теплообміну і джерелом виділення теплоти (рис.2.10, табл.2.2).

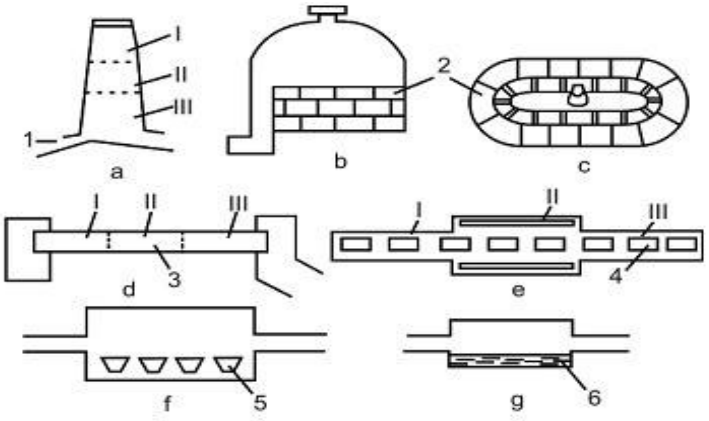

Рис.2.10. Печі з різним устроєм робочої камери: a – шахтна; b,c –камерні; d – обертова; e – тунельна; f – тигельна; g – ванна: I...III -відповідно зони підігріву, випалу, охолодження; 1– вивантаження; 2 – матеріал; 3 – барабан; 4– вагонетка; 5 – тигель; 6 – ванна.
Fig. 2.10.. Furnaces with the different arrangement of working chamber: a– shaft; b, c – chamber; d – rotating; e – tunnel; f – crucible; g – tank; I…III – accordingly areas of heating, burning, cooling; 1 – unloading; 2 – material; 3 – drum; 4 – trolley; 5 – crucible; 6 – bath.

Таблиця 2.2

Класифікація промислових печей для випалу будівельних матеріалів

Класифікаційна ознака	Вид печі
Технологічне призначення	Для випалювання кускових і сипких матеріалів Для випалювання формованих виробів Спікання (омонолічення) сипких матеріалів Отримання силікатних
Режим роботи	Періодично (циклічно) діючі Безперервно діючі
Конструктивна схема	Шахтні, обертові, камерні, кільцеві, тунельні, ванні
Спосіб теплообміну	Прямого вогню, муфельні (радіаційні)

Поряд із фізико-хімічними перетвореннями у випалюваному матеріалі відбуваються складні процеси горіння й газифікації палива, рух продуктів горіння в робочому просторі печі, тепло- й масообмінні процеси, пов'язані з ендо- і екзотермічними ефектами. Досягнення потрібних властивостей визначається оптимальністю температурного режиму і хімічного складу атмосфери печі (газового режиму). Температура випалу змінюється від I80° С для гіпсу до 1450° С для портландцементного клінкеру. Хімічний склад пічної атмосфери визначається надлишком кисню в пічних газах: до 1% у відновлюваному середовищі; 1,5…2% – у нейтральному; понад 2% – в окислювальному.

Під час випалювання можуть частково плавитися сировинні суміші.

Burning in technology of construction materials is the name of the high temperature treatment of raw materials and semifinished products, due of which there are irreversible physical-chemical processes in them, changing phase composition, structure and properties of materials. Burning is a basic technological operation of mineral binders and ceramic materials production. Depending on the type of materials, such processes as dehydration (gypsum, clay minerals), dissociation (carbonates), synthesis of silicates, aluminates, ferrites (cement clinker) prevail during the burning out.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The high-temperature burning of materials is finished by their sintering and production of stony structure of a substance.

The industrial furnaces applied for materials and elements burning, can be classified according to the technological assignments, operating regime, structural chart, method of heat transfer and sources of heat evolution (fig.2.10, table 2.2).

Table 2.2.

Classification of industrial furnaces for construction materials burning

Classification attribute	Type of furnace
Technological assignment	For burning of lump and bulk materials For burning of shaped elements Sintering (consolidation) of bulk materials Silicate melts production
Operating regime	Periodically(cyclic) operating Continuously operating
Constructive diagram	Shaft, rotary, chamber, circular, tunnel, bath
Method of heat transfer	Direct fire,muffle

Along with physical-chemical transformations in the burned material there are complicated processes of burning and gasification of fuel, movements of combustion products in working space of furnace, heat- and mass transfer processes, related to the endothermic and exothermic effects. Achievement of required properties is determined by the optimality of temperature condition and chemical composition of furnace atmosphere (gas mode). The burning temperature is from 180° C for gypsum to 1450° C for Portland cement clinker. Chemistry of the furnace atmosphere is determined by surplus of oxygen in the kiln gases: to 1% in a reducing environment; 1.5…2% – in neutral one; over 2% – in oxidizing one.

The raw mixes can partly melt during the sintering.

2.11. Плавлення
Melting

При отриманні ряду силікатних матеріалів і металів потрібне повне *плавлення* сумішей.

Кількість теплоти, потрібної для плавлення 1 кг речовини попередньо нагрітої до температури плавлення, називається *прихованою теплотою плавлення*. Для теплових розрахунків плавильних пристроїв при виробництві силікатних матеріалів приховану теплоту плавлення беруть приблизно 335 кДж/кг розплаву.

У промислових умовах плавлення здійснюють у відновлювальному, окислювальному і нейтральному середовищах, а також у вакуумі.

Плавленням у відновлювальному середовищі отримують чавун, а також більшість феросплавів; в окислювальному середовищі – сталь у мартенівських і електродугових печах; у нейтральному – багато спеціальних сплавів (наприклад, у середовищі аргону), скло. Плавленням у вакуумі отримують найчистіші матеріали.

Розплави отримують у плавильних печах. Для виробництва металів застосовують доменні, мартенівські, електричні печі; для мінеральної вати – вагранки, ванні та електродугові печі; для фритованих глазурей – обертові печі періодичної дії і ванні; для скла – горшкові та ванні печі (рис.2.10).

At the production of a series of silicate materials and metals the complete *melting* of mixes is required.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The amount of heat, required for melting of 1 kg of substance, preliminary heated to the melting temperature, is called the *hidden melting heat*. For the thermal designs of melting devices at the production of silicate materials the hidden melting heat is accepted approximately 335 kJ/kg of the melt.

Melting at production conditions is carried out in reducing, oxidizing and neutral environments, and also in vacuum.

Cast iron and also the most of ferroalloys are produced by melting in the reducing environment; steel in open-hearth and electroarc furnaces - in oxidizing ones, the special alloys (for example, in the environment of argon), glass – in neutral ones. Extra clean materials are produced by melting in a vacuum.

Melts are produced in melting furnaces. For the production of metals blast-furnace, open – hearth steel furnace, electric furnaces are applied; for mineral wool – cupola, bath and electroarc furnaces; for fritted glazes - the rotary furnaces of periodic working and tank furnaces; for glass - pot chambers and bath (fig. 2.10).

2.12. Тепловологісна обробка
Steam curing

Теплову обробку, при якій у нагрітому матеріалі зберігається волога, називають *тепловологісною*. Така обробка – основний метод прискорення твердіння бетонних і залізобетонних виробів, силікатних та інших виробів на основі мінеральних в'яжучих гідратаційного твердіння. Як теплоносії застосовують пару, електроенергію, продукти згоряння природного газу, гаряче повітря, органічні й неорганічні масла.

Найпоширенішим теплоносієм є пара. Поєднання в ньому теплоти й вологи, зробило *пропарювання* універсальним засобом прискорення твердіння цементного бетону і конструкцій на його основі.

Режим пропарювання характеризується трьома періодами: підвищенням температури, ізотермічним витримуванням і охолодженням виробів.

Підвищення температури в матеріалі спричинює температурні та вологісні градієнти. Щоб усунути деструктивні явища, вироби перед пропарюванням мають набувати потрібної критичної міцності (0,6...0,8 МПа), при якій вони можуть витримати напруження, що виникають,

Другий період прогрівання – ізотермічний, що характеризується інтенсивним набиранням матеріалом міцності.

Охолодження виробів характеризується втратою вологи внаслідок підвищення температури і збільшення тиску парів у матеріалі порівняно із зовнішнім середовищем. Якщо вироби охолоджуються надто швидко, то у них можуть з'явитися тріщини при дії виникаючих розтягувальних напружень, що перевищують міцність матеріалу.

Для пропарювання матеріалу застосовують теплові установки періодичної дії (ямні пропарювальні камери – рис. 2.11, касети, ковпаки, термоформи) і безперервної дії (вертикальні, тунельні та щілинні камери). Під час пропарювання тепловологісна обробка матеріалів відбувається в умовах насиченої або близької до неї пароповітряної суміші при температурі до 100° С й відносній вологості, що дорівнює приблизно 100%.

При електронагріванні твердіння бетонів прискорюється завдяки теплоті, що виділяється під час проходження електричного струму.

Під час електропрогрівання теплота, потрібна для прискорення твердіння бетону, надходить від вмонтованих у камері електричних нагрівників – електроламп, спіралей, трубних нагрівачів (ТЕНів) тощо, які є джерелами інфрачервоних променів.

Електронагрівачі можна замінити газовими інфрачервоними випромінювачами, що працюють на природному або зрідженому газі. Теплова обробка продуктами згоряння

Національний університет
водного господарства
та природокористування

природного газу проводиться у камерах, куди надходить газоповітряна суміш заданої температури.

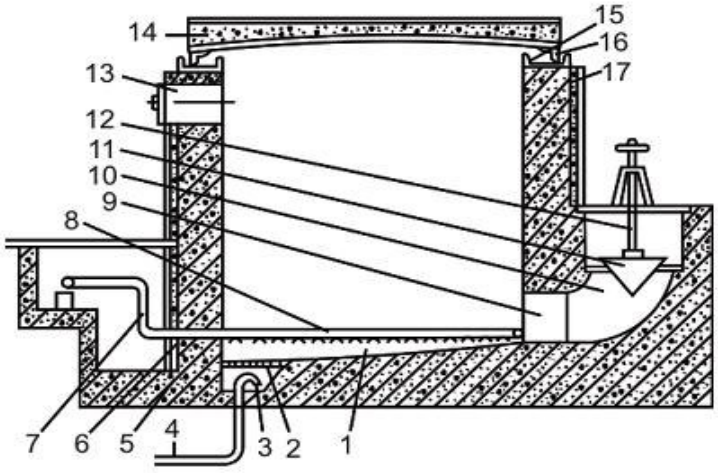

Рис. 2.11 . Пропарювальна камера ямного типу: 1– підлога камери; 2 – трап для виведення конденсату; 3 – конденсатовідвідні пристрої; 4 – система конденсатовідводу; 5 – стіни камери; 6 – отвір для введення пари; 7– трубопровід; 8 – перфорована труба; 9 – отвір для вентиляції камери при охолодженні; 10 – канал для відбору пароповітряної суміші; 11 – герметизуючий конус; 12 – черв'ячний гвинт; 13 – припливний затвор для впускання повітря; 14 – кришка; 15 – швелер; 16 – кутник; 17 – теплоізоляція.

Fig. 2.11. Steam-curing chamber of the pit type:
1– chamber slab; 2 – trap for the condensation drainage; 3 – hot-wells; 4 – system of the hot-well ; 5 – chamber walls: 6 – orifice for the steam input; 7– pipe duct; 8 – perforated pipe: 9 – orifice for ventilation of chamber at cooling; 10 – channel for the bleeding of steam-and-air mixture; 11 – pressurizing cone; 12 – worm screw; 13 – breech-block for the reception of air: 14 – lid; 15 – channel bar; 16 –angle bar; 17– thermal insulation.

Для нагрівання матеріалів практично без градієнтів температур і вологості призначені струми високої частоти (СВЧ). На відміну від інших цей засіб теплової обробки дає змогу передавати всередину матеріалу значну кількість теплоти й отримувати рівномірне нагрівання матеріалів по всьому об'єму. Для нагрівання СВЧ матеріал помішують в обкладки конденсатора, до якого підводять струм від генератора.

Розглянуті вище способи тепловологісної обробки здійснюють при атмосферному тиску. При значному надлишковому тиску водяної пари (0,9…1,3МПа) тепловологісну обробку проводять в *автоклавах*(рис. 2.12). За допомогою автоклавів отримують вироби на основі вапняно-кремнеземистих та інших в'яжучих, які в інших умовах тверднуть дуже повільно. Для отримання матеріалів автоклавного твердіння можна широко використовувати різноманітні відходи промисловості (шлаки, шлами, золи тощо).

Thermal treatment at which moisture is saved in the heated material is called *steam curing*. Such treatment is a basic method of the acceleration of concrete and reinforced concrete products hardening, silicate and other elements on the basis of mineral binders of hydration hardening. As heat-transfer agents there are applied steam, electric power and combustion products of natural gas, hot air, organic and inorganic oils.

The most widespread heat-transfer agent is steam. Combination of heat and moisture in it, required for hardening of hydraulic binders, has made the *steaming* a widespread method of the acceleration of concrete and reinforced concrete products hardening.

The mode of steaming is characterized with three periods: by the increasing of temperature, isothermal maturing and cooling of elements.

The increase of temperature in material causes temperature and moisture gradients. To remove the destructive phenomena, elements before a steaming should have required critical strength (0.6...0.8 MPa), at which they can withstand the appearing stresses.

The second period of steam curing is isothermal one, which characterizes by the intensive material setting of the strength.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

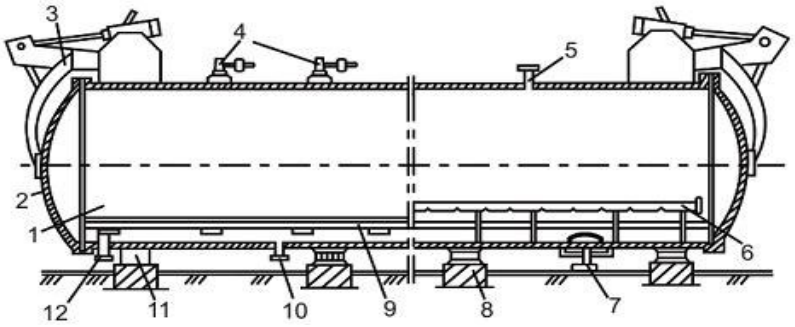

Рис.2.12. Схема автоклавної установки: 1– корпус; 2 – кришка; 3 – механізм для закриття й відкриття кришки; 4 – попереджувальний клапан; 5 – патрубок для перепуску пари; 6 – перфорована труба; 7– патрубок для виведення конденсату; 8 – рухомі олори; 9 – рейковий шлях; 10 – вакуум-система; 11 – нерухома опора; 12 – патрубок для введення пари; 13 – теплоізоляція.

Fig. 2.12. Scheme of the autoclave apparatus: 1 – housing; 2 – lid; 3 – mechanism for closing and opening of lid; 4 – safety valve; 5 – the manifold for steam by-way; – perforated pipe; 7 – the manifold for the condensate deriving; 8 - movable bearings ; 9 – rail track; 10 - vacuum-system; 11 – fixed bearing; 12 – the manifold for introduction of steam; 13 – heat-insulation.

Cooling of elements is characterized by the moisture loss because of more high temperature and pressure of steam in material in relation to external environment. If elements are cooled extremely quickly, the cracks can appear in them because of development of tensile stresses, exceeding the strength of material.

For the steaming of material heat apparatus of discontinuous working are applied (pit steam-curing chambers – fig. 2.12, mold batteries, hubcaps and thermoforms) and continuous action (vertical, tunnel and gap chambers). The thermal-moisture treatment of materials at a steaming takes a place in the conditions of the air-steam mixture saturated or near to it at a temperature rising to 100°C and increase relative humidity, which is approximately 100%.

At the *electrical heating* hardening of concrete is accelerated due to the heat released during the passing of electric current.

During an *electric curing* the heat, required for the acceleration of concrete hardening, transfers from the electric heaters – light bulbs, spirals, pipe heaters, etc. embedded in a chamber, which are the sources of infra-red rays.

It is possible to replace electric heating units by gas infra-red radiants which work on natural or condensed gas. Thermal treatment with the combustion materials of natural gas is conducted in chambers, where air-gas mixture arrives at the required the temperature.

The currents of high- frequency are intended for heating of materials practically without the gradients of temperatures and humidity. Unlike the other this method of thermal treatment gives a possibility to transfer the large amount of the heat into material and to provide the uniform heating of materials in all of volume. For heating of material is placed in facings of condenser, to which HF current is tricked from a generator.

The methods of steam curing considered above are carried out at atmospheric pressure. At considerable extra pressure of aquatic steam (0.9...1.3 MPa) thermomoisture treatment is conducted in *autoclaves* (fig. 2.12). Autoclaving for the elements based of lime-silica and other binders, which in ordinary conditions harden very slowly, are used. It is possible to use widely the various industrial wastes (slags, slurries, ashes, etc.) to produce the materials of the autoclave hardening.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

3. ПРИРОДНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ. КЕРАМІКА.СКЛО
NATURAL STONE MATERIALS. CERAMIC.GLASS

3.1. Природні кам'яні матеріали. Загальні відомості
Natural stone materials. Overview

Природними кам'яними матеріалами називають матеріали, які одержують як безпосередньо під час видобування, так і при подальшій механічній обробці гірських порід без суттєвої зміни їх складу та структури.

Природні кам'яні матеріали завдяки високій механічній міцності, довговічності, декоративності широко використовують як стінові та облицювальні вироби при будівництві доріг, зведенні гідротехнічних та інших споруд, для зміцнення та облицювання відкосів, набережних тощо. На них в даний час припадає близько 50% маси всіх застосовуваних у будівництві матеріалів. Особливо великим є попит на продукцію промисловості нерудних будівельних матеріалів - щебінь, гравій та пісок.

Таблиця 3.1

Застосування у будівництві різних видів каменю

Призначення	Матеріали і вироби
Фундаменти	Бутовий камінь, камінь пиляний та колотий
Стіни	Стінові (пиляні) камені, крупні стінові блоки, тесаний камінь
Опорядження зовнішнє	Облицювальні плити та камені, профільні елементи
Опорядження внутрішнє	Облицювальні плити, профільні елементи
Зовнішні сходи та площадки, парапети та огорожі	Сходинки, плити для площадок, стовпів та стінок, облицювальні плити
Внутрішні сходи та площадки, підлоги	Сходинки, плити для площадок, сходів та підлог
Покриття автомобільних доріг	Камені бортові, брущатка, камінь колотий та щебінь
Гідротехнічні споруди	Камені дроблені, колоті та тесані, валуни та щебінь
Заповнювачі для бетонів	Камені дроблені, колоті та тесані, валуни та щебінь

Природні кам'яні матеріали поділяють на дві групи - правильної та неправильної форми. До першої групи належать пиляні, колоті, шліфовані та полірovані блоки і плити, до другої - переважно рвані, подрібнені та сортовані матеріали.

Основні напрями застосування у будівництві різних виробів з каменю наведено у табл. 3.1.

Сировиною для виробництва природних кам'яних матеріалів є *гірські породи* - мінеральні агрегати певного складу та будови, які є продуктами геологічних процесів у земній корі.

Natural stone materials are the materials which are obtained at the mechanical treatment of rocks without significant changes in their composition and structure.

Natural stone materials due to high mechanical strength, durability, decorative are widely used as walling and facing products, in road construction, for the hydraulic and other buildings, strengthening and cladding of slopes, embankments, etc. At present they are about 50% of all of the materials mass applied in the construction. Especially great demand for products of the industry of non-metallic materials – gravel, crushed, stone and sand.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Table 3.1

Application different kinds of stone in construction

Appoinment	Materials and products
Basements	Rubble, sawn and sledged stone
Walls	Wall stone, large wall blocks
External and internal cladding	Facing slabs and stone, profile elements
Stairs and grounds, parapet walls and fencings floors	Steps, slabs for grounds, pillars and walls, facing slabs
Highways coatings and bases	Edge stone, pavestone, sledged stone and crushed stone, gravel
Hydraulic facilities	Angular, sledged and cut stone, boulders and crushed stone
Concrete aggregates	Crushed stone and gravel, rublle

Natural stone materials are divided into two groups - regular and irregular shape. Sawn, sledged, rubbed, polished products belong to the first group, and mainly quarry, crushed and graded materials belong to the second one.

Basic ways of application in construction of different products from natural stone are shown in table 3.1.

Raw materials for the production of natural stone materials are rocks - mineral aggregations of certain composition and structure, which are the products of geological processes in the earth's crust.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

3.2. Вивержені (магматичні) гірські породи
Igneous (magmatic) rocks

*Вивержен*і або *магматичні породи* утворені внаслідок охолодження у надрах землі чи на її поверхні магми, тобто силікатних розплавів. До складу вивержених порід входять повільно охолоджені *глибинні* (інтрузивні) та утворені у верхніх горизонтах земної кори *вилиті* (ефузивні) породи. До глибинних порід належать граніти, сієніти, діорити, габро тощо. До вилитих - базальти, андезити, порфірити, пемзи тощо.

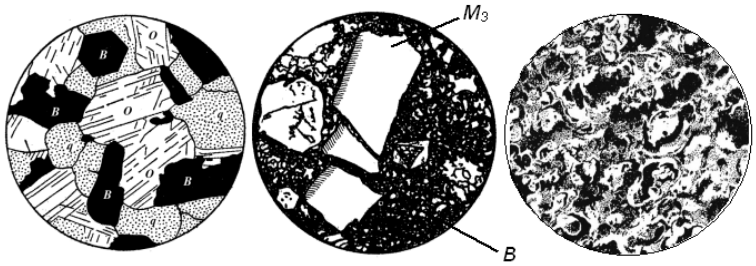

Рис.3.1. Структури вивержених гірських порід: a- зернисто-кристалічна структура граніту; b- порфірова структура; c- пориста структура
Fig. 3.1. Structures of igneous rocks: a- granular-crystalline structure of granite; b- porphyritic structure; c- porous structure.

Хімічний склад вивержених порід можна виразити вмістом оксидів кремнію, алюмінію, заліза, магнію, кальцію, натрію, калію, водню. Найважливішими складовими частинами вивержених порід – *мінералами* є кварц та силікати. Підраховано, що середній вміст мінералів у вивержених породах такий, %: польові шпати – 60, кварц – 12, амфіболи та піроксени – 17, слюди – 4, інші силікати – 6.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Під *структурою* породи розуміють її особливості, зумовлені ступенем кристалічності, розмірами та формою кристалів, а під *текстурою* - сукупність ознак, що визначаються відносним розташуванням складових частин породи у займаному ними просторі.

Характерні структури виверженых порід приведені на рис. 3.1.

За ступенем кристалічності розрізнюють повнокристалічні, напівкристалічні та склуваті структури. Повнокристалічні структури характерні для глибинних порід, утворених внаслідок повільного охолодження магми. Напівкристалічні та склуваті структури бувають у вилитих породах.

Залежно від розмірів зерен структури поділяють на крупно- (розміри зерен понад 5 мм), середньо- (2....5 мм) та дрібнозернисті (менше ніж 2 мм). Якщо зерна мінералів, що складають породу, близькі за розмірами, то структура є рівномірно-зернистою, у протилежному разі — нерівномірно-зернистою. Типовими різновидами нерівномірно-зернистих є *порфірові структури*, які характеризуються наявністю у породі склуватої або тонкозернистої основної маси, у якій розсіяні крупні кристали - вкраплення.

Основними типами структур є однорідна, або масивна, звичайна структура у виверженых породах, неоднорідна (такситова) та гнейсоподібна (сланцювата).

Igneous or magmatic rocks, formed as a result of magma (e.g. silicate melts) cooling in the bowels of the earth or on its surface. Slowly cooled *hypogene (intrusive)* rocks (granites, syenites, diorites, gabbro, etc.) and formed in overhead horizons of earth's crust rocks (basalts, andesites, porphyrites, pumice stones, etc.) *outpoured (effusive)* are igneous rocks.

Chemical composition of igneous rocks can be expressed by content of oxides of silicon, aluminum, iron, magnesium, calcium, sodium, potassium. The major components of igneous rocks, *called minerals*, are quartz and silicates. Average minerals content in igneous rocks is following %: feldspars - 60, quartz - 12, amphiboles and pyroxenes - 17, mica - 4, other silicates - 6.

The peculiarities predefined by the crystallinity degree, sizes and form of crystals are meant by a *structure* of rock, and the complex of signs determined by relative location of rock components in the space they occupy is meant by a *texture*.

The typical structure of igneous rocks are shown in fig.3.1

By crystalllinity degree there are differed holocrystalline, semicrystalline and glassy structures. Holocrystalline structures are representative for the hypogene rocks, formed as a result of slow magma cooling. Semicrystalline and glassy structures are representative for outpours rocks.

Depending on the grains sizes the structures are divided onto coarse-grained (sizes of grains over 5 mm), medium-grained (2…5 mm) and fine-grained ones (less than 2 mm). If minerals grains which compose a rock are close by sizes, the structure is evenly grained, in opposite case — unevenly grained. The typical varieties of unevenly grained structures are *porphyritic structures*, which are characterized by a presence of glassy or fine-grained great bulk in the rock, where large crystals - inclusions are dissipated.

Basic types of textures are uniform, or massive, ordinary texture in igneous rocks, nonuniform (taxite) and gneissoid (foliated structure).

3.3. Осадові гірські породи
Sedimentary rocks

Осадові гірські породи утворені на поверхні землі внаслідок накопичення та перетворення продуктів руйнування гірських порід, які виникли раніше, залишків рослинних і тваринних організмів та продуктів їх життєдіяльності;

Осадові породи за способом їх утворення поділяють на три групи:

уламкові - осади механічного походження (валуни, галька, пісок, глина);

*хімічн*і - осади хімічного походження (сульфати, карбонати, галоїдні сполуки);

Національний університет водного господарства та природокористування

органогенні - осади біохімічного походження (карбонатні, кремнисті, вуглецеві породи тощо).

Рис. 3.2. Структури осадових гірських порід: a- піщаник (1- цементуюча речовина; 2- зерна піску); b - вапняк-ракушняк; c - діатоміт.
Fig. 3.2. Structures of sedimentary rocks: a- sandstone (1- cement; 2- sand grains); b- shell limestone; c- diatomite.

Уламкові породи утворилися внаслідок руйнування (вивітрювання) вивержених гірських порід під дією температури, води, льодовиків та інших зовнішніх агентів, хімічні - утворилися при осадженні з водних розчинів мінеральних речовин, а органогенні - продукти відкладення на дні водойм залишків водоростей та тваринних організмів.

Хіміко-мінералогічний склад осадових порід різноманітніший, ніж магматичних. Поряд з мінералами вихідних "материнських" порід вони можуть включати і ряд інших, утворених внаслідок осадження (карбонати, мінеральні солі тощо).

Характерні структури осадових порід приведені на рис. 3.2.

Sedimentary rocks, formed on the earth surface, are a result of accumulation and transformation of destruction products of rocks formed before, remains of vegetable and animal organisms and products of their vital activity.

Sedimentary rocks by the way of their formation are divided into three groups:

Fragmental - the sediments mechanical by origin (gravel, pebble, sand, clay);

Chemical – the sediments chemical by origin (sulfates, carbonates, halogen compound);

Organogenic – the sediments biochemical by origin (carbonate, siliceous, carbonic rocks, etc.).

Fragmental rocks are appeared as a result of destruction (weathering) of igneous rocks influenced by temperature, water, glaciers and other external agents, chemical ones are appeared at sedimentation mineral substances from water solutions and organogenic ones are the products of sedimentation of weeds wastes and animal organisms at the bottoms of reservoirs.

Chemical and mineralogical composition of sedimentary rocks is more diverse, than igneous rocks. Along with minerals of initial mother rocks they can include also a series of other ones, formed in consequence of sedimentation (carbonates, mineral salts, etc.).

The typical structure of sedimentary rocks are shown in fig.3.2.

3.4. Метаморфічні гірські породи
Metamorphic rocks

Метаморфічні гірські породи утворені на великих глибинах внаслідок зміни осадових і магматичних порід під дією високої температури й великого тиску, під впливом газоподібних речовин, що виділяються з магми, та гарячих розчинів.

Характерні структури метаморфічних гірських порід приведені на рис. 3.3.

Серед метаморфічних порід виділяють дві групи: змінені магматичні (гнейси) та змінені осадові породи (наприклад: кварцит, глинисті сланці).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

У процесі метаморфізму структура та хіміко-мінералогічний склад гірських порід залежно від діючих значень температури та тиску зазнає певних змін. Так, при температурі до 500° С та тиску 40....90 МПа утворюються різноманітні шаруваті силікати, які містять гідроксильні групи. При підвищенні температури і зниженні тиску виникають кристали амфіболу, різних слюд тощо.

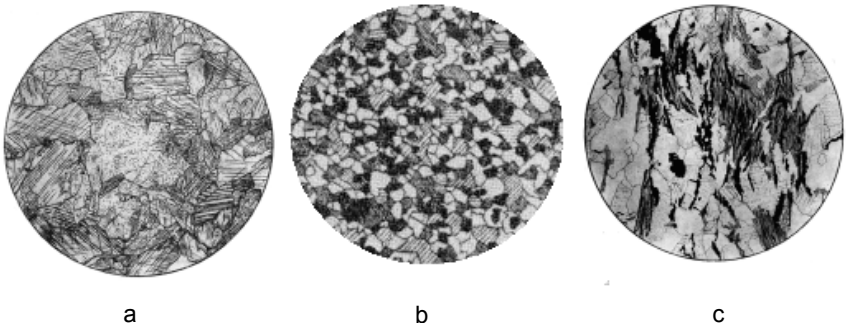

Рис. 3.3. Структури метаморфічних гірських порід: а - мармур; б - кварцит; в – гнейс
Fig. 3.3. Structures of metamorphic rocks: a- marble; b - quartzite; c – gneiss.

Metamorphic rocks formed as a result of sedimentary and igneous rocks change under the action of high temperature and large pressure, the influence of gaseous substances, escaped from magma, and hot solutions.

The typical structure of metamorphic rocks are shown in fig.3.3.

Among metamorphic rocks two groups are selected: modified changed igneous (gneiss) and modified sedimentary (for example: quartzite, clay shale). In the process of transformation, or metamorphism of rocks structure, chemical and mineralogical composition undergoes certain changes depending on the actual values of temperature and pressure. Thus, at temperature up to 500°C and at pressure 40…90 MPa the various stratified silicates containing hydroxyl groups are appeared. If a temperature is higher, and pressure is lower, the crystals of amphibole, different micas and other similar minerals are appeared.

3.5. Основні види гірських порід як сировини для виробництва природних кам'яних матеріалів
Main types of rocks as a raw for producing of natural stone materials

Для виробництва природних кам'яних матеріалів серед магматичних порід найбільш вавжливі граніти, базальти, а також близькі до них за властивостями породи, серед осадових – карбонатні породи (вапняки та доломіти), метаморфічних – гнейси, кварцити та мармур.

Граніти - кислі ($Si0_2$>65%) глибинні породи, у яких легко розрізнити (рис.4.1) характерні мінерали: кварц (20....40%), польовий шпат (40...70%) та слюду - мусковіт або біотит (5...20%). Серед інших мінералів трапляються амфіболи та піроксени. Для гранітів характерна зернисто-кристалічна будова. Колір граніту визначається кольором польових шпатів, що входять до його складу, і найчастіше буває сірим, блакитнувато-сірим, темно-червоним.

Сієніти, діорити, габро - близькі до гранітів породи. На відміну від гранітів вони практично не містять кварцу та складаються переважно з польових шпатів та темнозабарвлених мінералів – рогової обманки, авгіту тощо. Найчастіше ці породи мають сіре або темно-зелене забарвлення.

Породи групи граніту належать до найбільш міцних і стійких, вони добре поліруються. їх застосовують у будівництві для облицювання будівель та споруд, зокрема конструкцій, які зазнають ударних та стираючих навантажень (підлоги, льодорізи тощо). Породи групи граніту переробляють на щебінь і використовують як заповнювач для бетону.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Найпоширенішими вилитими породами є *базальти*. До їхнього складу входять польовий шпат та значна кількість темнозабарвлених мінералів. Структура базальтів склувата або приховано кристалічна. Висока твердість та крихкість ускладнюють їхню обробку. Колір базальтів темно-сірий або чорний. Базальти як і граніти широко використовують як будівельний камінь. Їх застосовують у промисловості кам'яного литва, як електроізоляційні та кислототривкі матеріали. У тих самих галузях, що й базальти, застосовують іншу вилиту породу – *діабаз*.

Поширені вилиті магматичні породи - *андезити* та *порфірити* . Вони відрізняються від базальтів і діабазів більш високим вмістом кремнезему (SiO_2=52…65%). Порфірити та андезити використовують для виготовлення бруківки, кислототривких виробів тощо.

Карбонатні породи - це в основному *вапняки* та *доломіт*. Вапняки складені переважно з кальциту $CaCO_3$, як домішки в них присутні доломіт $CaMg(C0_3)_2$, глинисті та інші мінерали. Будова та властивості вапняків зумовлені умовами їх утворення. Внаслідок випадання $CaCO_3$ з вуглекислих вод утворюється вапняковий туф – м'яка пориста порода, що легко обробляється. Різновид вапнякового туфу – *травертин*, що є результатом випадання $CaCO_3$ з гарячих джерел. Травертин має щільну, дрібнозернисту будову і використовується як декоративний облицювальний камінь.

Деякі різновиди вапняків мають органогенне походження. Вони утворені внаслідок ущільнення та цементування скелетних залишків простіших тваринних організмів (раковин, молюсків тощо). До вапняків органогенного походження належать *вапняк-черепашник* та *крейда*.

Щільні вапняки використовують для отримання облицювальних деталей, щебеню для важких бетонів, а пористі – для стінових каменів і блоків, щебеню для легкого бетону. Вапняки широко застосовують як сировинний матеріал для отримання вапна, портландцементу та інших штучних будівельних матеріалів.

Поряд з вапняками як природний камінь використовують уламкові породи – *пісковики*, які є зернами кварцового піску, зцементованими глинистими, кремнеземистими, вапняковими та іншими речовинами. Найбільш міцні та стійкі кремнеземисті та вапнякові пісковики.

Внаслідок перекристалізації вапняків та доломітів утворюються *мармури*, які використовують переважно як облицювальний матеріал.

Типові метаморфічні породи – *гнейси* за мінеральним складом відповідають магматичним породам гранітного типу. Для них, як і для інших метаморфічних порід, характерна зернисто-кристалічна структура та сланцювата (гнейсова) текстура. Гнейси застосовують, в основному, для виробництва щебеню та як лицювальний матеріал.

Кварцити утворюються внаслідок метаморфізму кварцових пісковиків. Залежно від домішок вони можуть мати білий, жовтуватий та червонуватий кольори. Кварцити використовують як облицювальний, кислототривкий матеріал, для виробництва вогнетривів.

Granites, basalts and close to them on properties rocks are the most important in the natural stone materials manufacturing among the igneous rocks, carbonate rocks among sedimentary ones (limestones and dolomite), metamorphic ones - gneisses, quartzites and marble.

Granites are acidic (SiO_2>65%) hypogene rocks, in which are easy distinguish (fig. 3.1), typical minerals: quartz (20…40%), feldspar(40…70%) and mica - muscovite or biotite (5…20%). Among other minerals amphiboles and pyroxenes occur. Grainy-crystalline structure is typical for granite. The color of granite is determined the colors of feldspars, entering into their composition, and more often is grey, bluish-grey, dark red.

Syenites, diorites, gabbro are close to the granites. Unlike granites they practically do not contain quartz and consist mainly of feldspars and dark colored minerals - hornblende, augite, etc. These rocks are mostly grey or dark-green in colour.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The rocks of granite group belong to the strongest and most resistant rocks, they are well polished. They are applied in construction for cladding of constructions and structures, in particular structures, subjected to impact and wearing loads (floors, starlings, etc.). The rocks of granite group are processed also on crushed stone, used as concrete aggregate.

Basalts are the most common outpoured rocks. Feldspar and large amount of darkcolored minerals are included in their composition. The structure of basalts is glassy or cryptocrystalline. High hardness and brittleness complicates their processing. The color of basalts is darkly grey or black. Basalts as well as granites are widely used as a building stone. They are applied in the industry of stone casting, as electrical insulation and acid-resistans materials. In those industries, that basalt, other outpoured rock diabase is applied.

Andesites and *porphyrites* are the widespread outpoured igneous rocks. They differ from basalts and diabases higher silica content (SiO_2=52…65%). Porphyrites and andesites are applied for pavestone making, acidproof elements, etc.

Carbonate rocks – are mainly *limestones* and *dolomite*. Limestones are formed mainly of calcite $CaCO_3$, dolomite – $CaMg(CO_3)_2$, clay and other minerals are as admixtures in them. Structure and properties of limestones are predefined by terms of their formation. As a result of $CaCO_3$ precipitation *calcareous tuff* is formed from the sources of carbonate waters; it is a soft easily-sawn porous rock. A type of calcareous tuff is a *travertine* which is the result of $CaCO_3$ precipitation from thermal springs. Travertine has dense, fine-grained structure and is applied as cladding stone.

Some types of limestones are organogenic by origin. They are formed as a result of compacting and cementation of skeletal residuals of elementary animals (shells, shellfishes, etc.). *Shelly limestone* and chalk are the limestones organogenic by origin.

Dense limestones are applied for obtaining cladding details, crushed stone for heavyweight concretes, and porous ones for wall stone and blocks. Limestones widely are applied as raw materials for obtaining lime, Portland cement and other artificial construction materials.

Along with limestones there are also used conglomerate rocks - *sandstones* which consist of quartz sand grains, consolidated by clayey, siliceous, calcareous and other substances. Siliceous and calcareous sandstones are the most strongest and resistant.

Marbles, which are applied mostly as cladding materials, are formed as a result of limestones and dolomites recrystallization.

Typical metamorphic rocks - *gneisses* by mineral composition correspond to igneous rocks of granite type. For them, as well as for other metamorphic rocks, crystalline-grainy structure and foliated (gneissic) texture are typical. Gneisses are applied mainly for production of crushed stone and as cladding material.

Quartzites are formed as a result of metamorphization of quartz sandstones. Depending on the admixtures they can be white, yellowish and reddish colors. Quartzites are used as cladding, acid-proof material, for refractory materials production.

3.6. Властивості гірських порід
Rocks properties

Область застосування гірських порід (рис.3.4) визначається їх фізико-механічними властивостями, зумовленими особливостями утворення, хіміко-мінералогічним складом, структурою і текстурою. Значення показників основних базових властивостей ряду будівельних гірських порід наведено в табл.3.2.

Найважливішою властивістю природного каменю є *міцність при стиску*. Цей показник найбільший для порід, які мають однорідно-кристалічну будову. Якщо в породах переважає скло, то їхня міцність знижується, вони більше піддаються впливу температурних змін. Вищу міцність мають дрібнозернисті породи, складені із зерен неправильної, зазубреної форми. Значною мірою на міцність гірських порід впливає пористість, зі

Національний університет
водного господарства
та природокористування

зменшенням якої збільшується площа контакту між зернами. Міцність гірських порід при розтягу у 10....20 разів нижча ніж при стиску.

У гірських породах, особливо осадових, трапляються слабкі різновиди, що містяться у вигляді окремих шарів або прошарків. Однорідність властивостей породи є найважливішим показником їхньої якості.

Таблиця 3.2

Базові властивості гірських порід

Породи	Середня густина, кг/м^3	Границя міцності при стиску, МПа	Модуль пружності, 10^4 МПа	Морозостійкість, цикли
Магматичні:				
граніти	2500...2700	100…260	5…10	100…300
габро	2800...3000	100…350	9…11	100…300
порфірити	2500...2700	60…150	6…8	59…200
базальти	2200...3100	110…500	8…8,3	50…200
Метаморфічні:				
гнейси	2000...2500	10…200	6…7	25…200
кварцити	2500...2700	100…250	7…9	100…300
Осадові:				
карбонатні	1700...2700	5…200	0,2…9	3…300
пісковики	2000...2500	10…250	1,4…5	15…300

При виборі виду каменю суттєве значення має його *середня густина*, яка для гірських порід певного мінерального складу та структури може бути характеристикою їхньої міцності та довговічності. У міру збільшення хімічної основності порід (відношення вмісту основних оксидів до кислотних) густина порід зростає.

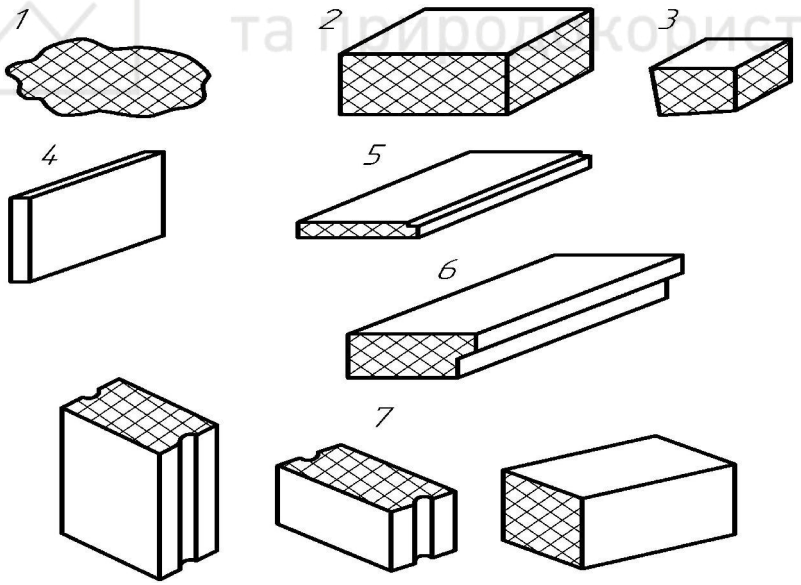

Рис. 3.4. Види кам'яних матеріалів і виробів:
1- бутовий камінь; 2- стіновий камінь; 3- бруківка; 4- облицювальна плитка; 5- підвіконна плита; 6- східець; 7- стінові блоки.
Fig.3.4. Types stone materials and elements:
1- rubble stone; 2- walling stone; 3- paving stone; 4- facing slab; 5- window sill; 6- step; 7- walling blocks.

Морозостійкість більшості гірських порід можна визначити за водопоглинанням. Водопоглинання щільних магматичних порід, які не зазнали дії вивітрювання, не перевищує 0,7%, водопоглинання осадових порід становить 10% і більше.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Для довговічності природного каменю суттєве значення має *стійкість до вивітрювання* мінералів, що складають гірську породу. Стійким до вивітрювання є кварц, малостійкими - ортоклаз, мікроклин, нестійкими - основні плагіоклази, амфіболи, олівін, кальцит, доломіт, гіпс тощо.

На довговічність каменю можуть негативно впливати хімічно активні мінерали - сульфіди, сульфати тощо. Наприклад, окислення сульфідів на відполірованій поверхні облицювального каменю спричинює бурі плями та призводить до руйнування, окислення сульфідів у щебені призводить до збільшення об'єму та зменшення міцності бетону.

У разі використання природного каменю як стінового матеріалу важливими властивостями поряд з міцністю, морозостійкістю, стійкістю до вивітрювання є тепло- та звукопровідність, повітропроникність. Усі ці властивості пов'язані між собою та зумовлені головним чином пористістю породи. Ефективними стіновими матеріалами є вироби з таких високопористих порід, як туф, вапняк-черепашник.

Для облицювальних природних каменів важливе значення мають їх *декоративність* та *оброблюваність*.

Колір гірської породи визначається кольором мінералів, що її складають. Найбільш стійке забарвлення мають магматичні породи, менш стійке - осадові та метаморфічні породи.

Оброблюваність гірських порід (шліфувальність, полірувальність) зменшується в міру зростання їхньої міцності, при крупнокристалічній структурі, а також наявності включень.

Application area of rocks (fig. 3.4) is determined by their physical-mechanical properties, predefined by peculiarities of formation, chemical and mineralogical composition, structure and texture. The values of basic properties of a series of construction rocks are shown in table 3.2.

Compressive strength is the most important property of natural stone. This parameter is highest for rocks, which have a homogeneous crystalline structure. If glass prevails in rocks, their strength decreases, they are more affected by temperature changes. Fine-grained rocks, composed of grains of the irregular, ragged form, have higher strength. Porosity makes significant influence on compressive strength of rocks as it diminishes contact area between grains. Flexural strength of rocks is in 10…20 times lower, than compressive strength.

Table 3.2.

Basic properties of rocks

Rocks	Average density, kg/m^3	Compressive strength, MPa	Module of elasticity, 10^4MPa	Frost-resistance, cycles
Igneous:				
granites	2500…2700	100…260	5…10	100…300
gabbros	2800…3000	100…350	19…11	100…300
porphyrites	2500…2700	60…150	6…8	59…200
basalts	2200…3100	110…500	8…8.3	50…200
Methamorphic:				
gneisses	2000…2500	10…200	6…7	25…200
quartzites	2500…2700	100…250	7…9	100…300
Sedimentary:				
carbonates	1700…2700	5…200	0.2…9	3…300
sandstones	2000…2500	10…250	1.4…5	15…300

In rocks, especially sedimentary rocks, weakforms can be found, contained as separate layers. Homogeneity of rock properties is the most important indicator of their quality.

While selecting the type of the stone its *average density* is in great importance; for the rocks of certain mineral composition and structure it can describe their strength and durability. As far as chemical basicity of rocks increases (ratio of basic oxides content to acidic ones) the density of rocks grows.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Frost-resistance of the most rocks can be defined approximately by water absorption. Water absorption of dense igneous rocks not subjected to the weathering does not exceed 0.7%, water absorption of sedimentary rocks is 10% and more.

Weathering resistance of minerals containing in the rock has substantial value for durability of natural stone. Quartz is resistant to weathering; orthoclase and microcline are low-resistant; plagioclases, amphiboles, olivine, calcite, dolomite, gypsum and others are nonresistant. Chemically active minerals like sulfides, sulfates and others can negatively influence on the stone durability. For example, sulfides oxidization on the polished surface of cladding stone causes foxing and results in destruction, oxidization of sulfides in crushed stone - volume increasing and reducing in concrete strength.

In the case of application of natural stone as walling material thermal and sound conductivity, air permeability are very important properties along to porosity, frost-resistance, weathering resistance. All of these properties are correlated and predefined mainly by porosity of rock. Effective wall materials are products from such high-porous rocks, as tuff, shell limestone.

For cladding natural stone their decorative and workability are of important value.

The color of the rock is determined by the color of minerals, that it is consisted of. Igneous rocks have the most stable coloring, sedimentary and metamorphic rocks are less proof.

Workability of rocks (abilities to smoothing, polishing) reduces as far as their strength growths, at a coarse-crystalline structure, also at the presence of inclusions.

3.7. Підвищення довговічності природних кам'яних матеріалів
Increased durability of natural stone materials

Процес поступового руйнування кам'яних матеріалів в конструкціях будівель і споруд можна запобігти або загальмувати за допомогою різних конструктивних і хімічних методів захисту, що сприяють зниженню впливу агресивних факторів.

Конструктивні методи полягають у влаштуванні гладких або полірованих поверхонь матеріалів, нездатних затримувати дощові і талі води і пропускати агресивні речовини всередину каменя.

Хімічні методи захисту передбачають консервацію каменю шляхом послідовного просочення його верхнього шару речовинами, внаслідок реакції між якими утворюються нерозчинні речовини, кольматуючі пори і мікротріщини. До таких методів належать силікатизація, флюатування а також модифікація полімерними сполуками.

Силікатизація полягає в просочуванні верхнього шару каменю розчином рідкого скла, а потім - розчином хлористого кальцію. В результаті реакції утворюються малорозчинні силікати кальцію.

Процес *флюатування* полягає, в обробці вапняків та інших порід, що містять кальцит, водними розчинами кремнійфтористих солей. Ці солі (*флюати*) вступають в хімічні реакції з розчинними компонентами каменю з утворенням фтористих солей Ca і Mg і кремнезему, нерозчинних у воді, які ущільнюють поверхню каменю і роблять її стійкою до агресивних середовищ. Так, наприклад, при обробці вапнякових порід кремнійфтористим магнієм утворюються кремнезем і фтористі солі:

$$MgSiF_6 + 2CaCO_3 = MgF_2 + 2CaF_2 + SiO_2 + 2CO_2 \uparrow .$$

Флюатування можна застосовувати і для некарбонатних (кислих) порід. З цією метою їх попередньо просочують розчином солі, яка згодом утворює з флюатом захисний шар з нерозчинних у воді сполук.

Можливе використання також водних розчинів і дисперсій полімерних речовин. Так, наприклад, для гідрофобізації поверхні і пор каменю застосовують кремнійорганічні рідини, а також водний розчин сечовинноформальдегідної смоли. Надійна обробка створюється деякими мономерами з подальшою їх полімеризацією при термокаталітичній обробці. Даний метод модифікації найбільш ефективний для обробки пористих гірських порід.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Конструктивні та хімічні заходи, що застосовуються спільно, призводять до суттєвого збільшення довговічності природних кам'яних матеріалів у різних конструкціях.

The process of gradual destruction of stone materials in the constructions of buildings and structures can be prevented or delayed by using various constructive and chemical protection methods that reduce the impact of the aggressive factors.

Constructive methods include creation of smooth or polished surfaces of materials that are not capable to detain rain water, snow water, and let the aggressive media inside the stone material.

Chemical protection methods include preservation of stone by impregnation of its top layer with substances that form insoluble compounds due to reactions between them and blocks pores and microcracks. Such methods include silicatization, fluating as well as the modification by polymer compounds.

*Silicatizatio*n is a top layer impregnation of stone with a solution of liquid glass, and then with a solution of chloride calcium. Calcium silicate $CaO \cdot nSiO_2$, formed by this reaction, is practically an insoluble compound.

Fluating process consists in treating limestones and other rocks that contain calcite with aqueous solutions of silicon fluorine salts. These salts (*fluates*) enter into chemical reactions with components of stone with the formation of water-insoluble fluoric salts of Ca, Mg and silica, , which seal the surface of the stone and make it unavailable for aggressive enviroment. For example, when processing limestone with silicon fluorine magnesium, silica and fluoride salts develop:

$$MgSiF_6 + 2CaCO_3 = MgF_2 + 2CaF_2 + SiO_2 + 2CO_2 \uparrow .$$

Fluating also applies to non-carbonate (acid) rocks. To achieve the desired effect, they are previously soaked in a solution of salt, which subsequently forms protective layer of insoluble compounds with fluate.

It is possible to use also aqueous solutions and emulsions, polymeric substances and water polymeric dispersions. Thus, for example, silicone organic fluids and aqueous solution of carbamide formaldehyde resin apply for stone's surface and pores hydrophobization. Reliable processing is done by some monomers with their subsequent polymerization under thermocatalytic treatment. This method of modification is the most effective for handling porous rocks.

Constructive and chemical methods, applied in common, lead to a substantial increase in the durability of natural stone materials in different constructions.

3.8. Ґрунти як природні матеріали
Soils as natural materials

Гірські породи, які є об'єктами інженерно-будівельної діяльності, називають *ґрунтами*. Ґрунти служать природною основою, середовищем та будівельним матеріалом для різноманітних споруд. Їх поділяють на:

– скельні - водостійкі, зцементовані породи, які практично не стискаються і мають міцність на стиск у водонасиченому стані більшу 5 МПа (граніти, базальти, деякі види піщаників та інш.);

– напівскельні - породи з границею міцності на стиск у сухому чи водонасиченому стані менше 5 МПа (гіпси, конгломерати та інш.);

– нескельні або рихлі - крупноуламкові (незцементовані породи, які містять більше 50% за масою частинок більших 2 мм), піщані (сипучі в сухому стані породи, які містять менше 50% за масою частинок крупніших 2 мм) та глинисті (для яких характерна певна пластичність).

Ґрунти поділяють також за коефіцієнтом розм'якшення, за ступенем вивітрювання, за розчинністю у воді. Великий вплив на міцнісні властивості і особливо на зв'язність ґрунтів має вологість. Сухі глинисті ґрунти при значному зволоженні стають текучими. При

Національний університет
водного господарства
та природокористування

ущільненні ґрунту найбільша його щільність при мінімальній роботі досягається при оптимальній вологості.

В процесі будівництва земляних споруд ґрунт ущільнюється за рахунок зближення частинок між собою під впливом навантаження. Стиснення ґрунтів характеризується зменшенням коефіцієнта пористості при підвищенні напруження стиску. Встановлення залежності між коефіцієнтом пористості та напруженнями стиску виконують за допомогою компресійних приладів.

Міцність ґрунтів характеризується їх здатністю чинити опір зусиллям зсуву. До числа показників міцності ґрунту відносять також когезію (МПа) та кут внутрішнього тертя (град.), які використовуються в розрахунках несучої здатності та стійкості ґрунтів.

Важливою характеристикою ґрунту є фільтраційна здатність. Залежно від виду ґрунту, об'єму його пор та структури порового простору ґрунти мають різний коефіцієнт фільтрації (табл. 3.3)

Таблиця 3.3

Фільтраційні властивості ґрунтів

Ступінь водопроникності	Коефіцієнт фільтрації, м/добу	Вид ґрунту
Практично водонепроникні	0,01	Глина
Слабоводопроникні	Понад 0,01 до 0,1	Суглинок
Водопроникні	Понад 0,1 до 1	Супісок
Сильноводопроникні	Понад 1 до 10	Пісок дрібний
Дуже сильноводопроникні	Понад 10	Пісок крупний, гравій,галька

Для зведення земляних споруд допускаються всі види ґрунтів, за виключенням пилуватих пісків, ґрунтів, які містять водорозчинні включення. Глини використовують при будівництві водонепроникних елементів споруд, де вона знаходиться при постійній вологості. Намивні земляні греблі зводять з гравійних піщаних, супіщаних ґрунтів. При зведенні кам'яно-земляних та кам'яно-накидних гребель використовують гірські породи з коефіцієнтом розм'якшення 0,9 (для вивержених та метаморфічних порід) і 0,8 (для осадових). Камені повинні мати достатню міцність та морозостійкість.

Under *soils* generally understand rocks, including ground that are the subject of construction activity. Soils are natural basis, environment and construction material for various constructions. Soils are divided onto:

– Rocky water-resistant, consolidated rocks, which are practically uncompressed and have compressive strength in the water-saturated state more than 5 MPa (granites, basalts, some types of sandstones, etc.);

– Semirocky rocks with compressive strength in dry or water saturated state less than 5 MPa (gypsum conglomerates, etc.);

– Earth – coarse fragmental (uncemented rocks, which contain more than 50% of particles more than 2 mm by mass), sandy (friable in the dry state rocks, which contain less than 50% of particles larger than 2 mm by mass) and clayey (for which certain plasticity is typical).

Soils are divided also by softening coefficient,weathering degree, by solubility in water. Humidity has large influence on strength properties and especially on the soils cohesion. Dry clayey soils at considerable moistening become fluid. At the soil compression the most its density at minimal work is reached at optimal humidity.

In construction process of earthworks soil consolidates, due to approaching of particles between each other under load action. Compressibility of soils is characterized by reduction of porosity coefficient at increasing in compressive stress. Determination of dependence between the porosity coefficient and compressive stresses is defined by compression equipment.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Strength of soils is characterized their ability to resist to sliding stress. Cohesion (MPa) and angle of internal friction (degree), applied for the calculations of load-carrying capacity and resistance of soils are rated to a number of parameters of soil strength.

Important parameter of soil is filterability. Depending on the type of soil, volume of its pores and structure of pore space soils have different filtration coefficient (table 3.3).

For earthworks construction all the types of soils are accepted, with the exception of pulverescent sands, soils which contain the water soluble inclusions. Clays are used for construction of waterproof elements of buildings, where they are at permanent humidity. Hydraulic earth-fill dams are built of gravel sandy, loamy sand soils. At the construction of earth-to-rock and rock-fill dams rocks are used with softening coefficient not less 0.9 (for igneous and metamorphic rocks) and 0.8 (for sedimentary).

Table 3.3

Filtration characteristics of soils

Degree of water permeability	Filtration coefficient, m/days	Type of soil
Practically waterproof	0.01	Clay
Low waterproof	From 0.01 to 0.1	Loam
Water permeable	From 0.1 to 1	Loamy sand
High water permeable	From 1 to 10	Fine sand
Very high water permeable	Over 10	Coarse sand, gravel, pebble stone

Національний університет
водного господарства
та природокористування

3.9. Бутовий камінь
Rubble stone

Бутовий камінь – будівельний матеріал, що складається з шматків гірської породи неправильної форми розміром 70....1000 мм. Його використовують для кладки фундаментів, підземних частин будівель, стін нежитлових, допоміжних та виробничих будівель, для зміцнення земляних відкосів у дорожньому будівництві, а також як заповнювач для бутобетону. У гідротехнічному будівництві з бутового каміння зводять також накидні греблі. Склад каменю за крупністю призначають із умови отримання мінімальної пористості з урахуванням особливостей гребель.

Бутовий камінь поділяють на постелистий (з однією небугристою гранню) та плитняковий (з двома приблизно паралельними гранями). Різновидом бутового є булижний камінь, який має округлу форму.

Міцність бутового каменю оцінюється границею міцності вихідної гірської породи на стиск у насиченому водою стані. Міцність бутового каменю на стиск знаходиться в межах 10…140 МПа. Каміння з метаморфічних порід повинно мати міцність не нижче ніж 40 МПа , а з магматичних - не нижче ніж 60 МПа. Морозостійкість бутового каменю зазвичай знаходиться в межах 15…300 циклів поперемінного заморожування і відтавання . У партії бутового каменю допускається не більш як 15% шматків з розмірами, відмінними від граничних. Вміст глини у каменях не повинен перевищувати 2% за масою, коефіцієнт розм'якшення має бути не нижче ніж 0,7.

Rubble stone is a construction material, which consists of pieces of rock irregular in shape 70..1000 mm in size. It is used for laying of foundations, underground parts of buildings, walls of nondomestic, subsidiary and production buildings, for strengthening of earthen slopes, in road construction, and also as an aggregate for rubble concrete. In hydrotechnical construction fill dams are also erected of rubble stones. Stone composition by coarseness is assigned from getting minimum porosity taking into account the peculiarities of dams.

Rubble stone is divided into self-faced (with one uneven face) and slabby (with two approximately by parallel faces). Cobble stone is a type of rubble stone, round in shape.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Strength of rubble stone is estimated by compressive strength of initial rock in the water saturated state. Ultimate strength of rubble stone is in the range of 10…140 MPa. Stone made of metamorphic rocks should have strength not less than 40 MPa, but the stone made of igneous rocks - not less than 60 MPa. Frost-resistance of rubble stone is approximately equal 15…300 cycles of freezing and thawing. There are accepted not more than 15% fragments with dimensions, different from limit ones in rubble stone batch. Clay content in stone should not exceed 2% by mass, softening coefficient should be not less, than 0.7.

3.10. Облицювальні кам'яні вироби
Facing stone products

Облицювальні плити та камені виготовляють розпилюванням блоків з природного каменю. У разі використання некондиційних блоків отримують колоті плити та камені.

Для отримання облицювальних виробів найбільше використовують магматичні породи групи граніту та метаморфічні - мармури і забарвлені різновиди кварцитів. Осадові породи - вапняки, пісковики, доломіти, травертини та гіпси використовують переважно для внутрішнього облицювання. Найбільшу довговічність мають кварцити та граніти, значно меншу - мармури, які на відкритому повітрі можуть швидко руйнуватися.

Гірські породи, які застосовуються для отримання облицювальних виробів, повинні мати границю міцності на стиск не менш ніж 5 МПа, морозостійкість - не менш ніж 15 циклів. Залежно від розмірів блоки поділяють на декілька груп. У блоці допускається не більше однієї тріщини, що проглядається на двох суміжних гранях, завдовжки менше третини довжини блоку. Тріщини на плитах завдовжки менше третини ширини допускаються у тому разі, коли плити виготовлені з кольорового мармуру. Облицювальні вироби мають абразивну (поліровану, шліфовану, лощену) або сколоту (рифлену, борознисту, точкову) фактуру. Найбільш поширені пиляні плити 6...80мм завтовшки, 200…400 мм завширшки.

Декоративні плити з мозаїчною та орнаментною поверхнями виготовляють, використовуючи окремі шматки природного каменю, щебінь та пісок, а також неорганічні або синтетичні в'яжучі речовини. Плити позначають марками, в яких вказують тип, вид лицьової поверхні та габаритні розміри.

Завдяки високій довговічності облицювань з природного каменю витрати на їхню експлуатацію значно менші, ніж при оздобленні будівель фарбами, кольоровими розчинами та бетонами.

Facing slabs and stones are produced by sawing of natural stone blocks. In the case of application of off-quality blocks there are obtained sledged slabs and stones.

For obtaining facings elements igneous rocks of granite group and metamorphic rocks like marble and colored variations of quartzites are commonly used. Sedimentary rocks - limestones, sandstones, dolomites, travertines and gypsums are applied mainly for internal facing. Quartzites and granites have the highest durability; marbles have considerably lower durability, and can quickly to collapse at outdoor conditions.

Rocks, which are used for the application of facings elements, should have compressive strength not less than 5 MPa, fros-resistance - not less than 15 cycles. Depending on blocks dimensions they are divided into some groups. There is accepted in a block no more than one crack, which is visible at two adjacent surfaces, less than one third of measuring long. Cracks on slabs less than one third of width length are allowed in that case, when slabs are made from the colored marble. Facings elements have abrasive (polished, rubbed, honed) or impact (tooled, boasted, pointed) finishes. The most common are sawn slabs 6…80 mm thick, 200…400 mm width.

Decorative slabs with mosaic and ornamented surfaces are produced utilizing separate pieces of natural stone, crushed stone and sand, and also inorganic or synthetic binders. Slabs are marked by grades, type, kind of face and overall dimensions are specified in which.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Due to high durability of natural stone facing their maintenance costs are considerably less than, at finishing of buildings by paints, coloured mortars and concretes.

3.11. Стінові кам'яні вироби
Walling stone products

Як стінові матеріали застосовують *пиляні штучні камені* та *крупні блоки*. Для стін використовують легкі пористі гірські породи, які мають середню густину 900...2100 кг/м^3, границю міцності на стиск 0,4...50 МПа та морозостійкість не менш як 15 циклів. Мінімальні значення коефіцієнтів розм'якшення стінових каменів і блоків 0,6, водопоглинання для туфів та опок до 50%, вапняків та інших порід до 30%.

Стінові камені та блоки мають такі основні розміри, мм:

камені – довжина 390, 490, ширина 190, 240, висота 188, 288;

блоки – довжина 400, 500, ширина 820, 1000, висота 2360, 2520, 2860, 3020.

За призначенням стінові камені поділяють на лицьові та рядові. Рядові камені використовують для зведення стін з наступним оштукатурюванням.

Границя міцності стінових каменів 0,4…40 МПа, блоків 2,5...40 МПа.

При умовному позначенні стінових каменів вказують тип каменю за геометричними розмірами, його вид за призначенням та марку за міцністю на стиск.

Стінові вироби з природного каменю мають гарну фактуру (рожеві, блакитні, жовті туфи; білі жовті світло-сірі вапняки), легко обробляються.

З окремих блоків, випиляних з легких гірських порід, можна виготовити на розчині крупні *складені блоки* та *панелі*, використання яких дає змогу підвищити індустріальність будівництва.

Ефективно використовувати складені блоки заввишки "на поверх", які виготовляють із 6...8 звичайних блоків, зазори між ними заповнюють цементним розчином. Перспективними виробами з природного каменю є крупні цільнопилені панелі, склеєні з окремих елементів полімерами.

As walling materials sawn stones and large-size blocks are used. For walls lightweight porous rocks are used, which have average density 900…2100 kg/m^3, compressive strength 0.4…50 MPa and frost-resistance not less than 15 cycles. Minimal value of softening coefficient of walling materials and blocks is 0.6, water absorption for tuffs is 50%, for limestones and other rocks it is 30%.

Walling stone and blocks often have following basic dimensions, mm:

Stones – length 390, 490, width 190, 240, height 188, 288;

Blocks – length 400, 500, width 820, 1000, height 2360, 2520, 2860, 3020.

By assignment wall stones are divided into facial and ordinary ones. Ordinary stones are used for walls erection with subsequent plastering.

Ultimate compressive strength of wall stones is 0.4…40 MPa, blocks - 2.5…40 MPa.

At symbolic notation of walling stone they specify type of stone by dimensions, its kind by assignment and compressive strength grade.

Walling elements made of natural stone have beautiful surface finish (rose, blue, yellow tuffs; white, yellow, light grey limestones), they are processed easily.

From separate blocks, sawn from light-weight rocks, are made based on mortar large *composite blocks* and *panels* the application of which enables to promote productivity of building.

It is effective to use composite blocks "floor" in high, which are made of 6…8 ordinary blocks, gaps between them are filled with cement mortar. Large panels, glued from separate elements by polymers are perspective products made of natural stone.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

3.12. Природний камінь в дорожньому і гідротехнічному будівництві
Natural stone in road and hydraulic construction

Для будівництва доріг у вигляді штучних виробів використовують *бортове каміння*, *брущатку, колоте* та *булижне каміння*. Цими виробами відокремлюють проїжджі частини вулиць та автомобільних доріг від тротуарів, вимощують мостові, трамвайні полотна, зміцнюють відкоси земляних покриттів і основ. Вихідною сировиною для них є високоміцні гірські породи міцністю не менш як 60 МПа, морозостійкістю не менше ніж 25 циклів, коефіцієнтом розм'якшення 0,6....0,9, водопоглинанням 1...4%, опором удару 15 кПа.

У водогосподарському будівництві кам'яні матеріали і вироби мають дуже широке використання. Камені неправильної форми: бутовий камінь, булижник, гравій та щебінь використовуються для мурування фундаментів гідротехнічних споруд, зведення кам'яно-земляних та кам'яно-накидних гребель, приготування бутобетону для зведення внутрішньої зони бетонних і залізобетонних гребель, фундаментів гідровузлів насосних станцій та ГЕС, кріплення укосів каналів та водоймищ, влаштування кам'яних відсипок навколо бетонних гідротехнічних споруд з метою зберігання бетону від корозії. Камені правильної форми з виверженних щільних порід та пісковиків використовують при муруванні гребель методом сухого мурування (без розчину) правильними рядами з перев'язкою швів; влаштуванні опоряджувального мурування підводної та надводної частини споруд (набережні, насосні станції, будівлі ГЕС); муруванні опор акведуків, мостів та підпорних стінок; виготовленні архітектурних елементів (колон, цокольних частин будівель). Булижник зі щільних гірських порід використовують при облаштуванні кріплень від хвильового та швидкісного впливу води, укосів земляних гребель, каналів, водосховищ, при мостінні доріг.

Тесані та пиляні плити зі щільних водостійких гірських порід використовуються під час зовнішнього опорядження підводної частини гідротехнічних споруд, набережних, іноді облицюванні укосів гідровузлів, влаштування підлог в будівлях ГЕС та насосних станціях. В якості опоряджувального матеріалу всередині насосних станцій та будівель ГЕС використовують різні види мармуру, конгломерати, брекчії. З метою надання гідротехнічним спорудам архітектурної виразності застосовують вироби, виконані з міцних водостійких гірських порід (граніту, габро, пісковику).

Особливо широке застосування у водогосподарському будівництві здобули осадові уламкові породи у вигляді піску, щебеню і гравію, гравійно-галькової та гравійно-піщаної суміші. Ці матеріали використовують при виготовленні гідротехнічного бетону; влаштуванні підстиляючих шарів під монолітні та збірні залізобетонні облицювання каналів; приготуванні дренажних засипок; при кріпленні укосів каналів та гідровузлів, водосховищ.

Враховуючи, що кам'яні матеріали, які використовуються у водогосподарському будівництві, практично мають постійний або періодичний контакт з водою, яка часто буває агресивною, до них пред'являються підвищені вимоги не тільки за густиною, міцністю, тепло- і морозостійкістю, але і за стійкістю до агресивного навколишнього середовища.

Border stone, *pavestone, sledged stone* and *cobblestone* are used for road construction as a workstone. These elements are served for detaching the traffic ways and highways from pedestrian ways (sidewalks), for paving roadways, tram-car ways, strengthening the slopes of earthen coatings and subbases. Raw materials for them are high-strength rocks with strength not less than 60 MPa, frost-resistance not less than 25 cycles, with softening coefficient 0.6…0.9, water absorption 1…4%, impact resistance 15 kPa.

Stone materials and elements are widely used in water industry construction. At construction stone irregular in shape: rubble stone, cobblestone, boulders, gravel and crushed stone are utilized for laying of foundations of hydraulic structures, construction the earth-and-rock-fill dams, preparation of rubble concrete for the erecting of interior zone of concrete and reinforced-concrete dams, foundations of the hydro systems of the pumping stations and hydropower plants, consolidation of

Національний університет
водного господарства
та природокористування
hay-crops of canals and ponds, arranging of stoning round concrete hydraulic structures to protect concrete from corrosion. The stone of regular shape from igneous dense rocks and sandstones are used for dams stonework by the method of dry rubble (without mortar) by regular rows with bonding; arranging of finishing stonework of underwater and above-water parts of structures (embankments, pumping stations, hydroplanes buildings); masonry work of footings of aqueducts, bridges and retaining wall; architectural elements production (columns, basement parts of buildings). A cobblestone made of dense rocks is used for arrangement of fortifications from wave and speed influence of water, hay-crops of earthen dams, canals, water storages, at roadway pavings.

Hewn and sawn slabs made of dense water resistant rocks are used during the external cladding of underwater part of hydrosystems, embankments, sometimes facing of hay-crops of the hydrosystems, floors arranging in buildings of hydroplants and pumping stations. As facing material inside the pumping stations and hydroplants buildings different types of marble, conglomerates and breccia are used. To improve architectural expressiveness of hydraulic structures there are applied different products, produced of water resistant rocks (granite, gabbro, sandstone).

Especially wide application in water construction have sedimentary clastic rocks such as sand, crushed stone and gravel, gravel-pebble and gravel-sand mixtures. These materials are used for production of hydraulic concrete; arranging the underlayers under monolithic and precast reinforced-concrete canal linings; preparation of the drainage filings ups; at consolidation of hay-crops of canals and hydrosystems, water storages.

Taking into account that stone materials, used in hydraulic construction, practically have permanent or periodical contact with water, which often is aggressive one, they have to meet raised requirements not only at density, strength but also in frost-resistance, resistance to aggressive environment.

3.13. Виробництво природних кам’яних матеріалів
Production of natural stone materials

Технологія виробництва природних кам'яних матеріалів визначається їхніми особливостями, властивостями гірської породи, умовами її залягання. Родовище, підготовлене до розробки порід, називається *кар'єром*. Підготовка родовища починається з вилучення верхніх розкривних порід та оголення корисної копалини.

Дроблене каміння зі скельних порід виробляють за допомогою буровибухових робіт, пов’язаних з бурінням шпурів або свердловин та відокремленням за допомогою вибуху великих шматків породи, які надходять на подрібнення.

На дробильно-сортувальних заводах та установках (рис.3.5) здійснюють одно-, двох- або багатоступінчасте дроблення вихідної сировини. Багатоступінчасте дроблення найпоширеніше, воно дає змогу отримати як крупні, так і дрібні фракції щебеню. Одноступінчасту схему використовують на підприємствах малої потужності при найбільших розмірах шматків породи 400...450 мм.

Дроблений матеріал сортується за фракціями механічним, гідравлічним та повітряним способами.

Пилуваті та глинисті домішки, що забруднюють дроблене каміння, вилучають промиванням, для чого використовують лопатеві, барабанні або вібраційні промивні машини. Поряд з промиванням використовують спеціальні методи збагачення нерудних матеріалів.

Рихлі породи (гравій, пісок, гравійно-піщані суміші) добувають відкритим способом, переважно одно- або багатоковшовими екскаваторами. Поряд з сухим способом на піщано-гравійних кар'єрах застосовують гідромеханізоване добування. Розроблювана цим способом порода при динамічній дії води відділяється, розрихлюється і транспортується землесосним обладнанням у вигляді пульпи на склад або на переробку.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Штучний камінь з легкодобувних гірських порід - мармуру, вапняку, туфу одержають за допомогою каменерізальних машин, робочими органами яких є горизонтальні та вертикальні дискові пилки, встановлені на візку, що пересувається у кар'єрі по рейках уздовж забою.

Облицювальні вироби з твердих порід отримують відокремленням від масиву крупних монолітів, які розділяються на блоки та плити.

Production technology of natural stone materials is determined by their peculiarities, rock properties and terms of occurrence. A deposit, prepared for development of rocks, is called *quarry*. Preparation of a deposit starts with the removal of upper rocks and baring of mineral resource.

Crushed stone from rock is produced using drilling and blasting operations associated with the drilling of boreholes or wells and separation using explosives large pieces of rock coming to grinding.

On crushing and screening factories and plants (fig. 5.5) there is made one-, two- or multistage crushing of initial raw material. Multistage crushing is the most prevailing; it enables to obtain both coarse and fine fractions of crushed stone. One-stage scheme is used at the low productivity plants at maximum dimensions of rock pieces 400…450 mm.

The crushed material is assorted on fractions by mechanical, hydraulic and air methods.

Dusty and clayey admixtures, which contaminate crushed stone, are withdrawn by washing, for that blade flushing, drum or vibratory machines are used.

Along to washing special methods of cleaning of stone materials are used.

Loose rocks (gravel, sand, gravel-sandy mixtures) are yielded by the opened method, mainly by one- or multibucket excavators. Along to dry-process on sandy gravel careers hydromechanical extraction is applied. Rock, developed by this method, is separated by the dynamic action of water, is loosened and is transported by dredging equipment as a pulp in the storehouse or on processing.

Work stone from light-extracted rocks – marble, limestone, tuff is obtained by rockcutting machines, the operating element of which are horizontal and vertical disk saws, set on a cart which moves in a quarry by rails along the working face

Facing elements from hard rocks are obtained by separating from massive of large monoliths, which are divided into blocks and slabs.

3.14. Керамічні матеріали. Загальні відомості
Ceramic materials. Overview

Керамічними називають матеріали, які одержують з мінеральної, переважно глинистої, сировини формуванням, сушінням та спіканням при високій температурі.

Залежно від застосування керамічні матеріали поділяють на будівельні, вогнетривкі, електротехнічні, спеціального призначення (технічна кераміка), хімічно стійкі, господарсько-побутові.

Розрізняють *грубу кераміку*, що має неоднорідну будову, та *тонку кераміку* з дрібнокристалічною однорідною будовою. До грубої кераміки належить більша частина будівельних керамічних матеріалів і вогнетривів, кислотостійка цегла та ін. Основними представниками тонкої кераміки є *фаянс* – дрібнопористий керамічний матеріал, покритий прозорою легкоплавкою глазур'ю, і *фарфор* – спечений керамічний матеріал білого кольору з водопоглинанням менше як 0,5%. До різновидів кераміки належить також *майоліка* - вироби з кольорової випаленої глини, покриті глазур'ю, *теракота* – кольорова неглазурована кераміка, матеріали електротехнічного призначення та ін.

Будівельні керамічні матеріали класифікують за ступенем спікання та призначенням. Залежно від ступеня спікання розрізняють щільні та пористі матеріали. *Щільні керамічні матеріали* мають водопоглинання менше як 5%. До них належать плитки для підлог, клінкерна цегла, каналізаційні труби. *Пористі керамічні матеріали* мають водопоглинання

Національний університет
водного господарства
та природокористування

понад 5%. До групи пористої кераміки входять будівельна цегла, фасадні плити та вироби, дренажні труби, черепиця тощо.

За призначенням будівельні керамічні матеріали поділяють на такі види: *стінові* - цегла, керамічні камені та панелі; *облицювальні* – лицьова цегла, плитки для фасадного та внутрішнього облицювання та ін.; *покрівельні* – черепиця; *дорожні* – клінкерна цегла; *санітарно-технічні* – умивальники, унітази, тощо; *для підземних комунікацій* – каналізаційні та дренажні труби; *теплоізоляційні* – діатомітові та інші легковажні вироби; *легкі заповнювачі для бетонів* - керамзит та аглопорит*; спеціального призначення* - вогнетривкі, кислотостійкі та інші.

Materials which are obtained from mineral, mainly clay raw materials, by forming, drying and firing at a high temperature are called *ceramic materials*.

Depending on application ceramic materials are divided into building, heat-resistant, electrical engineering, of the special destination (technical ceramics), chemically proof, house-hold.

There are distinguished *rough ceramics*, which have a heterogeneous structure, and *thin ceramics* with a fine-grained homogeneous structure. Greater part of construction ceramic materials and refractories, acid-proof brick, and others belong to the rough ceramics. The basic representatives of thin ceramics are the *faience* - fine-pored ceramic material, covered by transparent fusible glaze, and *porcelain* - sintered ceramic material of white colour with water absorption less than 0.5%. Varieties of ceramics are majolica - products from the coloured fired clay, covered by glaze; terracotta - one-colour naturally painted unglazed products, ets.

Construction ceramic materials are classified by a degree of sintering and destination. There are distinguished dense and porous materials depending on a degree of sintering. *Dense ceramic materials* have water absorption less than 5%. Flooring tiles, clinker brick, and sewage pipes belong to this group. *Porous ceramic materials* have water absorption over 5%. Construction brick, facade tiles, drainage pipes etc are included in the group of porous ceramics.

According to the destination construction ceramic materials are divided into such types: *masonry* (wall)- brick, ceramic stones and panels; *facing*- facing brick, tiles for facade and internal facing and so on; *roof*- roof tile; *road* - clinker brick; *sewage-technique* - washstands, water-closet pans, etc; *underground communications* - sewage and drainage pipes*; heat- insulation* – diatomite and other light products; *light aggregates* for concretes - claydite and aggloporite; *special assignment* - heat-resistant, high acid-proof, etc.

3.15. Глини як сировина для керамічних матеріалів
Clays as raw materials for ceramic

Основними вихідними матеріалами для отримання кераміки є *глини* - осадові породи, що складаються з глинистих мінералів і домішок. До головних глинистих мінералів відносять мінерали групи каолініту, монтморилоніту та гідрослюд. Всі глинисті мінерали належать до водних алюмосилікатів з характер-ною для них шаруватою структурою. Так, кристалічна решітка *каолініту* ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) складається з двошарових плоских пакетів, кожен з яких включає шар кремнекислевих тетраедрів і шар, утворений атомами алюмінію, кисню і гідроксильної групи (рис.3.6). Розмір частинок каолініту – від 1 до 3 мікронів.

Монтморилоніт ($MgO \cdot CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$) має властивість інтенсивно поглинати велику кількість води, міцно утримувати її і важко віддавати при сушінні. В результаті сильного набухання при зволоженні об’єм монтморилоніту може збільшуватися до 16 разів. Розміри частинок монтморилоніту значно менші 1 мкм.

Гідрослюди ($K_2O \cdot MgO \cdot 4Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 2H_2O$) – продукти багаторічної гідратації слюд. За інтенсивністю зв'язку з водою вони займають проміжне положення між каолінітом і

Національний університет водного господарства та природокористування

монтморилонітом. Характерною для гідрослюд є здатність окремих катіонів до ізоморфних заміщень. Так Si^{4+} може замінюватися Al^{+3}, а останній - Mg^{2+}.

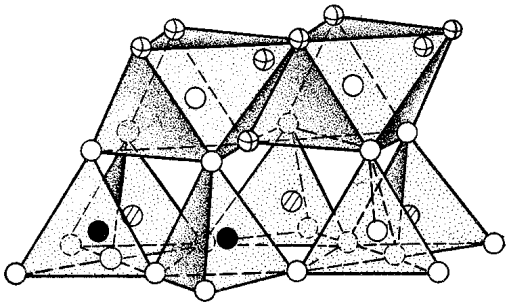

Рис.3.6. Схематична структура каолініту. Кружки вказують центри тяжіння окремих іонів: ○ – O; ◎ – OH; ● – Si; ▨ – Al (Mg)
Fig.3.6. Schematic structure of kaolinite. Circles indicate the centers of gravity of the individual ions: ○ – O; ◎ – OH; ● – Si; ▨ – Al Mg)

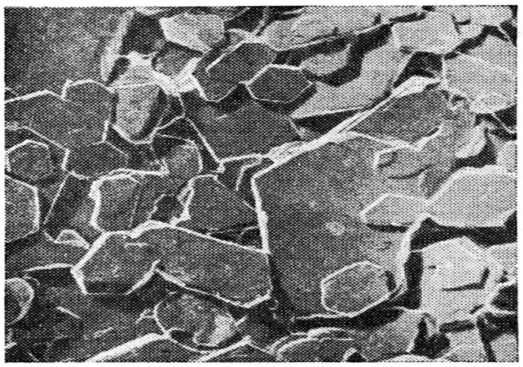

Рис. 3.7. Електронна мікрофото-графія каолініту (×17200)
Fig.3.7. Electronic microphotography of kaolinite (×17200)

Каолініт кристалізується у вигляді гексагональних пластинок (рис.3.7), монтморилоніт і гідрослюди мають менш чітку кристалізацію. Основні домішки в глинах представлені кварцом, карбонатами, залізистими сполуками, польовими шпатами, органічними включеннями.

У природі глини зустрічаються частіше за полімінеральні утворення, що включають два-три глинистих мінерали.

Глини класифікують за багатьма ознаками (хімічним складом, вмістом глинистої речовини, пластичністю, здатністю до спікання, вогнетривкістю та інш.), залежно від яких обирають область їх застосування.

На рис. 3.8 приведені можливі області застосування глинистої сировини залежно від її хімічного складу.

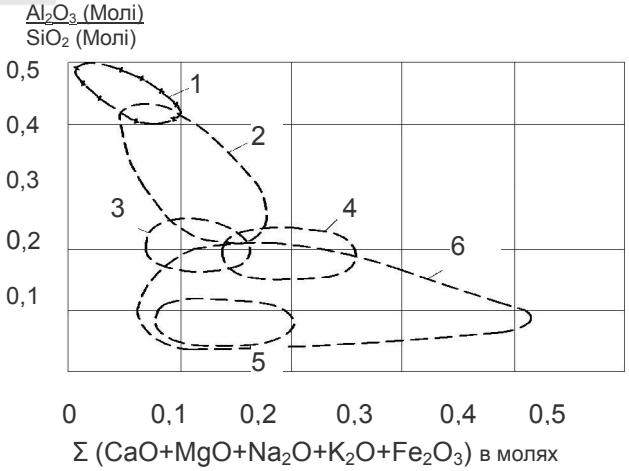

Рис. 3.8. Промислове застосування глин залежно від їх хімічного складу: 1 - шамотні вогнетривкі вироби; 2 - плитки для підлог, каналізаційні труби, кислотостійкі вироби і кам'яний товар; 3 - керамічні і теракотові вироби; 4 - черепиця; 5 – дорожній клінкер; 6 – цегла
Fig. 3.8. Industrial application of clay depending on their chemical composition: 1 – chamotte refractory products; 2 – tiles for floors, sewer pipes, acid-resistant products and stone products; 3 – pottery and terracotta products; 4 – tile; 5 – road clinker; 6 – brick

У природі глини звичайно є полі мінеральними утвореннями, що складаються з нескельних матеріалів.

The main raw materials to obtain ceramics are *clays* - sedimentary rocks, composed of clay minerals and impurities. The main clay minerals are minerals of kaolinite and montmorillonite

Національний університет
водного господарства
та природокористування

group, and hydromica. All clay minerals are water alumino silicates with characteristic layered structure. Thus, crystal lattice of *kaolinite* ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) consists of two flat packages, each of which includes a layer of silicon oxygen tetrahedra and the layer, formed by atoms of aluminum, oxygen and hydroxyl group (fig. 3.6).Kaolinite particles are from 1 to 3 microns.

Montmorillonite ($MgO \cdot CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$) has the ability to intensely absorb large amounts of water, hold it firmly and it is reluctant to give it away when drying. Following strong swelling of montmorillonite with wetting, its volume may increase up to 16 times. Size of montmorillonite particles is significantly less than 1 micron.

Hydromicas ($K_2O \cdot MgO \cdot 4Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 2H_2O$) is the result of a multi-year hydration of micas. They occupy an intermediate position between kaolinite and montmorillonite according to the intensity of the bond with water. A characteristic for hydromicas is feature of certain cations to isomorphous substitution. So Si^{4+} may be replaced by Al^{+3} and the latter – by Mg^{2+}.

Kaolinite is crystallized in the form of hexagonal plates (fig. 3.7), montmorillonite and hydro micas have a less clear crystallization. The main impurities in clays are quartz, carbonates, iron compounds, feldspars and organic inclusions.

In the nature clay is usially polymineral formations, consisting of several minerals.

Clays are classified by many signs (chemical composition, content of clay substance plasticity, sinterability, refactoriness, etc.), depending on which are elected their application area.

Fig. 3.8 gives as example of possible applications of clay raw materials depending on their chemical composition.

3.16. Склади керамічних сумішей
Compositions of ceramic mixtures

Склади керамічних сумішей визначаються необхідною структурою виробів та їх властивостями.

Коригування необхідних властивостей керамічних мас досягається використанням різних додаткових матеріалів. Наприклад, в сировинні маси, що використовуються у виробництві виробів стінової кераміки, крім основної сировини - глин застосовують добавки, що:

• поліпшують формувальні властивості маси (високопластична глина, поверхнево-активні речовини);

• поліпшують сушильні властивості (шамот, пісок, дегідратована глина, тирса);

• поліпшують умови випалу (золи ТЕС, шлаки, вугілля);

• підвищують міцність і морозостійкість (бій скла, піритні недогарки, залізна руда);

• спеціального призначення - які поліпшують колір виробів, запобігають вицвітанню, нейтралізують шкідливий вплив природних включень, наявних в глинах (барвники, рідке скло, хлористий кальцій та ін.).

Таблиця 3.4

Деякі склади мас (%) для виробництва санітарно-будівельних виробів

Матеріали	Маси		
	Фаянсові	Напівфарфорові	Фарфорові
Глина вогнетривка	25	17...20	13...23
Каолін	30	25...30	27...30
Пегматит	-	15...20	-
Польовий шпат	-	-	18...20
Пісок кварцовий	33	24...26	22...27
Доломіт	-	1	-
Бій готової продукції	12	4...6	8...12
сірчано-кислий обальт*	0,025	0,025	-
Сода*	0,2	0,12	-
Рідке скло*	0,1...0,15	0,2	-

* Кількість добавок вказана понад 100%.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

При отриманні, наприклад, фаянсових і фарфорових будівельних виробів поряд з глинами і каоліном обов'язково застосовують плавні - добавки, що утворюють з глиною при випалюванні легкоплавкі сполуки і сприяють підвищенню ступеня спікання (польовий шпат, пегматит, нефеліновий сієніт та ін.). Деякі склади мас для виробництва санітарно-будівельних виробів наведені в табл.3.4.

Compositions of ceramic mixtures are determined by the required structures of the goods and by their properties. Adjusting of the required properties in the ceramic masses is achieved by using various complementary materials. For example, in the raw masses, used in the manufacture of goods of ceramic wall materials - clays are complemented by supplements:

- improving the molding properties of mass (highly plastic clay, SAS);
- improving drying properties (chamotte, sand, dehydrated clay, sawdust);
- improving conditions of burning (thermal power plants' ash, slag, coal);
- increasing strength and frost-resistance (broken glass, pyrite calcines, iron ore);
- special purpose - to improve the color of goods, to prevent efflorescence, to neutralize the harmful effect of natural inclusions in clays (dyes, sodium silicate, calcium chloride, etc.).

Table 3.4

Some compositions of the masses for the production of sanitary-building products

Materials	Content, % for the mixtures		
	Faience	Semiporcelain	Porcelain
Refractory clay	25	17...20	13...23
Kaolin	30	25...30	27...30
Pegmatite	-	15...20	-
Feldspar	-	-	18...20
Quartz sand	33	24...26	22...27
Dolomite	-	1	-
Debris of finished products	12	4...6	8...12
Cobalt sulphate*	0,025	0,025	-
Soda*	0,2	0,12	-
Liquid glass*	0,1...0,15	0,2	-

* The quantity of specified additives in excess of 100%.

When obtaining, for example, faience and porcelain building products, along with clays and kaolin, fluxes are necessarily applied - additives that form easily fusible compounds with clay during firing and increasing the degree of sintering (feldspar, pegmatite, nepheline syenite, etc.). Some compositions of the masses for the production of sanitary and building goods are in table 3.4.

3.17. Основні способи виробництва керамічних виробів
Main methods of ceramic products manufacture

Розрізняють три основні способи приготування керамічної маси - пластичний, напівсухий та шлікерний.

При *пластичному способі* керамічна маса має вологість 18...23%. Її можна одержати безпосередньо з глини із кар'єрною вологістю, змішуючи з добавками, або з сухих порошків з наступним зволоженням.

При *напівсухому способі* керамічна маса має вологість 8...12%, її отримують, попередньо підсушуючи, подрібнюючи та змішуючи компоненти.

При *шлікерному способі* керамічна маса має вигляд суспензії *(шлікеру*) з вологістю 30...35%.

Пластичний спосіб найефективніший при використанні глин з підвищеною кар'єрною вологістю, які добре розмокають у воді, а напівсухий - при щільній структурі глиняної

Національний університет
водного господарства
та природокористування
сировини та низькій вихідній вологості. Шлікерний спосіб використовують тоді, коли потрібно досягти особливо ретельного змішування вихідних компонентів (фарфоро-фаянсове виробництво, виготовлення облицювальних плиток).

Спосіб формування керамічних виробів залежить від консистенції керамічної маси. З пластичних мас вироби формують на стрічкових пресах, де маса ущільнюється шнековим механізмом і виходить у вигляді стрічки певного перерізу, що розрізається на вироби заданих розмірів. Так отримують звичайну цеглу, порожнисті вироби, труби тощо.

З напівсухих порошкоподібних мас вироби формують на пресах високого тиску (10...30 МПа та більше). При напівсухому пресуванні скорочується сушіння сирця - тривалий та складний процес. З порошкоподібних мас виготовляють стінові керамічні вироби, вогнетриви, різні тонкостінні вироби.

Шлікери використовують для відливання складних за конфігурацією тонкостінних виробів (санітарно-технічна, декоративна, хімічно стійка кераміка тощо). Цей метод формування ґрунтується на властивості гіпсових форм вбирати в себе частину води із залитого в них шлікеру. Відформовані вироби сушать, щоб надати їм потрібної при випалюванні міцності.

Вирішальною стадією технології керамічних виробів, при якій формуються властивості кераміки, є випалювання. Для випалювання виробів кожного виду встановлюють певний температурний режим. На сучасних керамічних підприємствах вироби випалюють у печах циклічної та безперервної дії.

There are three basic methods of preparation of ceramic mixture – soft-mud (plastic), semi-dry and slip.

At *a soft-mud method* ceramic mixture has humidity 18…23%. It can be obtained directly from clay with quarry humidity, mixing up with admixtures, or from dry powders with the next moistening.

At a *semi-dry method* ceramic mixture has humidity of 8…12%, it is obtained by preliminary drying, grinding and mixing up the components.

At a *slip method* ceramic mixture in the form of suspension (slip) with the humidity 30…35% can be used.

A soft-mud method is the most effective at the using of clays with enhanced quarry humidity, which gets wet in water well and semi-dry - at the dense structure of clay raw material and low initial humidity. Slip method is used, when it is needed to attain the especially careful mixing of initial components (porcelain-faience production, production of facings tiles).

A method of forming ceramic products depends on the consistency of the ceramic mass. From plastic masses products are formed in a auger extruder where mass compacted screw mechanism and exits in the form of a specific section of tape that is cut into products specified size. So make ordinary bricks, hollow wares, pipes and so on.

From the semi-dry powder mass products are formed in high pressure presses. At this method are reduced the drying of raw products. From powdery mass are produced wall ceramics, refractories, various thin products.

Slips are used for casting thin configuration of complex products (sanitary, decorative, chemical-resistant ceramics, etc.). This method is based on properties of gypsum molds absorb of the water from slip. Molded products are dried to give them the necessary strength during firing.

The decisive stage technology ceramic products, in which are formed their properties is burning. For each type of burning products is set a certain temperature mode. In today's ceramic plants products are burned in the furnaces of cyclic and continuous action.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

3.18. Стінові керамічні матеріали
Masonry ceramic materials

Серед керамічних виробів найбільш значними для будівництва є *стінові матеріали*. Їх поділяють за видом виробів на цеглу, камені, блоки та панелі; за призначенням - на рядові (для мурування зовнішніх та внутрішніх стін) і лицьові (для облицювання стін будівель та споруд); за способом виготовлення - на вироби пластичного та напівсухого пресування; за теплотехнічними властивостями та густиною - на ефективні з ρ_0<1400 кг/м^3 (для цегли) та ρ_0<1450 кг/м^3 (для каміння); умовно ефективні з середньою густиною відповідно понад 1400 кг/м^3 і 1450...1600 кг/м^3 та звичайні (для цегли) з $\rho_0 \geq$1600 кг/м^3.

Керамічна цегла має форму прямокутного паралелепіпеда і стандартні розміри (рис. 3.9). Цеглу виготовляють повнотілою і з пустотами.

Цегляні стіни будівель з повнотілої цегли середньої густини 1700...1900 кг/м^3 зводять, як правило, у 2,5 цеглини завтовшки. Якщо застосовують пустотілу цеглу з середньою густиною 1300...1450 кг/м^3, то зменшуються товщина стіни на півцеглини, маса на 35%, витрати розчину на 45%. При застосуванні керамічних каменів витрати матеріалів та праці зменшуються на 20...30% порівняно з рядовою керамічною цеглою.

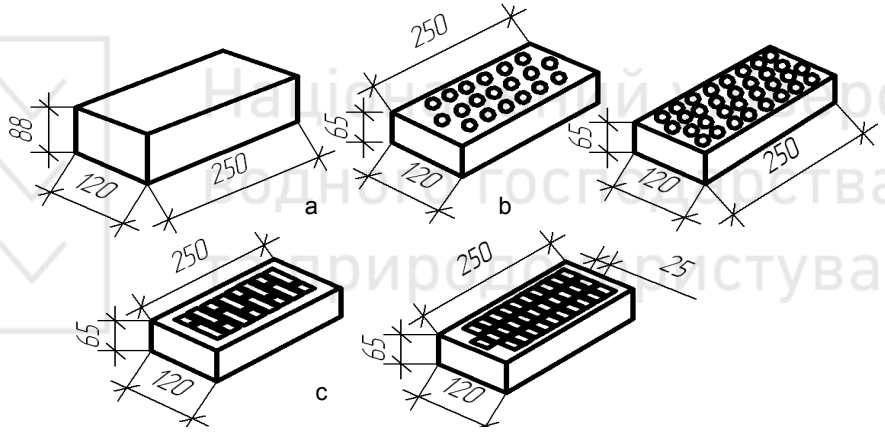

Рис. 3.9. Цегла керамічна: a– повнотіла; b – з круглими пустотами; c – з прямокутними пустотами
Fig. 3.9. Ceramic bricks: a -solid; b– with round hollows; c – with square hollows

За міцністю цеглу поділяють на марки М 75…М 300. Чисельні значення марки відповідають середньому для п'яти зразків значенню границі міцності на стиск (МПа×10). Для кожної марки цегли нормується також границя міцності при згині. Вона коливається, наприклад, для повнотілої цегли пластичного формування у межах 1,8...4,4 МПа.

Водопоглинання повнотілої цегли має бути не менш як 8%, порожнистих виробів не менш як 6%. За морозостійкістю стінові керамічні вироби поділяють на марки: F15, F25, F35, F50.

Для цегли та каменів нормується також ряд інших показників: розмір пустот, відхилення від розмірів, непрямолінійність ребер та граней, кількість відбитих кутів та ребер, кількість тріщин та їх характер.

Керамічні блоки можуть бути повнотілими, пористими або порожнистими. Блоки мають набагато більший діапазон розмірів.

Крупні блоки та панелі (рис.3.10) виготовляють з повнотілої або порожнистої цегли та каменів на спеціальних механізованих установках з заповненням швів цементно-піщаним розчином. Для того, щоб розчин швидко набрав необхідну міцність, блоки пропарюють. Застосування стінових блоків дає змогу зменшити сумарні витрати праці на зведення стін, а також скоротити термін будівництва. Основні недоліки використання крупних блоків - це велика кількість типорозмірів, складність монтажу, збільшення витрат цементу.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

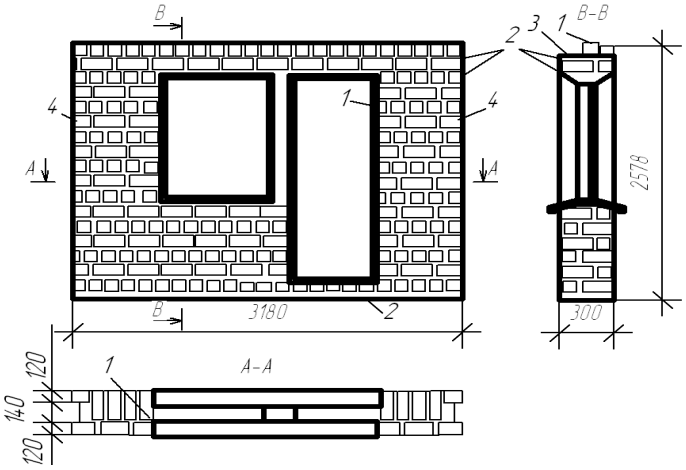

Рис.3.10. Одношарова панель з ефективної цегли або каменів: 1– вертикальний зварний каркас з підйомною петлею; 2– горизонтальний зварний каркас; 3– закладна деталь; 4– паз для шва
Fig. 3.10. One-layer brick panel: 1– vertical welded framework; 2– horizontal welded framework: 3–fixed detail : 4- seam

Masonry materials are the most considerable for construction among ceramic products. They can be divided by the type of products on bricks, blocks and panels; by destination - on ordinary (for building of external and internal walls) and facing (for facing of walls); by the method of manufacture - on the products of the soft-mud and dry pressing; by heat engineering properties and density - on effective ceramics with average density ρ_0 <1400 kg/m^3; conditionally effective - with average density equals 1400…1600 kg/m^3 and ordinary - with average density $\rho_0 \geq 1600$ g/m^3 .

A *ceramic brick* (fig. 3.9) has a form of rectangular parallelepiped and standard sizes. Bricks may be solid or hollow

House walls from the solid brick with density 1700…1900 kg/m^3, have a thickness up to 2.5 bricks. If apply the hollow bricks with density 1300…1450 kg/m^3, thickness of wall is diminished on half-brick, weight on 35%, consumption of mortar on 45%. At application of *ceramic blocks*, consumptions of materials and labour are diminished at 20…30% comparatively with an ordinary ceramic brick.

On the strength the bricks are divided into grades 75…300. The numerical values of the grade is the average for the five samples value of compressive strength (×10MPa). For each grade is standardized and flexural strength. It varies, for example, for solid brick of plastic forming within 1.8 ... 4.4 MPa.

Water absorption of solid bricks should be no less than 8%, hollow bricks no less than 6%. Frost-resistance of bricks in the saturated water state can be in the range of 15…50 cycles of freezing and thawing.

For a bricks and blocks the other indexes are also standardized: size of hollows, deviation from sizes, number of the damaged corners and edges, amount of cracks, etc.

Ceramic stones (blocks) may be solid, cellular or hollow. They have a much greater range of sizes than bricks.

Large blocks and *panels are made* (fig. 3.10.) from bricks and blocks on the plants with filling of seams by cement-sand mortar. In order that mortar hardened quickly, blocks are steamed. Application of wall blocks enables to decrease the total labour consumption on the erection of walls, and also to reduce the construction terms. Basic defects of the of large blocks use are plenty of nominal sizes, complication of installation and increase of cement content.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

3.19. Керамічна черепиця
Ceramics roof tile

Основним керамічним матеріалом для покрівель є *черепиця*, її головна позитивна особливість – висока довговічність. Так, якщо нормативний термін служби рулонних матеріалів становить 15 років, листової сталі – 25, азбестоцементу – 30 років, то черепиці – 80 років. Недоліками черепиці є її велика маса (35...70 кг/м^2), крихкість, необхідність великого нахилу стріхи. Дрібнорозмірність та ручний спосіб укладання черепиці зумовлює велику трудомісткість влаштування черепичної покрівлі. Збільшення випуску індустріальних покрівельних матеріалів привело до зменшення використання черепиці.

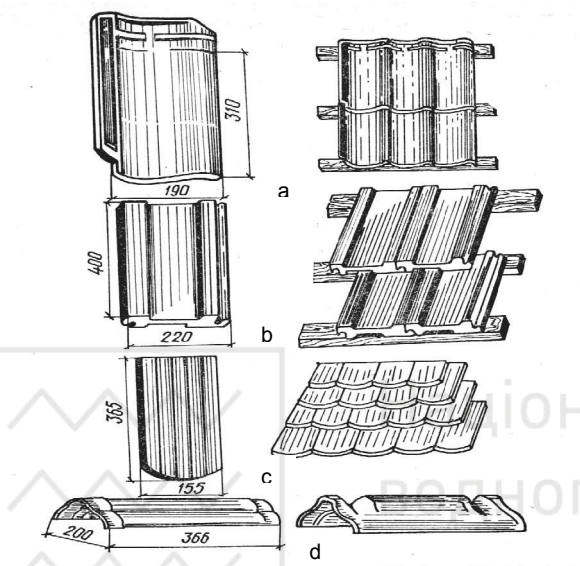

Рис.3.11. Типи черепиці і приклади її укладки на покрівлю: а– штампована пазова; б– стрічкова пазова; с– стрічкова плоска; d– конькова
Fig. 3.11. The variety of roof tiles. Types of roof tiles and examples of its laying on the roof: a- grooving stamped; b - grooving band; c- flat tape; d - ridge

Випускають пазову штамповану і стрічкову, плоску стрічкову та конькову черепицю (рис.3.11). Найпоширеніша пазова стрічкова черепиця завдовжки 400 мм, завширшки 220, 200 та 165 мм.

Черепиця має витримувати руйнівне навантаження 800...1400 Н, її морозостійкість становить не менше ніж 25 циклів.

Basic ceramic material for roofs is a *roof tile*; its main positive features are high strength and longevity. So, if the normative term of service of roll materials is 15 years, steel sheet 25, asbestos cement - 30 years, tiles - 80 years. The lacks of roof tile are its large weight (35…70 kg/m^2), fragility, necessity in large inclination of roof. Small-size and hand method of layering of tile predetermines large labor intensiveness of arranging of tiling. Due to the increasing of issue of industrial roofing materials, application of roof tiles is diminished.

Producing grooves stamped and tape, ribbon ridge tiles (fig.3.11). The most common is a grooving tape tile length 400 mm, width 220, 200 and 165 mm.

A roof tiles have to maintain the destructive loading 800…1400 N, its frost-resistance should be not less than 25 cycles of freezing and thawing.

3.20. Облицювальні керамічні вироби
Facings ceramics products

Найбільш ефективними виробами для облицювання фасадів є *лицьові керамічна цегла* та *камені*, які виконують водночас функції стінових та облицювальних матеріалів. Їх випускають суцільними та порожнистими тих самих марок, що й звичайні стінові матеріали. Для виготовлення лицьових виробів використовують білі або звичайні глини. Водопоглинання виробів з білих глин становить 6... 12%, із звичайних - не більше ніж 14%.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

При виробництві лицьової цегли та каменів ставлять додаткові вимоги до однорідності сировини, рівності кольору випалених виробів, правильності їхньої форми.

Поряд з одношаровою виготовляють двошарову цеглу, що має лицьовий шар завтовшки 3...5 мм. Декоративну лицьову поверхню цегли та каменів з білих та кольорових глин одержують ангобуванням або глазуруванням. Глазур на відміну від ангобів під час випалювання плавиться і утворює блискучий склоподібний шар. Ангобована поверхня - матова.

Фасадні плитки залежно від розмірів поділяють на велико- та дрібнорозмірні, від способів кріплення - на закладні, які встановлюють одночасно з муруванням стін, та приставні, які встановлюють на розчині після зведення стін.

Плитки випускають багатьох типорозмірів. Освоєно виробництво великорозмірних плиток квадратної та прямокутної форми. Лицьова поверхня плиток може бути гладенькою, шорсткою або рифленою, одно- та багатоколірною, з декоративним малюнком, глазурованою та неглазурованою. Морозостійкість плиток становить на менш як 50 циклів, водопоглинання - не більше ніж 4%.

За координаційними розмірами (координаційний розмір – це сумарна величина номінального розміру плитки і ширини розчинового шва, який зазвичай становить 4…8 мм) плитки виготовляють від 50х50 мм до 300х150 мм завтовшки 7 і 9 мм.

Дрібнорозмірні фасадні плитки наклеюють лицьовим боком на папір і постачають на об’єкти у вигляді килимів, розміри яких мають бути прив'язані до розмірів конструкцій, що облицьовуються.

Плитки для внутрішнього облицювання випускають квадратними (100×100, 150×150 та 200×200 мм), прямокутними (150×25, 150×75, 150×100, 200×100 та 200×150 мм) та фасонними (для кутів облицювання, карнизів і плінтусів). Найпоширеніші плитки з фаянсових мас, покриті прозорою або непрозорою ("глухою") глазур’ю. Плитки для внутрішнього облицювання застосовують у житлових і громадських будівлях та промислових спорудах з великою вологістю або з підвищеними санітарно-гігієнічними вимогами.

Плитки для підлоги (метлахські) повинні мати високу щільність, міцність, підвищений опір щодо стирання. Для їх виробництва використовують глину, що добре спікається з добавками плавнів і пігментів. Водопоглинання неглазурованих плиток має бути не більше ніж 3,5%, глазурованих - 4,5%, втрата маси при стиранні не більше як 0,06 г/см^2. Плитки для підлоги за формою бувають квадратними, прямокутними, три-, п'яти-, шести-, восьмигранними та фігурними. Лицьова поверхня плиток може бути гладенькою, рифленою, тисненою та багатоколірною, візерунчастою, мармуроподібною.

The most effective materials for facing of facades are *face ceramic bricks and blocks*, which execute the functions of masonry and facing materials at the same time. They are produced solid, perforated, cellular and hollow with the same strength as the ordinary masonry materials. White or ordinary clays are used for facing products making. Water absorption of products from white clay is 6…12%; from ordinary clay is no more than 14%. There are additional requirements in relation to homogeneity of raw material and color for the fired products.

Besides the one-layered a double-layered bricks are produced. They have facing layers in thick 3…5 mm. Decorative facing surface of bricks and blocks is obtained by engobe coating or glazing. A glaze unlike engobe during a firing melts and forms a brilliant glassy layer. Engobed surface is dull.

Facade tiles depending on sizes are divided into large- and fine-size, on the methods of fixing - embedded, which are set simultaneously with construction of walls and attached, which are set on mortar after the building of walls.

Tiles are produced of many nominal sizes. The large-size tiles of square and rectangular forms can be manufactured. A facing surface of tiles can be smooth and shiny, rough or fluted,

Національний університет
водного господарства
та природокористування

one- and multicolored, with a pattern, glazed and unglazed. The frost-resistance of tiles can achieved 50 cycles of freezing and thawing, water absorption - up to 4%.

By coordinating sizes (a coordinating size includes a nominal size of tile and width of mortar seam which are 4…8 mm) tiles can be from 50x50 mm to 300x150 mm (thickness 7 or 9 mm). Fine-size tiles can be supplied also in carpets. In this case they are glued by a facing side on a paper. The sizes of carpets should be related to the sizes of constructions which are faced.

Tiles for internal facing are produced square (100× 100, 150×150 and 200×200 mm, etc), rectangular (150×25, 150×75, 150×100, 200×100 and 200×150 mm, etc) and shaped (for the corners of facing, cornices and plinths). Most widespread tiles are covered by transparent or opaque glaze. Tiles for internal facing are applied in dwelling houses, public-service centers and industrial buildings with large humidity or with enhanced hygiene and sanitary requirements.

Floor tile should have a high density, strength, abrasion resistance. The clays which are well sintering with admixtures of fluxing agents and pigments are used for their production.

Water absorption of the unglazed tiles should be no more than 3.5%, glazed – 4.5%, loss of weight at abrasion no more than 0.06 g/sm^2. Tiles for a floor by a form are square, rectangular, three-, five-, six-, octahedral and figured. A facing surface of tiles can be smooth and shiny, fluted, stamped and multicolored, figured, marble-like.

3.21. Керамічні труби
Ceramic pipes

Дренажні труби застосовують для зведення закритих дренажних систем. Вони можуть мати циліндричну, шести- або восьмигранну форму і різні внутрішні діаметри. Довжина труб – 333...500 мм. Випускають також труби з шести- і восьмигранними зовнішніми поверхнями.

Дренажні труби випускають неглазурованими, з гладенькою внутрішньою поверхнею, водопоглинанням 12...18% та морозостійкістю не менше ніж 15 циклів. Під час випробування труби мають витримувати гідравлічний тиск не нижче ніж 0,05 МПа та руйнівне зусилля не менш як 1,5...2,0 МПа.

Ефективність дренажної труби визначається кількістю води, що відводиться нею за одиницю часу.

На відміну від дренажних *каналізаційні труби* належать до щільної зпеченої кераміки. Їх випускають у вигляді порожнистих циліндрів з розтрубом, внутрішнім діаметром 125...600 мм та завдовжки 300...1200 мм. Для підвищення водонепроникності та хімічної стійкості, а також зменшення опору протіканню рідин каналізаційні труби покривають ззовні та зсередини глазур'ю.

Основні якісні показники каналізаційних труб: допустиме зовнішнє навантаження 2...3·10^4 Н/ м; гідравлічний тиск не менше ніж 0,2 МПа; водопоглинання – не менше 9…11%; кислотостійкість не менше як 90%.

Drain-pipes are applied for arranging of the closed drainage-systems. Drain-pipes can be cylinder, six- and octahedral forms with different internal diameters. Length of the drain-pipe - 333...500 mm.

Drain-pipes are produced unglazed with smooth internal surface, water absorption 12…18% and frost-resistance not less than 15 cycles. During a test pipes should maintain hydraulic pressure not less than 0.05 MPa and destructive load not less as 1.5…2.0 MPa.

Efficiency of drain-pipe is determined by the amount of water, which is taken by it for time unit.

Unlike drain-pipes, *sewage-pipes* belong to the dense sintered ceramics. They are produced as hollow cylinders with a bell internal diameter 125…600 mm and length 300…1200 mm. For the

Національний університет
водного господарства
та природокористування
increase of watertightness and chemical resistance, and also diminishing of resistance flowing of liquids sewage-pipes are covered from outside and from within by a glaze.

Basic quality indexes of sewage-pipes are following: possible external loading $2…3\cdot10^4$ N/m; hydraulic pressure not less than 0.2 MPa, water absorption not less than 9…11%; acid resistance not less than 90%.

3.22. Вогнетривка та кислототривка кераміка
Refractory and acid-proof ceramics

Для *вогнетривких матеріалів* вогнетривкість становить 1580...1770°С, високовогнетривких – 1770...2000°С, найвищої вогнетривкості – понад 2000°С. Вимірюють вогнетривкість за температурою розм'якшення спеціально виготовлених з керамічної маси піроскопів, що мають форму трикутної зрізаної піраміди, а також за допомогою оптичних і електричних пірометрів.

Характерними вогнетривкими матеріалами є динасові, кварцові та шамотні вогнетриви. Вони відрізняються вихідною сировиною та способом виготовлення. *Динасові вогнетриви* отримують випалом кварцових порід, як правило на вапняній, а *напівкислі* - на глиняній зв'язці. *Кварцові вогнетриви* виготовляють плавленням природного кварцу, *шамотні* - випалом вогнетривких глин.

Особливостями динасових вогнетривів є низькі термостійкість і стійкість проти дії більшості шлаків. Для футерування топок їх не використовують, а застосовують для спорудження скловарних, сталеплавильних, коксових та інших печей.

З високовогнетривких матеріалів найширше застосовують глиноземисті, доломітові, хромітові, карборундові вогнетриви; вищої вогнетривкості - магнезитові, хромомагнезитові, цирконієві, графітові. Найвищу вогнетривкість та інші цінні властивості мають вогнетриви з чистих оксидів, а також некисневих сполук - нітридів, боридів, карбідів, силіцидів тощо.

Вогнетривкі керамічні матеріали виготовляють у вигляді виробів різної форми та розмірів.

Для захисту будівельних конструкцій та апаратів, що працюють в умовах кислих агресивних середовищ, зокрема при футеруванні димових труб, використовують *кислототривку цеглу*. Її виготовляють прямокутною, радіальною та фасонною з пластичних тугоплавких або вогнетривких глин відповідного хімічного складу, що не містять домішок гіпсу, сірчаного колчедану та карбонатів.

For refractory materials refractoriness should be 1580…1770°C; high refractory – 1770…2000°C; the highest refractory – over 2000°C. Refractoriness is measured accordingly to the softening temperature of the pyroscopes, specially made from ceramic mixture, which have a form of the three-cornered cut away pyramid, and also by optical and electric pyrometers.

Typical refractories are dinas, quartz and chamotte ones. They differ by a raw materials and methods of making. *Dinas refractories* are obtained by the firing of quartz materials, as a rule, at a lime and *semi-acid* on a clay binder. *Quartz refractories* are made by melting of natural quartz, *chamotte* – by the firing of refractory clays.

Features of dinas refractories are a low heat resistance and durability against the action of most slags. They are not used for the lining of stokers; and are applied for construction of glass-work, steel-smelting, coke and other furnaces.

Among the refractory materials alumina, dolomite, chromic, carborundum refractories are applied the widest; high refractory – magnesite, chromic-magnesite, zirconium, graphite are used. Products from clean oxides and unoxygen compounds – nitrids, borids, carbides, silicides, etc have a highest refractoriness and other valuable properties.

Ceramic refractories are made as a bricks of different forms and sizes.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

For protection of building constructions and equipment, which work under the conditions of acid aggressive environments, in particularly at the lining of chimneys, an *acid-proof brick* is used. It is made rectangular, radial and shaped from plastic refractory clays of the proper chemical composition, which do not contain the impurities of gypsum, sulphuric pyrites, and carbonates.

3.23. Скло і склокристалічні матеріали. Загальні відомості
Glass and glass-ceramic materials. Overview

До *стекол* належать тверді некристалічні речовини, які утворюються в результаті охолодження розплавів водних розчинів солей, полімерів та ін. за достатніх для запобігання кристалізації умов. Будівельне скло отримують із силікатних розплавів, здатних при швидкому охолодженні переходити в склоподібний стан. Склокристалічні матеріали складаються з кристалічних фаз, рівномірно розподілених у склі.

Основною продукцією промисловості є листове скло: неполіроване, полірованe, багатошарове, гартоване тощо. Останніми роками значно розширено асортимент і освоєно випуск ряду нових виробів із скла, зокрема кольорового, армованого, профільного, вітринного. Збільшення площі світлових отворів обумовило збільшення випуску віконного скла завтовшки 3...4 мм. Широко використовуються різноманітні вироби архітектурно-будівельного призначення: скляні блоки, склопрофіліт, склопакети. Їх застосовують як ефективні світлопроникні матеріали для зовнішніх та внутрішніх огорож у житлових, громадських і промислових будівлях.

Для облицювання будівель призначені, скляні килимово-мозаїчні плитки, марбліт - кольорові плитки із непрозорої скломаси, стемаліт - листове скло, покрите з одного боку керамічними фарбами, візерункове кольорове скло.

Поширені скляні труби, скловолокнисті гідро- та теплоізоляційні матеріали.

Розвивається виробництво листового та пресованого склокристалічного матеріалу - *шлакоситалу*. Невелика вартість вихідної сировини та високомеханізована технологія отримання шлакоситалу разом з високими експлуатаційними якостями сприяє тому, що цей матеріал стає одним з найбільш ефективних будівельних матеріалів.

До прогресивних композиційних матеріалів належать скло з напиленою на його поверхню тонкою прозорою металевою або пластмасовою плівкою; листові стекла, склеєні прозорими синтетичними плівками. Налагоджено виробництво профільного скла коробчастого перерізу, кольорового армованого скла, скла з вибірковим світлопропусканням для всіх діапазонів довжин хвиль, кольорового прокатного скла та інших нових перспективних для будівництва скляних виробів.

Близькими до скла за складом та структурою матеріалами, що наносяться тонким шаром на поверхню металевих та керамічних виробів, є *емалі та глазурі*. Вони призначені для надання виробам декоративності, захисту їх від корозії, поліпшення механічної та діелектричної міцності.

Glass include solid non-crystal substances formed by cooling liquids under conditions sufficient to prevent their crystallization. Liquids can be fusions, aqueous solutions of salts, polymers, etc.

Construction glass is obtained from cilicate melts capable to transper at rapid cooling into glass state. *Glass-crystalline materials* – sitalls are composed of crystalline phases, evenly distributed in the glass.

The basic products of industry are sheet glass as: unpolished, polished, multi-layered, tempered, etc. Last years an assortment of glass products is considerably extended and mastered a number of new products from glass, particularly colored, reinforced, structural profile and plate. The increase in production of windowpane 3...4 mm in thick was caused by the increase of area of the light openings. The various products of the architectural construction assignment are widely

Національний університет
водного господарства
та природокористування

used: glass blocks, structural glass, glass packs. They are applied as effective translucent materials for external and internal enclosing structures in housings, civil and industrial buildings.

The glass carpet tessellated tiles, marbled glass - coloured tiles from opaque glass mass, sheet glass coated by ceramic paints on one side, patterned stained glass are assigned for revetment of buildings.

Glass pipes, glass-fiber waterproofed and heat-insulating materials are widespread.

The production of sheet and pressed glass crystalline material - slagceram is developed. The small cost of raw materials and highly-mechanized technology of production of slagceram along with high operating qualities promotes this material to become one of the most effective construction materials.

Glass with overcoated on its surface thin transparent metallic or plastic film; sheet glasses, agglutinate transparent synthetic films belong to progressive composition materials. The production of structural profile glass box-like section, stained reinforced glass, glass with selective light penetration for all ranges of waves' lengths, stained rolled glass and other new perspective construction glass products is advanced.

Enamels and *glazes* are similar to glass by composition and materials structure, which are sheeted by thin layer on the surface of metallic and ceramic products. They are intended for a giving to the products decorativeness, protection of them against corrosion, improvement of other properties.

3.24. Склоподібний стан
Glass state

Під *склоподібним станом* розуміють твердий метастабільний стан речовини, в якому немає кристалічної решітки, а ознаки кристалізації спостерігаються лише для "ближнього порядку". Склоподібний стан займає проміжне положення між кристалічним і рідким. В даний час відомий ряд гіпотез, які пояснюють склоподібний стан речовини. Найбільше визнання отримали кристалітна гіпотеза і гіпотеза безперервної невпорядкованої сітки.

Кристалітна гіпотеза була сформульована А. Лебедєвим в 1921 р. До неї існували уявлення про скло як про повністю аморфну переохолоджену рідину. Відповідно до цієї гіпотези, скло має впорядковані області субмікронних розмірів - *кристалітів*. Кристаліти складені з тетраедрів [SiO_4] і поліедрів [MeO_n], їх розміри знаходяться в межах $(15...25)\cdot10^{-10}$м. Вони можуть збільшуватися у відповідних температурних умовах і кристалізуватися. Аморфні прошарки зв'язують кристаліти в єдине ціле. Гіпотеза Лебедєва отримала свій розвиток в роботах багатьох учених.

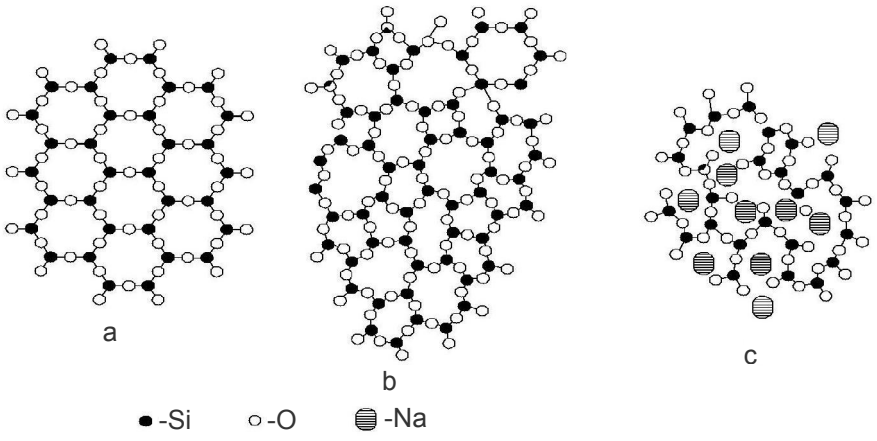

Рис.3.12. Схеми структурних решіток кристалічного кремнезему (a), кварцового (b), та натрій-силікатного (c) скла (за Захаріасеном)
Fig. 3.12. Shemes of structural: lattices of crystalline silica (a), quartz (b) и sodium-silicate (c) glasses (by Zachariasen)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Автор *гіпотези безперервної невпорядкованої сітки* - американський дослідник - В.Х. Захаріасен висунув її в 1932 році. Він розглядав скло як суцільну атомну тривимірну сітку, позбавлену симетрії і періодичності (рис.3.12). Ця сітка, за Захаріасеном, являє собою нескінченно велику елементарну комірку, у вузлах якої розташовані атоми або іони.

Гіпотеза В.Х.Захаріасена виявилася не в змозі пояснити багато експериментальних фактів, встановлених пізніше.

Поряд з зазначеними основними гіпотезами запропоновані агрегативна, полімерна, полімерно-кристалічна та інші гіпотези склоподібного стану.

Glass state is a solid metastable state of a substance that has no crystal lattice and the elements of crystallization are observed only for the "close order". Glass state occupies an intermediate position between the crystalline and the liquid state. Now there are a number of hypotheses that explain the glass state of a matter. The greatest recognition achieved crystallite hypothesis and the hypothesis of continuous random grid.

A. Lebedev formulated *crystallite hypothesis* in 1921. There were ideas about glass as a completely amorphous super cooled liquid before it. According to this hypothesis, glass possesses ordered fields of sub-micron sizes - *crystallites*. Crystallites are made of [SiO_4] tetrahedra and [MeO_n] polyhedra, their dimensions are within $(15...25)\cdot10^{-10}$ m. They can grow under suitable temperature conditions and crystallize. Amorphous layers bind the crystals together in one whole. Lebedev hypothesis was developed in the works of many scientists.

The author of *hypothesis of continuous random grid* - american scientist W. Zachariasen - proposed it in 1932. He considered the glass as a continuous three-dimensional atomic grid, devoid of symmetry and periodicity (fig.3.12). This grid, by Zachariasen, is an infinitely large unit cell with atoms or ions in the nodes.

W. Zachariasen hypothesis failed to explain many of the experimental facts, found later.

Along with the main hypotheses discussed above were proposed aggregative, polymer, polymer-crystallite and others hypotheses of glass state.

3.25. Склад будівельного скла
Composition of building glass

У будівництві застосовують в основному силікатні стекла. Хімічний склад будівельного скла знаходиться в межах (%): SiO_2 – 71,5...72,5, Al_2O_3 – 1,5...2, Na_2O – 13...15, CaO – 6,5...9, MqO – 3,8...4,3. Для регулювання технологічних і будівельних властивостей скла в його склад вводять і інші оксиди.

Основний компонент скла - кремнезем вводиться в скляну шихту з кварцовим піском, меленим кварцитом або піщаником. Глинозем вводиться з польовим шпатом, каоліном, оксид натрію – з содою і сульфатом натрію, а оксид калію – з поташем і калієвою селітрою. Оксид натрію прискорює процес склоутворення, знижуючи температуру плавлення і полегшуючи освітлення скломаси, але підвищує коефіцієнт теплового розширення і зменшує хімічну стійкість. Оксид калію знижує схильність скла до кристалізації, надає йому блиск і покращує світлопропускання. Оксиди кальцію і магнію забезпечуються в скляній шихті різними різновидами природних карбонатів кальцію і магнію. Ці оксиди підвищують хімічну стійкість скла, а MgO – знижує також схильність скла до кристалізації.

Борний ангідрид в шихту вводиться з бурою і борною кислотою.

Він збільшує швидкість варіння, сприяє освітленню скла, підвищує термічну та хімічну стійкість, зменшує схильність до кристалізації і знижує коефіцієнт термічного розширення.

Основна вимога до всіх видів вихідної сировини для виготовлення скла – відсутність домішок і однорідність за змістом основного оксиду.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Поряд з основними в скляну шихту вводяться різні допоміжні сировинні матеріали: освітлювачі, глушники, барвники та інші.

In the construction mostly silicate glasses are used. Chemical composition of construction glass is within (%): SiO_2 – 71,5...72,5, Al_2O_3 – 1,5...2, Na_2O – 13...15, CaO – 6,5...9, MqO – 3,8...4,3. Other oxides are added into the composition of glass for regulation of technological and engineering properties.

The main component of glass-silica – is entered into the glass mixture with quartz sand, sandstone or ground quartzite. Alumina is introduced with feldspar, kaolin, sodium oxide -soda and sodium sulfate, and potassium oxide with of potash and potassium nitrate. Sodium oxide accelerates the process of glass formation, lowering the melting temperature and facilitating lightening of the glass mass, but it increases the coefficient of thermal expansion and reduces chemical resistance. Potassium oxide reduces the tendency of glass to crystallization, gives it a luster and improves light transmission. Calcium and magnesium oxides are provided in the glass mixture by different variants of natural carbonates of calcium and magnesium. These oxides enhance the chemical resistance of glass, and MgO also reduces the tendency of glass to crystallize.

Boric anhydride is added to the glass mass with borax and boric acid. It increases the speed of cooking, helps to lighten the glass, enhances thermal and chemical resistance, reduces the tendency for crystallization and lowers the coefficient of thermal expansion.

The main requirement to all types of raw material for glass producing is the absence of impurities and uniformity in the content of basic oxide.

Along with the main materials, various auxiliary raw materials are added to the glass mass: clarifiers, mufflers, dyes and others.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

3.26. Властивості скла
Properties of glass

Для звичайного будівельного скла *коефіцієнт заломлення*, тобто відношення швидкості поширення світла у вакуумі до швидкості поширення світла у склі, становить 1,52...1,53. Залежно від хімічного складу, структури скла, характеру його поверхні коефіцієнт заломлення коливається від 1,47 до 2,05. *Світлопропускання* звичайного віконного скла 83...90%. Здатність скла пропускати світлові промені характеризується відношенням кількості світлової енергії, що проходить скрізь скло, до повної його світлової енергії.

Міцність скла неоднакова при різних видах навантаження – при згині та розтягу міцність у 7…10 разів менша, ніж при стиску. Звичайне скло погано чинить опір удару, міцність його при ударному згині становить всього 0,15...0,20 МПа. Введення оксидів магнію, кремнезему, заліза збільшує опір удару на 5...20%, введення борного ангідриду - на 50%.

Крихкість – головний недолік скла, вона зумовлена високим відношенням модуля пружності до границі міцності при розтягу, а також відсутністю пластичної деформації скла перед розтріскуванням та високою швидкістю поширення тріщин. Крихкість скла зменшується, якщо збільшується вміст B_2O_3, SiO_2, Al_2O_3, а також при термічній обробці.

Скло має порівняно малу *теплопровідність* [λ=0,4...0,8 Вт/(м·К)], температурний коефіцієнт лінійного розширення коливається від $5 \cdot 10^{-7}$ до $20 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}, він зменшується при введенні до складу скла SiO_2, AI_2O_3, MgO і підвищується за рахунок лужних оксидів.

Скло більш стійке до дії різкого нагрівання, ніж різкого охолодження, оскільки у його поверхневих шарах при нагріванні утворюються напруження стиску, а при охолодженні - розтягу. Найбільш термостійке – кварцове скло витримує при охолодженні перепад температур до 1000°С, низьколужне боросилікатне скло – 150...300°С, звичайне будівельне скло 80...100°С.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Скло характеризується високою стійкістю до дії кислот (крім плавикової та фосфорної), нейтральних та кислих солей. *Хімічна стійкість* скла у 10...20 разів знижується під дією розчинів лугів, фосфатів, фосфорної і особливо плавикової кислоти. Хімічна корозія скла різко посилюється у разі підвищення температури та тиску.

Застосовують ряд методів покращення механічних та інших властивостей скла: закалювання на повітрі і в спеціальних рідких середовищах, травлення в плавиковій кислоті, іонний обмін, кристалізація поверхневого шару, армування, покриття плівками та інш.

For ordinary construction glass the *refraction coefficient*, that is ratio of speed of light transmission in vacuum to speed of light transmission in glass, is 1.52...1.53. Depending on chemical composition, structure of glass, character of its surface, refraction coefficient hesitates from 1.47 up to 2.05. Optical transmission of ordinary window-pane is 83...90%. Ability of glass of light passing is characterized by the ratio between amount of light energy which passes through the glass and total light energy.

Strength of glass is not equal at the different types of loading - at bending and tensile strength in 7...10 times less than at compression. Ordinary glass has poor impact resistance, its strength at impact bend is only 0.15...0.20 MPa. The additive of oxides of magnesium, silica, iron increases the impact resistance at 5...20%, adding of boric anhydride - at 50%.

Fragility - main failure of glass, it is predefined by high relation of the modulus of elasticity to the value of tensile strength, and also by absence of plastic deformation of glass before bursting and high rate of cracks spreading. Fragility of glass diminishes, if content of B_2O_3, SiO_2, Al_2O_3 is increased and also at heat treatment.

Glass has comparatively low *thermal conductivity* [λ=0,4...0,8W/(m•K)], the temperature coefficient of linear expansion hesitates from $5 \cdot 10^{-7}$ to $20 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}, it diminishes at addition into the composition of glass SiO_2, AI_2O_3, MgO and rises due to alkaline oxides.

Glass is more proof to the action of the sharp heating, than sharp cooling, because in its superficial layers compression strains appear at heating, and at cooling – tensile strains. The most heat-resistant - quartz glass stands at cooling the overfall of temperatures to 1000°C, low alkaline borosilicate glass – 150...300°C, ordinary structural glass - 80...100 °C.

Glass is characterized by high firmness to the action of acids (except for hydrofluoric and phosphoric), neutral and acid salts. *Chemical firmness* of glass in 10...20 times goes down under the action of solutions of alkalis, phosphates, phosphoric and especially hydrofluoric acid. Chemical corrosion of glass sharply increases in the case of increase of temperature and pressure.

3.27. Технологія виготовлення скла
Technology of glass manufacture

Сировинні матеріали, призначені для виготовлення скляної шихти, піддають попередній підготовці. Піски, що містять підвищену кількість оксидів заліза, збагачують промиванням у гідроциклонах або іншими методами. Висушені та подрібнені компоненти шихти ретельно змішують. Аби запобігти розшаруванню шихту брикетують або гранулюють і подають до скловарних печей. Варять будівельне скло у ванних печах безперервної дії. У басейнах таких печей може міститися понад 2 тис. т скломаси. У ванних печах матеріал безперервно пересувається від завантажувального отвору печі до вихідного; потрапляє у зони з різною температурою і перетворюється на готову скломасу. Процес скловаріння складається з п'яти основних стадій: силікатоутворення, склоутворення, освітлення, гомоненізації та охолодження до потрібної в'язкості.

Скломаса виготовляється різними способами залежно від виду виробів. *Листове скло* вертикального витягування отримують вертикальним витягуванням на машинах ВВС (рис. 3.13), прокатуванням на шарі розплавленого металу. Останній, так званий *флюат-спосіб*, є найбільш прогресивним способом виробництва полірованого скла. Суть його полягає в тому,

що скломаса безперервно зливається з басейну скловарної печі на поверхню розплавленого металу, розтікається по ній шаром рівномірної товщини та перетворюється у стрічку скла з полірованою поверх-нею.

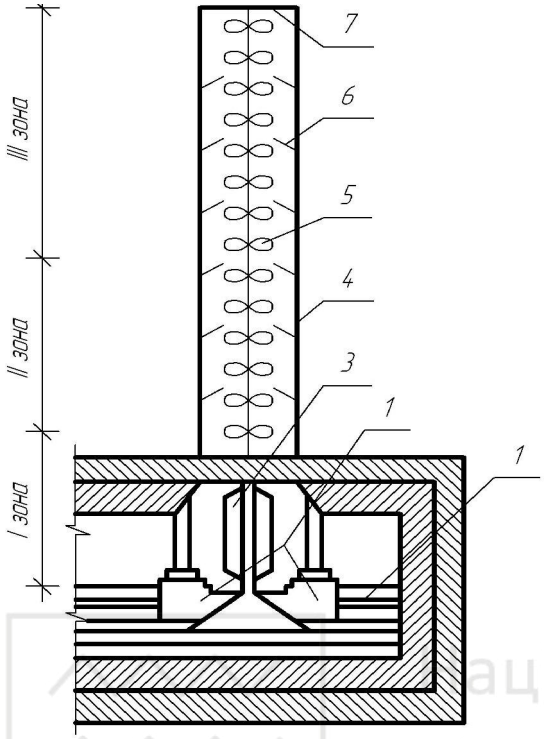

Рис.3.13. Машина вертикального витягування скла: 1- скломаса; 2- човник; 3- холодильники; 4- шахта машини; 5- валки; 6- пристрої для видалення бою; 7- відломочна площадка.
Fig. 3.13. Vertical drawing machine for making glass: 1- glass mass; 2- gripper for glass mass; 3- refrigerators; 4- mine of machine; 5- rollers; 6- devices for the delete of cullet; 7- breakage area.

Скляні блоки виготовляють пресуванням окремих напівблоків з наступним зварюван-ням їх на спеціальних зварних автоматах.

При отриманні *склопрофіліту* скляну стрічку, виготовлену безперервним горизонтальним прокатуванням, протягують скрізь формувальний пристрій для отримання потрібного швелерного або коробчатого перерізу.

Скляні труби отримують на потокових лініях горизонтального або вертикального витягування.

Скляні волокна утворюються у вигляді ниток з розплавленої скломаси, які витягуються крізь спеціальні філь'єри та намотуються на барабан, що швидко обертається.

При охолодженні скла внаслідок перепаду температури між поверхневими та внутрішніми шарами утворюються залишкові напруження, які усувають або послабляють за допомогою спеціальної термічної обробки виробів.

Raw materials, applicable to glass mass, are processed to previous preparation. Sands, which contain the enhanceable amount of iron oxides, are enriched by washing in hydrocyclones or other methods. Dried up and the ground up components of batch are mixed up carefully. To prevent demixing, a batch is briquetted or granulated. Melting of building glass can be done in the bath-type furnace of continuous action. It is possible to contain over 2000 tons of glass mass in such bath-type furnace. In bath-type furnaces material continuously move from the loading opening of furnace to the unloading opening, gets in the areas of different temperature and transform into prepared glass mass. The process of glass melting consists of five basic stages: silicates formation, glass formation, degassing, homogenization and cooling for required viscosity.

Glass mass can be produced in different ways depending on the type of products. *Sheet glass* is obtained by the vertical drawing out on special machines (fig. 3.13), and rolling on the layer of molten metal. The last one, so-called *fluate-method* is the most progressive method of production of the polished glass. Its essence is contained in continuous merging of glass mass from the reservoir of glass-melting furnace on the surface of molten metal, spreadind on it like layer of even thickness and transforms into the tape of glass with the polished surface.

Glass blocks are produced by pressing of separate semi-blocks with the their following welding by the special welding automats.

At the production of *structural glass* tape, which is made by the continuous horizontal rolling, is stretched out through a forming device for a making of required channel or box-type section.

Glass pipes are produced on the production lines of the horizontal or vertical drawing.

Національний університет водного господарства та природокористування

Glass fibers are manufactured as filaments from molten glass mass, which stretch through special bushings and winded on a reel, which is quickly revolved.

During cooling of glass as a result of overfall of temperature residual strains are appeared between superficial and internal layers, which can be removed or weakened by special heat treatment of products.

3.28. Листове скло та склопакети
Sheet glass and glass packs

Асортимент листового скла різноманітний (табл.3.5): дзеркальне віконне та вітринне, візерунчасте і армоване, із спеціальними властивостями, що пропускає та поглинає ультрофіолетові промені, з напівпрозорим дзеркальним покриттям, що поглинає чи відбиває тепло, електропровідне, загартоване.

Таблиця 3.5

Основні марки і види листового скла

Товщина, мм	Вид скла	Рекомендована галузь застосування
2…6	Дзеркальне поліпшене	Виготовлення високоякісних дзеркал, вітрових стекол легкових автомобілів
2…6	Дзеркальне	Виготовлення дзеркал загального призначення, безпечних стекол транспортних засобів
2…6	Технічне поліроване	Виготовлення декоративних дзеркал, безпечних стекол транспортних засобів
2…6	Віконне поліроване	Високоякісне скління світлопрозорих конструкцій
2…6	Віконне неполіроване	Скління світлопрозорих конструкцій, безпечних стекол для сільськогосподарських машин
6,5…12	Вітринне поліроване	Високоякісне скління вітрин, вітражів
6,5…12	Вітринне неполіроване	Скління вітрин, вітражів, кіхборів

Листове скло має високий коефіцієнт світло пропускання та широкий діапазон значень лінійних розмірів і товщини.

Віконне скло поділяють на сорти залежно від наявності дефектів: смугастості, звилин, бульбашок, інших включень та подряпин.

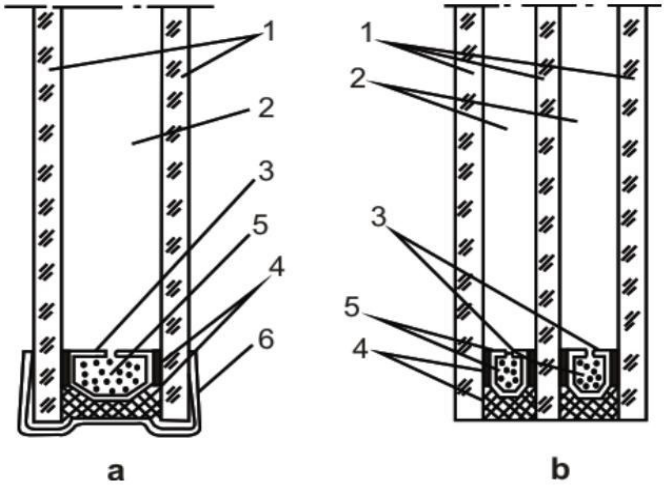

Рис. 3.14. Конструкції склопакетів: a- двошарових (однокамерних); b - тришарових (двокамерних): 1 - скло; 2 - повітряний прошарок; 3 - металева рама; 4 - герметик; 5 – осушувач; 6 – обкантовка.
Fig. 3.14. Constructions of glass packs: a- double-layer (single chamber); b - three- layer (double chamber): 1 - glass; 2 - air space; 3 - metal frame; 4 - pressurizer;5 - desiccant; 6- edging.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Для скління великих поверхонь будівель використовують великорозмірне *вітринне скло*, що випускають неполірованим та полірованим, щоб уникнути оптичних спотворень.

Для запобігання від запотівання та замерзання скла, а також для скорочення витрат праці та використання індустріальних методів при склінні віконних прорізів та вітрин застосовують *склопакети*. Вони складаються з двох або декількох плоских стекол, з'єднаних між собою зварюванням або склеюванням так, що між ними утворюється замкнений простір 15...20 мм, заповненим сухим повітрям (рис.3.14). У разі використання склопакетів немає потреби у подвійних рамах, при влаштуванні віконних блоків поліпшується тепло- та звукоізоляція.

The range of sheet glass is various (table 3.5): mirror, window and plate glass, figured and reinforced, with the special properties, that skips and takes of ultraviolet rays, with semi-transparent mirror coverage, which absorbs or reflects warmth, electrically conductive, treated by hardening.

Table 3.5

Basic types of sheet glass

Type of glass	Thickness, mm	Recommended industry of application
Mirror improved glass	2…6	Producing of high-quality mirrors
Mirror glass	2…6	Producing of mirrors of the general assignment
Technical polished glass	2…6	Producing of decorative mirrors, safe glasses of transport vehicles
Window-pane glass polished	2…6	High-quality glazing of transparent constructions
Window-pane glass unpolished	2…6	Glazing of transparent constructions, safe glasses for agricultural machines
Plate glass polished	6,5…12	High-quality glazing of show-window, stained-glass windows
Plate glass unpolished	6,5…12	Glazing of show-window, stained-glass windows

Sheet glass has high coefficient of optical transmission, wide range of values of linear sizes and thickness.

A *window-pane* is divided into sorts depending on the presence of defects: striped, crinkles, bubbles, other impurities and scratches.

For glazing of large surfaces of buildings large size *plate glass* are used, that produce as unpolished and polished, in order to avoid optical distortions.

Glass packs are applied for prevention from damping and freezing of glass, and also for the cutback of labor consumption and use of industrial methods at glazing of window cuts. They consist of two or few flat glasses, connected by welding or agglutination. Between them appears reserved space in thick 15...20 mm, filled with dry air (fig.3.14). In the case of the glass packs use, heat-insulation and sound-proofing are improved.

3. 29. Спеціальні види листового скла
Special types of glass

Якщо потрібно уникнути прозорості світлових отворів або скляних перегородок, то застосовують візерунчасте скло («мороз», «заметіль» тощо). Це скло має світлорозсіювальну здатність, воно декоративне і дає змогу створювати виразні інтер'єри, особливо у будівлях культурно-побутового та лікувального призначення. Його виготовляють некольоровим та кольоровим.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Для утримання осколків при пошкодженні скла в нього впресовують сітку з дроту. *Армоване скло* використовують для оздоблення ліхтарів, спорудження перегородок та влаштування огорож балконів, де потрібна підвищена механічна міцність матеріалу.

Армоване скло, як і візерунчате, випускають кольоровим та безбарвним. Безбарвне скло застосовують переважно для скління світлових отворів, а кольорове – в огорожах балконів, для влаштування внутрішніх перегородок. Поверхня армованого скла може бути гладенькою, кованою, рифленою, візерунчастою.

Щоб підвищити механічну міцність скла, його загартовують. *Загартоване листове скло* використовують для виготовлення скляних дверей, огорож балконів та сходів, ліфтових шахт. Загартованому склу властивий безпечний характер руйнування. Допустимий при експлуатації перепад температур досягає 270° С. Границя міцності на згин у 5,5, а на стиск у 1,35 рази вища, ніж у звичайного віконного скла. Загартоване скло не піддається різанню, свердлінню та іншим видам механічної обробки. Забарвлене кольоровими керамічними легкоплавкими фарбами загартоване листове скло застосовують для облицювання фасадів будівель.

На відміну від звичайного спеціальне увіолеве скло пропускає біологічно активні ультрафіолетові промені. Виготовляють його з особливо чистих сировинних матеріалів, що містять не більше, ніж 0,03% оксидів заліза. Щоб досягти максимального ефекту, застосовують *увіолеве скло* мінімально допустимої товщини. У процесі експлуатації воно старіє. Здатність пропускати ультрафіолетову радіацію відновлюється, якщо нагріти увіолеве скло до 300...450° С. Увіолеве скло застосовують для скління вікон у дитячих і лікувальних закладах, у будівлях курортно-оздоровчого призначення.

У бібліотеках, музеях, картинних галереях, бажано застосовувати *стекла, які поглинають ультрафіолетові промені*, що впливають на якість паперу, тканин, фарб, лаків тощо. З цією метою до складу скла добавляють зокрема оксиди хрому, селену, ванадію, використовують забарвлене скло з оксидно-металевим покриттям.

Для зовнішнього скління використовують *скло з напівпрозорим дзеркальним покриттям*. Кольорові та незабарвлені дзеркальні покриття отримують нанесенням на скло плівок оксидів титану, заліза, кобальту, міді.

Аби уникнути перегрівання приміщень, в будівлях з великими площами скління застосовують скління забарвленими стеклами. Нейтральні стекла знижують пропускання по всьому оптичному діапазону сонячного спектра. Здатність до теплопоглинання має скло, забарвлене оксидами заліза, цинку, міді та інших металів, або скло, яке має поверхневі плівкові оксидно-металеві покриття. їх встановлюють у зовнішньому ряду склопакета та для інтенсивного теплозйому забезпечують потрібну вентиляцію, а для усунення небажаних напружень застосовують еластичні замазки та гумові прокладки.

If it is required to avoid transparency of the light openings or glass partitions, then the *figured glass* applied. This glass has light-diffusing ability, is decorative and enables to create expressive interiors, especially in buildings of the cultural and medical purpose. It is produced colorless and colored.

A wire mesh is squeezed in glass for detention of fragments at the damage of it. *Reinforced glass* is used for finishing of lanterns, construction of partitions and arranging of protections of balconies, where enhanceable mechanical strength of material is required. Reinforced glass as well as figured, is produced colored and colorless. Colorless glass is applied mainly for glazing of the light openings, and colored - in the protection of balconies, for arranging of internal partitions. The surface of reinforced glass can be smooth, corrugated, figured.

To promote mechanical strength of glass, it is hardened. *Tempered sheet glass* used for production of glass doors, protections of balconies and steps, elevator shafts. Safe character of destruction is peculiar to this type of glass. The possible overfall of temperatures during exploitation reaches 270° C. Value of bending strength is in 5.5 and compressive strength in 1.35

Національний університет
водного господарства
та природокористування

times higher, than in ordinary windowpane. Tempered glass is not subjected to cutting, drilling and other types of tooling. Painted by the colored ceramic fusible paints tempered sheet glass is applied for revetment of buildings facades.

Unlike ordinary glass the special *uviol glass* passes biologically active ultraviolet rays. It is produced from particularly pure materials, containing no more than 0.03% iron oxides. To achieve maximal effect, uviol glass with minimum possible thickness is applied. During operation is aging of uviol glass. Ability of passing ultraviolet radiation recommences, when uviol glass is heated to 300...450° C. Uviol glass is applied for glazing of windows in child's and medical establishments, in buildings of the health resort purpose.

It is desirable to apply *glasses absorbing ultraviolet rays*, which influence on quality of paper, fabrics, paints, varnishes and others like that (in libraries, museums, art galleries). Oxides of chrome, selenium, vanadium are added in particular to the complement of glass for this purpose, the painted glass with oxide-metallic coating is also used.

Glass with semi-transparent mirror coating is used for the external glazing. Colored and colorless mirror coatings get causing on glass of films of oxides of titan, iron, cobalt, copper.

Glazing with the painted glasses is applied in buildings with the large areas of glazing to avoid overheat of apartments. Neutral glasses reduce transmission in all optical range of sun spectrum. Glass, painted by the oxides of iron, zinc, copper and other metals, or glass with superficial pellicle oxide-metallic coatings has an ability to heat absorption. They are set in the external row of glass packs and for intensive heat removal provide required ventilation. Elastic putties and rubber seals are applied for the removal of undesirable tensions.

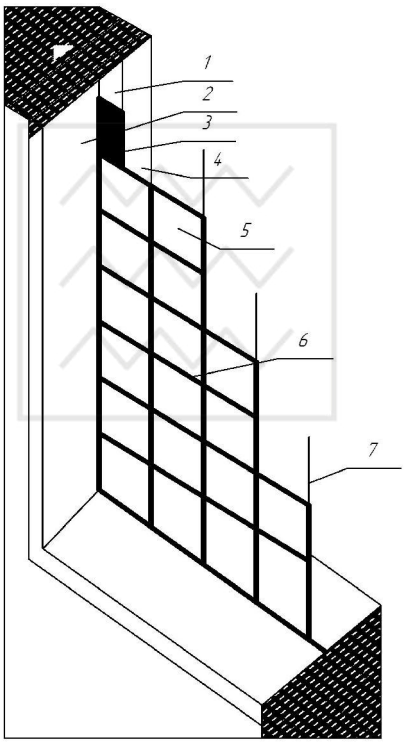

Рис.3.15. Загальний вигляд світлової пройми, заповненої скляними блоками: 1- бітумна мастика; 2- еластична прокладка; 3- ущільнююча прокладка бокових зазорів; 4- бетонний поясок панелі; 5- скляний блок; 6- цементні шви; 7- арматура

Fig. 3.15. General view of lightopening, filled by glass blocks: 1- bitumastic; 2- elastic gasket; 3- sealing gasket oflateral gaps; 4- concrete panel; 5- glass block; 6- cement seams; 7- reinforcement

3.30. Склоблоки, склопрофіліт, скляні труби
Glass blocks, structural glass, glass pipes

Підвищити міцність та довговічність світлопрозорих огорож, зменшити витрату деревини та металу, поліпшити експлуатаційні якості скління можна за допомогою порожнистих і профільних видів скла. Ці вироби призначені для заповнення різноманітних світлових отворів, влаштування самонесучих зовнішніх та внутрішніх світлопропускних огорож у будівлях і спорудах різного призначення.

Склоблоки виготовляють прямокутними (можуть бути також круглими та кутовими) із безбарвного або забарвленого скла. Поверхня лицьових стінок прозорих склоблоків гладенька, світлорозсіювальних – рифлена, що виключає видимість. Бічна грань блока має по периметру борт, що зменшує видиму товщину шва між блоками. Склоблоки повинні мати границю міцності при стиску не менше ніж 1,5 МПа, опір ударній дії 0,8 МПа. Конструкції із склоблоків утворюють м'яке розсіяне освітлення і мають підвищену тепло- та звукоізоляційну здатність.

Огородження із склоблоків (рис.3.15) влаштовують безпосередньо у віконному прорізі (без встановлення рами) на цементно-піщаному розчині або встановлюють завчасно виготовлені склозалізобетонні панелі. Такі панелі за конструктивними особливостями та технологією

Національний університет
водного господарства
та природокористування
виготовлення подібні до збірних залізобетонних конструкцій. їх можна встановлювати у віконні прорізи замість подвійного заскління. Враховуючи значний коефіцієнт термічного розширення, склозалізобетонні панелі ізолюють від несучих панелей компенсаційними швами, заповненими еластичними прокладками.

Склопрофіліт – це профільне скло швелерного, коробчастого або іншого перерізу Завдяки великим габаритним розмірам (довжина до 8 м) при заскнінні профільним склом немає потреби застосовувати проміжні рами.

Для поліпшення світлорозсіювальної здатності та зовнішнього виду поверхню скла виконують рифленою. Склопрофіліт армують стальним дротом, внаслідок чого підвищується його вогнестійкість, і при руйнуванні осколки не розлітаються. Границя міцності на згин для склопрофіліту перевищує 10 МПа, світлопропускання становить 60...80%. Для ущільнення та герметизації стиків між елементами склопрофіліту використовують різноманітні полімерні мастики та пористі прокладки.

Скляні труби призначені для спорудження трубопроводів, що транспортують хімічно агресивні рідини, гази, харчові продукти, сипкі та інші матеріали. Їх експлуатують в умовах температурного перепаду 40...80°С та робочого тиску 0,2...0,7 МПа. Діаметр скляних труб досягає 2000 мм, довжина 1,5..3,0 м. Вони не піддаються корозії, пропускна здатність їх на 2% вища, ніж чавунних і на 6,5% вища, ніж сталевих при однаковому внутрішньому терті. Їх використ-товують також для прокладання електричних проводів, виготовлення опалювальних панелей тощо. Основним недоліком скляних труб є обмежена ударна міцність.

Висока хімічна стійкість скла та механічна міцність сталі поєднуються у сталевих трубах, футерованих склом. Значно підвищити міцність скляних труб можна, покривши їх шаром склопластику.

Promoting of strength and longevity of light transparent enclosures, decreasing the amount of wood and metal, improving operating qualities of glazing is possible by the hollow and profile types of glass. These products are intended for filling of the various light openings, arranging of external and internal translucent enclosures in buildings and structures of different destination.

Glass blocks are produced rectangular (they can be also round and angular) from colorless or painted glass. The surface of facial walls of transparent glass blocks is smooth, light-diffusing - corrugated, what eliminates visibility. Glass blocks should have value of compressive strength not less than 1.5 MPa, resistance to the shock action – 0.8 MPa. Structures from glass blocks form the soft diffused lighting and have enhanceable heat insulation and sound-proofing.

Enclosures from glass blocks (fig. 3.15) are arranged directly in window opening (without establishment of frame) on cement-sand mortar or installed the glass reinforced concrete panels made in advance. Such panels due to structural peculiarities and production technology are similar to the precast reinforced concrete structures. They can be installed in window openings in place of the double glazing. Taking into account the considerable coefficient of thermal expansion, glass reinforced concrete panels are insulated from loadbearing panels with compensative joints, filled by elastic gaskets.

Structural glasses – profiled glass with channel, box-like or other section (fig. 3.15). Due to large overall dimensions (length up to 8 m) at installation profile glass there is no necessity to apply intermediate frames.

For the improvement of light-diffusing ability and original appearance the surface of glass from the side of cavity is executed as corrugated. Structural glass is reinforced with a steel wire, as a result its fire-resistance rises, and at destruction fragments do not fly away. Value of bending strength for structural glass exceeds 10 MPa, optical transmission is 60...80%. For compression and sealing of joints between the elements of structural glass various polymeric mastics and porous gaskets are used.

Glass pipes are intended for construction of pipelines, which transport chemically aggressive liquids, gases, food products, friable and other materials. They perform in the conditions

Національний університет
водного господарства
та природокористування

of temperature overfall 40...80°C and working pressure 0.2...0.7 MPa. The diameter of glass pipes achieves to 2000 mm, length – 1.5..3.0 m. They are not subjected to corrosion, their carrying capacity is higher, than cast-iron and steel pipes at an identical internal friction. They are used also for the gasket of electric wiring, making of the heated panels and etc. Basic lack of glass pipes is limited impact resistance.

High chemical resistance of glass and mechanical strength of steel are combined in steel pipes, lined with glass. Considerably promoting strength of glass pipes is possible, covering them with a layer of fiberglass plastic.

3.31. Облицювальні скляні вироби
Facing glass products

Як облицювальний матеріал використовують плити з *марбліту* - непрозорого забарвленого скла з полірованою поверхнею. Марбліт має мармуроподібну структуру. Зворотний бік виконують рифленим або шорстким. Виготовляють марбліт прокатуванням з відходів скла, добавляючи металургійний шлак. Розміри плит 250×140 і 500×500 мм, листів 200×3000 мм, товщина 5...12 мм. З марбліту виготовляють також профільовані елементи.

Подібні до марбліту за структурою та властивостями сигран (синтетичний граніт), *скломармур*, *склокремнезит* та інші облицювальні матеріали.

Склокремнезит (*склокристаліт*) - це двошаровий матеріал, лицьова поверхня якого гладенька, полірована, кольорова імітує природне декоративне каміння, нижній шар шорсткий, забезпечує надійність зчеплення з цементно-піщаним розчином. Для зниження густини плит у нижній шар склокремнезиту вводять газоутворювачі.

Килимово-мозаїчну скляну плитку використовують для зовнішнього облицювання стін (крім цоколів та карнизів), внутрішнього оздоблення стін та колон, виготовлення декоративно-художніх панно. Отримують її з глушеного та напівглушеного скла прокатуванням розмірами 21×21×4,5 мм. Поставляють плитку у килимах, наклеєних на папір. Після тепловологісної обробки фасадний бік панелі очищують від паперу та клею.

Емальовані скляні плитки нарізають з листового скла (як правило, з відходів). Одну з поверхонь плитки покривають кольоровою або білою емаллю. Застосовують для внутрішнього облицювання приміщень з підвищеними санітарно-гігієнічними вимогами.

Облицювальні скляні плитки отримують також пресуванням з глушеної скломаси або склобрухту. Зворотню поверхню плиток виконують рифленою для кращого зчеплення її з розчином.

Смальта - куски кольорового непрозорого скла різноманітної форми, що набирають у килими на папері. Використовують для декоративно-художнього оздоблення будівель та споруд, виконання мозаїчних робіт.

Plates from *marbled glass* – opaque painted glass with the polished surface are used as facing material. Marbled glass has marble-like structure. A reverse side is executed as corrugated or rough. Marbled glass is produced by rolling from wastes of glass, with additive of metallurgical slag. Sizes of plates are 250×140 and 500×500 mm, sheets-200×3000 mm, thickness - 5...12 mm. Profiled elements are also made from marbled glass.

Similar to marbled glass due to structure and properties are *synthetic granite*, *glass-marble*, *glass crystallite* and other facing materials.

Glass crystallite - double-layer material, the facial surface of which is smooth, polished, coloured imitates ornamental stones, underlayer is rough, provides reliable adhesion with cement-sand mortar. For the decline of density of plates in the underlayer of glass crystallite gas-forming admixture is included.

Carpet-mosaic glass tiles are used for external revetment of walls (except for basements and cornices), internal finishing of walls and columns, making of decorative- artistic panels. It is

Національний університет
водного господарства
та природокористування

obtained from opaque and semi- opaque glass by rolling. Tile is supplying in carpets, glued on a paper. After steam curing the facade side of panel is cleaned from a paper and glue.

The *enameled glass tiles* are cuted from sheet glass (as a rule, from wastes). One of surfaces of tile is covered by the coloured or white enamel. Tiles are applied for interior walls tiling of the buildings with enhanceable sanitary-hygienic requirements.

Facing glass tiles also can be manufactured by pressing from opaque glass mass or glass scrap. Reverse surface of tiles is made as corrugated for the best bond it with mortar.

Smalt - pieces of the stained opaque glass of various form, which are collected in carpets on a paper. They are used for the decorative finishing of buildings and structures, implementation of the mosaic works.

3.32. Скловолокнисті матеріали
Glass-fibre materials

Основним компонентом великої групи матеріалів є *скляне волокно*. Залежно від довжини ниток скловолокно поділяють на неперервне та штапельне (завдовжки до 30 см). За діаметром скловолокно буває: ультратонким – <1; супертонким – 1…2; тонким – 3…10; потовщеним – 11…20; грубим – понад 20 мкм. Ультра–, супер– і тонкі скляні волокна мають настільки високу гнучкість, що можуть оброблятися за текстильною технологією. Міцність при розтягу їх 200...500 МПа, вона зростає в міру зменшення діаметра. Із скляних волокон виготовляють скляні нитки, які використовують для обмотування електричних проводів, виробництва електроізоляційних стрічок і тканин, тепло- та звукоізоляційної скляної вати, а також джгута, сіток і полотна. Полотно застосовують для армування різноманітних гідроізоляційних матеріалів і для отримання склопластику.

Скловолокнисті матеріали ефективно використовуються для захисту від замулювання дренажних систем. Вони відрізняються добрими фільтраційними властивостями, довговічністю, стійкістю в агресивних ґрунтових водах. Зв'язуючим для склополотна слугує полівінілацетатна емульсія. Фільтраційна здатність склополотна у мінеральних ґрунтах зберігається тривалий час. Склотканини мають значно меншу ніж склополотно водопроникливість і більше піддаються загрозі кольматації. Вони рекомендуються лише в піщаних ґрунтах.

The basic component of large group of materials is *fibreglass*. Depending on length of filaments fiberglass is divided into continuous and staple (length to 30 cm). Due to diameter a fiberglass can be: ultrafine <1; superfine – 1...2; fine – 3…10; thickened – 11…20; thick – over 20 μm. Ultra-, super and fine fiberglasses have so high flexibility that can be processed by textile technology. Their tensile strength is 200...500 MPa, it grows to the extent of diminishing of diameter. Electric insulating ribbons and fabrics, heat-insulated and soundproof glass cotton wool, and also plait, nets and linen are produced from fibreglass. Linen is applied for reinforcing of various waterproofing materials and for manufacturing of fiberglass plastic.

Glass-fibre materials are used effectively for protecting from the silting-up of the drainage systems. They differ by good filtration properties, longevity and resistance in aggressive subsoil water.

Polyvinyl acetate emulsion serves for glass plait as binder. Filtration ability of glass plaits in mineral soils is saved for long time. Glass cloth has considerably less water permeability, than glass plaits and more subjected to the influence of mudding. It is recommended for application only in sandy soils.

3.33. Склокристалічні матеріали
Glass crystalline materials

Основними представниками цієї групи склокристалічних матеріалів є *ситали*. Ситали – матеріали, що мають мікрокристалічну структуру і одержані із стекол спеціальних складів. Вони поділяються на дві групи: технічні та на основі гірських порід і промислових відходів.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Технічні ситалли класифікують за призначенням (хімічно- та зносостійкі, оптичні, термостійкі, електроізоляційні та ін.) і за хімічним складом (сподуменові, кордієритові, борносвинцеві, борнобарієві та ін.). Група ситалів на основі промислових відходів і гірських порід складається в основному зі шлакоситалів і петроситалів.

Виробництво ситалів базується на спрямованій каталітичній кристалізації стекол. Відомо, що утворення зародків нової фази прискорюється, якщо в системі є ініціатори зародкоутворення, наприклад колоїдні включення та домішки. На практиці знайшов застосування метод введення домішок, що полегшують кристалізацію розплаву скла.

Ситали мають тонкозернисту полікристалічну структуру, головна відмінність якої від структури тонкозернистої кераміки полягає в тому, що розмір зерен ситалів у багато разів менший, ніж розмір кристалів кераміки. Так, якщо розмір зерен кераміки після спікання становить 10...20 мкм, то у ситалах він знаходиться в межах 1...0,02 мкм.

Властивості ситалів значною мірою залежать від співвідношення фаз скло-кристал. З ростом ступеня закристалізованості ситалів збільшується їх щільність. З урахуванням типу кристалів, що виділяються, вона коливається від 2300 до 6000 кг/м^3.

Ситали мають більш високу міцність у порівнянні зі склом і більшістю керамічних матеріалів. На міцність впливає речовинний склад, кількість і розмір кристалічних зерен. Межа міцності на згин ситалів коливається від 30 до 250 МПа.

The main representatives of the glass-crystalline materials are glassceramics. Glassceramics are materials with microcrystalline structure and obtained from glasses of special compositions. They are divided into two groups: technical and based on rocks and industrial wastes. Technical sitalls are classified by purpose (chemically and wear-resistant, heat-resistant, optical, electrical insulating, etc.) and by chemical composition (spodumene, cordierite, boron-lead, boron-barium, etc.). The group of glassceramics based on industrial wastes and rocks is composed mainly of slagceramics and petroceramics.

Glassceramics production is based on directed catalytic crystallization of glasses. It is known that creation of embryos of a new phase accelerates, if there are initiators of nucleation, for example colloidal impurities and inclusions. In practice, a method of artificial introduction of impurities, facilitating the crystallization of glass melt, is applied.

Glassceramics have fine-grained polycrystalline structure, the main difference of which from the structure of fine-grained ceramics, is that grain size of slagceramics is many times smaller than the size of the crystals of ceramics. Thus, if the grains size of ceramics after sintering is 10...20 microns, then in slagceramics it is within 1...0,02 μm.

Glassceramics properties are highly dependent on the ratio of phases of glass - crystal. With the growth of the degree of crystallization of slagceramics, their density increases. Taking into account the type of evolving crystals it ranges from 2300 up to 6000 kg/m^3.

Glassceramics possess greater strength compared to glass and most ceramic materials. The material composition, number and size of crystalline grains affects strength. Tensile strength at bending of slagceramics ranges from 30 to 250 MPa.

3.34. Шлакоситали
Slagceramics

У будівництві широко використовують *шлакоситали*. Сировинними матеріалами для шлакоситалів є шлаки чорної та кольорової металургії, а також зола від спалювання кам'яного вугілля. Виробництво шлакоситалів полягає у варінні шлакових стекол, формуванні з них виробів та наступної їх кристалізації. Шихта для отримання стекол складається з шлаку, піску, лугомістких та інших добавок. Найбільш ефективним є використання розплавлених металургійних шлаків, що економить до 30…40% кількості теплоти, що витрачається на варіння.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Шлакоситали у вигляді прокатних листів, пресованих плит, труб та інших виробів випускають на потокових механізованих лініях. Відформовані вироби поставляють до кристалізатора, де автоматично підтримується певний режим теплової обробки.

Шлакоситали відрізняються від більшості будівельних матеріалів вищими фізико-механічними властивостями. За міцністю вони наближаються до чавуну та сталі, хоч у тричі легші за них (табл.3.6). Термостійкість шлакоситалів становить 150...200°С. Особливо високими є показники хімічної стійкості та стійкості до стирання.

Таблиця 3.6

Властивості ситалів та інших будівельних матеріалів

Показник	Шлакоситал	Петроситал	Скло віконне	Граніт	Сталь
Середня густина	2600…2800	2900…3000	2500…2600	2600…2800	7800
Границя міцності, МПа:					
при стиску	500…650	700…850	600…700	100…250	420…550
при згині	90…130	130…170	60…70	10…15	400…1600
Модуль пружності $E \cdot 10^3$, МПа	90…100	40…50	60…70	8…25	210…220
Кислотостійкість	98,8…99,8	99,8	55…58	95…95,5	–
Лугостійкість	90…94,7	94…96	98,9	–	–
Стираність	0,01	–	0,5…0,6	–	–

Шлакоситали можна піддавати різним способам механічної обробки: шліфуванню, поліруванню, різанню алмазним або карборундовим інструментом.

Плитами лицьового шлакоситалу облицьовують цоколі та фасади будівель, оздоблюють внутрішні стіни та перегородки, огороджують балкони та покрівлі. Шлакоситал - ефективний матеріал для східців, підвіконників та інших конструктивних елементів будівель. Його застосовують також для захисту будівельних конструкцій та апаратури у хімічній, гірничорудній та інших галузях промисловості.

Slagceramics are widely used in construction. Slags of ferrous and non-ferrous metallurgy, and also ash from burning of anthracite coal are the raw material materials for *slagceramics*. The production of slagceramics consists in slag glasses melting, forming products from them and their following crystallization. A batch for the making of glasses consists of slag, sand, alkaline and other admixtures. The most effective is the use of molten metallurgical slags that saves to 30…40% amounts of heat, which is outlaid on melting.

Slagceramics as sheets, pressed plates, pipes and other products are manufactured at the plants. Formed products are supplied to crystallizer, where the certain mode of thermal treatment is automatically supported.

Slagceramics differs from the most of construction materials with higher physical and mechanical properties. Due to high strength they approach to cast-iron and steel, though in three times lighter than them (table 3.6). The heat-resistance of slagceramics is 150...200°C. Indexes of chemical resistance and resistance to abrasion are especially high. Slag ceramics can be processed by the different methods: grinding, polishing and cutting.

Basements and facades of building also internal walls and partitions, balconies are faced by the flags of facial slagceram. Slagceram is an effective material for the stairs, window-sills and other structural elements of buildings. It is applied also for protection of building constructions and apparatus in chemical, mining industry and other industries.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Table 3.6.

Properties of slagceramics and other construction materials

Index	Slagceramics	Slagceramics from rock	Window pane	Granite	Steel
Bulk density, kg/m^3	2600…2800	2900…3000	2500…2600	2600…2800	7800
Ultimate strength, MPa: at a ompression at a bend	 500…650 90…130	 700…850 130…170	 600…700 60…70	 100…250 10…15	 420…550 400…1600
Modulus of elasticity, E10^3, MPa	90…100	40…50	60…70	8…25	210…220
Acid resistance, %	98,8…99,8	99,8	55…58	95…95,5	–
Alkali resistance, %	90…94,7	94…96	98,9	–	–
Wearability, g/cm^2	0,01	–	0,5…0,6	–	–

3.35. Кам'яне та шлакове литво
Stone and slag casting

Кам'яне та *шлакове литво* - це кам'яні вироби, які отримують плавленням вивержених або осадових гірських порід та шлаків, розливанням розплаву у форми та термічною обробкою виробів з метою проходження кристалізації та зняття напружень.

Для отримання кам'яних литих виробів використовують легкоплавкі гірські породи - базальт, діабаз тощо. До шихти вводять добавки, що знижують температуру плавлення та збільшують кристалізаційну здатність (плавиковий шпат, доломіт, хроміт та ін.).

Кам'яні литі вироби перевищують природне каміння та ряд інших матеріалів за густиною, стійкістю до хімічної дії, опором стиранню та за іншими властивостями. Стираність виробів із кам'яного литва у 3...5 разів менша, ніж граніту, базальту або діабазу, і становить 0,016...0,1 г/см^2, а границя міцності при стиску 200...400 МПа.

Основними видами кам'яних литих виробів є плити, труби та інші деталі, призначені для роботи в суворих кліматичних та інших експлуатаційних умовах.

З розплавлених металургійних шлаків відливають різноманітні вироби: каміння для доріг та підлог промислових будівель, тюбінги, бордюрне каміння, протикорозійні плиткі, труби тощо. Литі вироби із шлакового розплаву економічно вигідніші, ніж кам'яне литво, наближуючись до нього за механічними властивостями. Середня густина литих виробів з шлаку становить 3000 кг/м^3, а границя міцності при стиску 500 МПа.

За зносостійкістю, жаростійкістю та рядом інших властивостей шлакове литво перевищує залізобетон і сталь. Литі вироби з шлаку ефективніші, ніж сталь у різних футеровках, наприклад бункерів для транспортування абразивних матеріалів (руд, агломератів, щебеню, піску тощо). Термін служби їх у 5...6 разів більший ніж стальної футеровки.

Для отримання пористого шлакового литва виконують поризацію шлакового розплаву. З цією метою, наприклад, на дно форми насипають зволожений дрібний кокс або обробляють розплав водою. З поризованого шлакового розплаву формують вироби різноманітних конфігурацій. Залежно від ступеня поризації середня густина литих виробів становить 350...1500 кг/м^3, границя міцності при стиску 1,5...30МПа.

Stone and *slag casting* – stone products, obtained by melting of igneous or sedimentary rocks and slags, pouring of fusion in forms and heat treatment of products with the purpose of passing of crystallization and destressing.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

For the making of stone cast products fusible rocks are used, as rule - basalt, diabase and others like that. In the batch admixtures, which reduce the temperature of melting and increase ability to crystallization (fluorspar, dolomite, chromite etc.), are entered.

Stone cast products exceeds the natural stone and row of other materials on the density, firmness to the chemical action, resistance to wearing and other properties. Abrasion of products from a casting stone in 3...5 times less than granite, basalt or diabase, and equals 0,016...0,1g/cm^2, and ultimate compressive strength is 200...400 MPa. The basic types of stone cast products are plates, pipes and other details, intended for work in severe climatic and other operating terms.

Various products are molded from molten metallurgical slags: stone for roads and floors of industrial buildings, tubings, kerb-stones, anticorroding tiles, pipes etc. The cast products from slag fusion are more economic advantageous, than stone casting, approaching them by mechanical properties. The average density of the cast products from slag equals 3000 kg/m^3, and ultimate compressive strength is 500 MPa.

Due to wear resistance, heat-resistance and a series of other properties the slag casting exceeds the reinforced concrete and steel. The cast products from a slag are more effective than steel in different linings,for example hoppersand pipes for transporting of abrasive materials (ores, agglomerates, crushed stones, sand and etc). Their service life is in 5...6 times longer than steel linings.

For production of the porous slag casting pore-formation of slag fusion is executed. The products of various configurations are formed from porous slag fusion. Depending on the degree of pore-formation the average density of poured products is 350...1500 kg/m^3, ultimate compressive strength is equal to 1.5...30 MPa.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

4. МЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ
METALLIC MATERIALS

4.1. Металеві матеріали у будівництві. Загальні відомості
Metallic materials in construction. Overview

До металів належать речовини, що мають ряд специфічних особливостей: блиск, високу тепло та електропровідність.

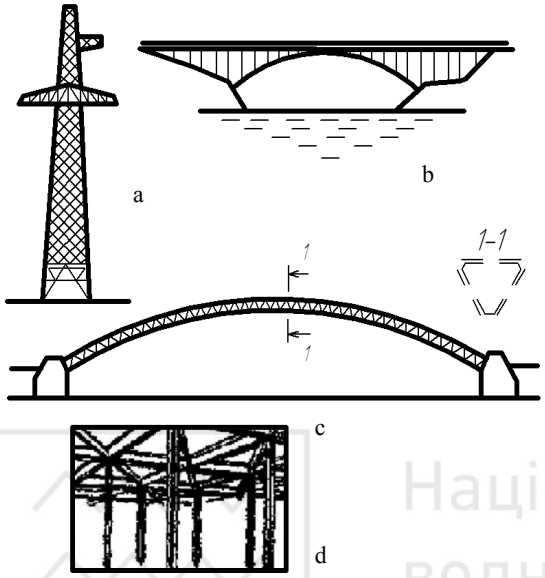

Рис. 4.1. Алюмінієві каркасні конструкції:
a– опора ВЛ; b– каркас мосту; c– фрочна конструкція; d– каркас будинку
Fig. 4.1. Aluminium framed structures:
a- power transmission tower; b- bridge frame;
c- arch construction; d- building frame

У сучасній техніці, зокрема в будівництві, найширше використовують залізовуглецеві сплави – *сталі* (до 2,14% С) та *чавуни* (2,14...6,67% С). Питома вага їх у загальному обсязі металевих конструкцій становить 95...97%. Чавуни та сталі є основними представниками чорних металів. До кольорових металів належать: алюміній, магній, цинк, а також їхні сплави.

Металеві матеріали у будівництві використовують переважно у вигляді різноманітних виробів: листів, кутикових, двотавррових і швелерних профілів, труб.

Збільшується виробництво легких сталевих конструкцій з економічних профілів прокату та низьколегованих, високоміцних сталей. Маса легких конструкцій порівняно із звичайними сталевими конструкціями менша у 4...6 разів, приблизно на третину зменшуються трудові витрати.

Роширюється застосування легких сплавів на основі кольорових металів, особливо алюмінію (рис.4.1). З алюмінієвих сплавів виготовляють зовнішні стінові панелі, конструкції підвісних стель і перегородок, віконні рами, двері, вітражі, жалюзі тощо. Наближаючись за міцністю до конструкції з будівельних сталей, конструкції з алюмінієвих сплавів мають меншу масу (2,7...2,9 т/м^3) та кращі вогнестійкість, сейсмостійкість, холодостійкість і довговічність.

Metals are the substances, which have a number of specific features: brilliance, high thermal and electrical conductance ability to significant plastic deformation. The iron-carbon alloys – *steels* (up to 2,14% C) and *cast-irons* (2,14…6,67% C) are widely used in modern technique, particularly in construction. Their specific weight is up to 95…97% in the general volume of metals, used in metal structures. Cast irons and steels are the basic representatives of the ferrous metals. Aluminium, magnesium, zinc, as well as their alloys belongs to the nonferrous metals.

Metal materials in construction are mainly used as various rolled products: plates, angled, double-T and channel-shaped sections (shapes, bars), pipes.

The production of the light steel structures, made of the economic sections of rolled metals and low-alloy high-strength steel, is increased. Mass of the light structures is less in 4…6 times than the ordinary steel structures; expenditures of labor in their application are reduced approximately at 30 %.

The application of the alloys, based on light nonferrous metals, especially aluminum is enlarged (fig. 4.1). The external wall panels, structures of counter ceilings and partitions, window frames, doors, stained glasses, jalousies and others are made on the base of aluminum alloys. Aluminium alloys

Національний університет
водного господарства
та природокористування

structures have less weight (2,7…2,9 t/m^3), better fire–resistance, seismic resistance, cold resistance and durability in comparison with structural steel and approach to its strength.

4.2. Чавуни
Cast irons

Чавуни - залізовуглецеві сплави з вмістом вуглецю понад 2,14%.

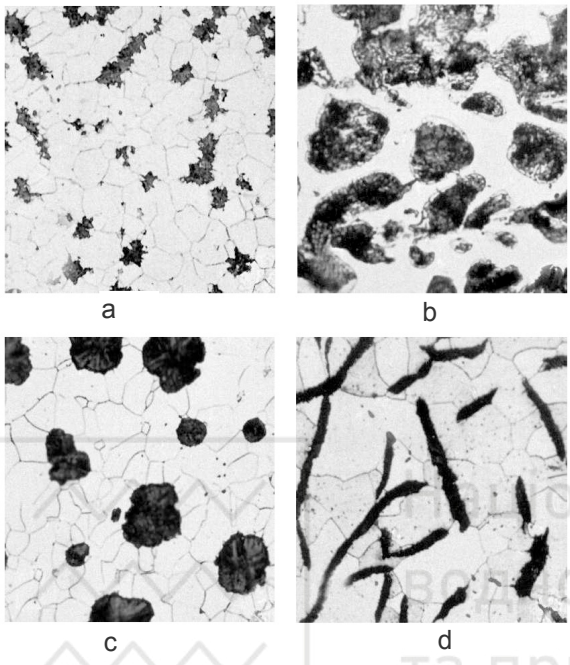

Рис. 4.2. Структури чавунів: a – ковкий чавун з включеннями графіту; b – білий чавун; c – сірий чавун з кульоподібним графітом; d – сірий графіт з пластинами графіту
Fig. 4.2. Structure of cast irons: a – ductile cast iron with graphite inclusions; b – white cast iron; c – grey cast iron with spherical graphite; d – grey cast iron with graphite plates

Виробництво чавуну засноване на доменному процесі, що включає три стадії: відновлення заліза з оксидів, що містяться в руді, навуглецьовування заліза і шлакоутворення.

У доменних печах виплавляють чавун, призначений для виробництва сталі, ливарний – для отримання різноманітних чавунних виробів, спеціальні чавуни (феросиліцій, феромарганець), які використовують у виробництві сталі як розкислювачі або легуючі добавки.

Залежно від складу і структури чавуни розділяють на дві основні групи: сірі і білі. У *сірих чавунах* вуглець знаходиться, в основному, у вигляді графіту (рис. 4.2), в *білих* – цементиту Fe_3C. Для перших характерний злам темно-сірого, для других матово-білого кольору. Виготовляють також т.зв. *половинчастий чавун*, в якому частина вуглецю знаходиться у вигляді графіту, а частина у вигляді карбіду заліза (цементиту).

Сірі чавуни в залежності від вмісту вуглецю поділяють на доевтектичні (C=2,14...4,3%), евтектичні (4,3%) і заевтектичні (4,3...6,7%). Найбільш широко застосовують доевтектичні чавуни. Склад сплаву впливає на його структуру і властивості. У звичайному сірому чавуні графіт знаходиться в формі пластинок.

Чим вищий вміст у чавуні вуглецю, тим більше утворюється графіту і тим нижчі його механічні властивості.

Сірий чавун має гарні ливарні якості на відміну від білого, що має дуже високу твердість і крихкість. Із сірого чавуну для будівельних цілей виготовляють сантехнічне обладнання, труби, плити для підлог, тюбінги для тунелів і інші вироби.

Cast irons are iron-carbon alloys with carbon content higher than 2.14%. Cast iron production is based on blast-furnace process, which includes three phases: reduction of iron oxides contained in the ore, iron carbon pick-up and slag formation. Raw materials for cast iron are iron ore, fluxes and coke.

Cast iron is made in the blast furnaces, intended for the production of steel; foundry - to obtain a variety of cast iron products, special cast irons (ferrosilicon, ferromanganese) used in steel production as acidizing or alloying additives.

Depending on the composition and structure, cast irons are divided into two main groups: grey and white. In *grey cast irons*, the carbon is mostly in the form of graphite (fig. 4.2), in *white* -

Національний університет
водного господарства
та природокористування

cementite Fe_3C. For the former, characteristic is a fracture of dark gray, for the latter - matte white color. They also manufacture so-called *partial cast iron*, in which part of the carbon is in the form of graphite, and part is in the form of iron carbide (cementite).

Grey cast irons, depending on the carbon content, are divided into hypoeutectic (C=2,14…4,3%), eutectic (4,3%) and hypereutectic (4.3...6.7%). The most widely used are hypoeutectic cast irons. The composition of the alloy affects its structure and properties. In a typical grey cast iron graphite is in the form of plates. The higher the content of carbon in cast iron is, the more graphite is formed and the lower are its mechanical properties.

Grey cast iron possesses good casting qualities in contrast to the white that has very high hardness and brittleness. Grey cast iron for building purposes is used to make plumbing fixtures, pipes, plates for floors, mats for tunnels and other products.

4.3. Спеціальні види чавунів
Special types of cast irons

Особливістю *високоміцного (модифікованого) чавуну* є куляста форма включень графіту, рівномірно розподіленого в його структурі. При отриманні високоміцного чавуну перед його розливанням в розплав вводять домішки магнію або церію. Поряд з високою міцністю високоміцний чавун має і певну пластичність.

Високоміцні чавуни в багатьох виробах і конструкціях ефективно замінюють сталь. З них виготовляють зубчасті колеса, колінчасті вали двигунів, прокатні валки і інші деталі, що працюють під дією змінних напруг і ударних навантажень.

До високоміцних чавунів відноситься також *чавун з вермикулярним графітом*. Особливістю його структури є те, що кожна частка кулястого графіту зростає з окремого центру кристалізації. Для нього характерні, поряд з високою міцністю, і більш високі ливарні властивості (низька температура кристалізації, текучість в рідкому стані, мала усадка), що дозволяє отримувати вироби складної форми, в тому числі тонкостінні, витримують значні силові і теплові навантаження.

Для підвищення експлуатаційних характеристик і додання чавуну спеціальних властивостей (жароміцності, зносостойкості, корозійної стійкості, немагнітних і ін.) до його складу вводять легуючі елементи (Cu, Al, Ni, Cr, W, Ti, Mo та ін.). *Леговані чавуни* поділяють на класи: нікелеві, хромові, алюмінієві і т.д. Їх застосовують для виготовлення деталей машин з підвищеними механічними властивостями, що працюють в агресивних середовищах.

Спеціальні чавуни або *феросплави* мають підвищений вміст кремнію або марганцю (феросиліцій, феромарганець). Ці чавуни застосовуються при плавці сталі для її розкислення, тобто видалення зі сталі шкідливої домішки – кисню.

Білий чавун у зв'язку з тим, що вуглець знаходиться в ньому у виді карбіду заліза – цементиту характеризується високою твердістю і крихкістю, зносостійкістю, низькою оброблюваністю ріжучими інструментами.

Ковкий чавун отримують після тривалого випалу білого чавуну при високих температурах, коли цементит майже повністю розпадається з виділенням вільного вуглецю у вигляді графіту у формі пластівців. На відміну від сірих, ковкі чавуни є більш міцними і пластичними, легше обробляються.

The feature of *high-strength (modified) cast iron* is spherical shape of inclusions of graphite, evenly distributed in its structure. When obtaining high-strength cast iron, before its pouring, in the melt is introduced additives of magnesium or cerium. Along with high strength high-strength cast iron has certain plasticity.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

High strength cast irons in many products and constructions effectively replace steel. Gears, crankshafts, mill rolls engines and other parts, working under the conditions of alternating tensions and shock stresses, are produced out of them.

The high-strength cast irons also include *cast iron with vermicular graphite*. The feature of its structure is that each particle of spherical graphite grows from a separate center of crystallization. It is characterized, along with high strength, by higher casting properties (low temperature of crystallization, the fluidity in liquid state, low shrinkage), that allows obtaining products with complex shapes, including thin-walled, able to resist considerable power and thermal loads.

To improve performance characteristics and give special properties to cast iron (heat resistance, wear resistance, corrosion resistance, nonmagnetic, etc.), in its composition is entered the alloying elements (Cu, Al, Ni, Cr, W, Ti, Mo, etc.). *Alloyed cast irons* are divided into the classes: nickel, chromium, aluminum etc. They are used for the manufacture of machines parts with high mechanical properties, working in aggressive environment.

Special cast irons or ferrous alloys have a higher content of silicon or manganese (ferromanganese, ferrosilicon). These cast irons are applied during smelting of steel for its deacidification, i.e. removing the harmful impurity – oxygen.

White cast iron, because carbon in it is in the form of iron carbide – cementite, is characterized by high hardness and brittleness, wear resistance, poor workability by cutting tools. White cast iron is used for obtaining ductile cast iron and steel. It is also called processed.

Ductile cast iron is obtained after a long annealing of white cast iron at high temperatures, when the cementite almost completely breaks up with the release of free carbon in the form of graphite of flake form. Unlike the grey, ductile cast irons are more durable and plastic and they are easier processed.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

4.4. Склад сталі
Steel composition

Сталь - залізовуглецевий сплав (С<2,14%), до якого входить низка домішок, що впливають на її структуру і властивості. Залежно від хімічного складу сталі поділяються вуглецеві та леговані.

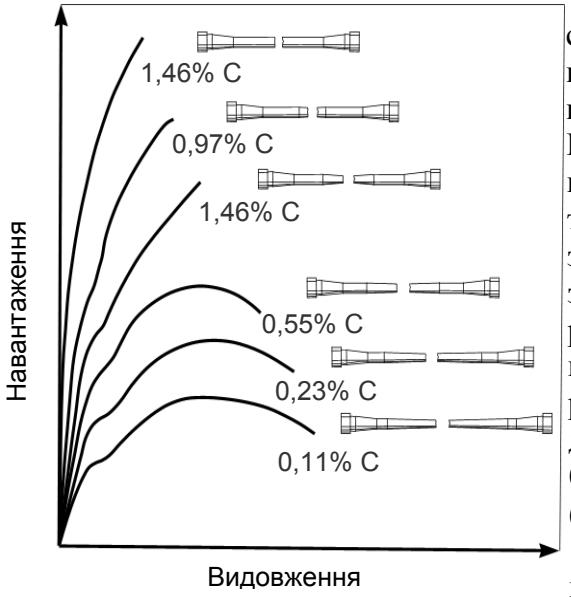

Рис. 4.3. Діаграма розтягу сталі з різним вмістом вуглецю
Fig. 4.3 Diagram of tension of steel with different content of carbon

Вуглець – найважливіший компонент сталі. Зі збільшенням вмісту вуглецю прямо пропорційно зростає кількість цементиту – найбільш твердої і крихкої складової сталі. Відповідно зменшуються пластичність і в'язкість, відносне подовження (рис.4.3), ударна в'язкість і тріщиностійкість. До вмісту вуглецю 0,55...0,65% зростає *границя витривалості*, при більшому - знижується. Домішки марганцю і кремнію розкислюють сталь, тобто виводять оксиди металів і сприяють запобіганню крихкого руйнування сталі за гарячої пластичної деформації. При цьому марганець в кількості до 0,8% помітно підвищує міцність сталі, а кремній (<0,37%) – границю текучості.

Сірка, утворюючи сульфід заліза, сприяє при обробці сталі прокаткою або куванням (1000...1200° С) виникненню надривів і тріщин (*гарячоламкість*). Сірчисті включення знижують ударну в'язкість і пластичність сталі,

Національний університет
водного господарства
та природокористування

погір-шують її зварюваність і корозійну стійкість. У звичай-них вуглецевих сталях вміст сірки обмежують до 0,05%, в якісних – до 0,04%, у високоякісних до 0,015 ... 0,025%.

До шкідливих домішок належить також фосфор, який розчиняючись у фериті, хоча і збільшує границі міцності і пружності сплаву, але зменшує пластичність і в'язкість.

У невеликих кількостях у сталі можуть бути присутніми газові домішки – кисень, азот, водень. Вони утворюють крихкі неметалеві включення у вигляді оксидів або знаходяться у вільному стані в тріщинах, раковинах та ін.

Steel is an iron-carbon alloy (C<2,14%), incurporating a number of additives, that affect its structure and properties. Steels are divided to their composition into carbon and alloyed.

Carbon is an essential component of steel. With the increase of carbon content the amount of cementite – the most solid and fragile component of steel increases in direct proportion. Ductility and toughness, elongation (fig. 4.3), impact strength and crack resistance are reduced accordingly. Until the carbon content of 0.55...0.65%, *the limit of endurance* increases, if higher - drops. The additives of manganese and silicon deoxidize steel, i.e. remove metal oxides and contribute to the prevention of brittle destruction of steel during hot plastic deformation. At the same time, manganese up to 0.8% markedly improves the strength of steel and silicon (<0.37%) - yield point.

Sulfur, forming iron sulfide, promotes in the processing of steel by rolling or forging (1000...1200° C) the emergence of snags and cracks (*hot-shortness*) Sulfur inclusions reduce impact toughness and ductility of steel; impair its weldability and corrosion resistance. In ordinary carbon steels, sulfur content is limited up to 0.05%, in quality steels – up to 0.04%, in high quality steels – up to 0,015...0,025%.

Harmful impurities also include phosphorus, which, while dissolving in ferrite, increases strength and elasticity of the alloy, but reduces ductility and viscosity.

Small amounts of gas impurities may be present in steel - oxygen, nitrogen, hydrogen. They form brittle nonmetallic inclusions in the form of oxides or are in free form in cracks, shells, etc.

4.5. Вуглецеві сталі
Carbon steels

Залежно від вмісту вуглецю сталі поділяють на *низьковуглецеві* (до 0,25% С), *середньовуглецеві* (0,25...0,6% С) і *високовуглецеві* (більше 0,6% С).

За призначенням сталі класифікуються на конструкційні, інструментальні і спеціального призначення. За способом виробництва розрізняють сталі, виплавлювані в мартенівських і електропечах, а також у кисневих конверторах.

Вуглецеві сталі, повністю розкислені після виплавки, називають *спокійними* (сп), розкислені частково – *напівспокійними* (нс) і *киплячими* (кп). Спокійні сталі тверднуть без помітного виділення газів. У порівнянні з напівспокійними і киплячими сталями вони мають кращу міцність, але менший вихід металу при прокатці і більш високу вартість.

Залежно від вмісту шкідливих домішок фосфору і сірки вуглецеві сталі ділять на сталь звичайної якості і якісну. Сталь звичайної якості застосовується для виготовлення будівельних конструкцій, арматури, кріпильних деталей, листового прокату, труб, заклепок і т.д.

У *сталях звичайної якості* міститься не більше 0,05% S і 0,04% P. Їх виготовляють у мартенівських печах і кисневих конвертерах.

Хімічний склад для деяких вуглецевих сталей звичайної якості наведено в табл. 4.1.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Таблиця 4.1

Хімічний склад деяких вуглецевих сталей звичайної якості

Склад сталі	Вміст елементів у %							
	вуглець	марганець	кремній	фосфор	сірка	хром, не більше	нікель	мідь
1	не більше 0,23	-	-	0,07	0,06	-	-	-
2	0,06...0,12	0,25...0,5	не більше 0,05	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
3	0,06...0,12	0,25...0,5	0,12...0,3	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
4	0,06...0,12	0,7...1,1	0,15	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
5	0,09...0,15	0,25...0,5	0,12...0,3	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
6	0,14...0,22	0,3...0,6	0,07	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
7	0,14...0,22	0,4...0,65	0,12...0,3	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
8	0,18...0,27	0,4...0,7	0,12...0,3	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3

Якісні вуглецеві сталі виплавляють в електропечах, кисневих конвертерах і мартенівських печах. До них висувають більш жорсткі вимоги за вмістом домішок. Вплив основних домішок на властивості вуглецевих сталей наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Вплив основних компонентів на деякі властивості сталі

Компонент	Границя міцності при розтягу	Границя текучості	Відносне видовження	Твердість	Ударна в'язкість	Зварюваність	Холодноламкість	Червоноламкість	Корозійна стійкість
Вуглець	++	+	--	++	-	-	0	0	0
Марганець	+	+	-	+	+	0	0	-	+
Кремній	+	+	-	+	--	-	0	-	-
Нікель	+	+	0	+	+	0	0	0	+
Хром	+	+	0	+	+	0	0	0+	+
Мідь	0	0	0	0	0	0	0	0	++
Ванадій	+	+	-	+	0	+	0	--	+
Молібден	+	+	-	+	0	+	0	-	+
Титан	+	+	0	+	-	+	0	0	0
Фосфор	++	+	--	+	--	-	++	0	+
Сірка	-	-	0	-	-	0	0	+	0

Примітка. «++» – сильно збільшує, «+» – збільшує, «--» – сильно зменшує, «-» – зменшує, 0 – не має значного впливу.

Depending on the carbon content, steels are divided into *low-carbon* (up to 0.25% C), *medium-carbon* (0.25...0.6% C) and *high-carbon* (more than 0.6% C).

The steels, depending on the purpose, are divided into construction, tool and special-purpose steels. According to the method of production, there are steels made in open-hearth and electric furnaces, as well as in oxygen converters.

Carbon steels, completely deoxidized after smelting, are called *killed*, partially acidated – *semikilled* and *unkilled*. The killed steels harden without significant allocation of gases. Compared

Національний університет
водного господарства
та природокористування

with semikilled and unkilled steels, they are characterized by better strength properties, but by less output of metal during rolling and by higher cost.

Depending on the contents of harmful impurities of phosphorus and sulfur, carbon steels are divided into ordinary quality steel and high quality. The ordinary quality steel is used for manufacturing of construction structures, fixtures, fasteners, sheet metal, pipes, rivets, etc.

The *ordinary quality steels* contains no more than 0.05% S and 0.04% P. They are made in open-hearth furnaces and oxygen converters. The chemical composition of some carbon steels of ordinary quality is in table 4.1.

Table 4.1

Characteristic chemical composition of carbon steels

Composi-tions of steel	Content of elements, %.							
	carbon	manganese	silicon	phosphorrus	sulfur	Chromium no higher	nickel	copper
1	no higher 0,23	-	-	0,07	0,06	-	-	-
2	0,06...0,12	0,25...0,50	no higher 0,05	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
3	0,06...0,12	0,25...0,50	0,12...0,3	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
4	0,06...0,12	0,7...1,1	0,15 max	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
5	0,09...0,15	0,25...0,5	0,12...0,3	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
6	0,14...0,22	0,3...0,6	0,07 max	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
7	0,14...0,22	0,4...0,65	0,12...0,3	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3
8	0,18...0,27	0,4...0,7	0,12...0,3	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3

Quality carbon steels are smelted in electric furnaces, oxygen converters and open-hearth furnaces. There are more stringent requirements to the content of impurities in them. The impact of main impurities on the properties of carbon steel are in table 4.2.

Table 4.2

Influence of main components on some properties of steel

Component	Tensile strength in elongation	Yield point	Elongation	Hardness	Impact strength	Weldability	Cold shortness	Red-shortness	Corrosion resistance
Carbon	++	+	--	++	-	-	0	0	0
Manganese	+	+	-	+	+	0	0	-	+
Silicon	+	+	-	+	--	-	0	-	-
Nickel	+	+	0	+	+	0	0	0	+
Chrome	+	+	0	+	+	0	0	0+	+
Copper	0	0	0	0	0	0	0	0	++
Vanadium	+	+	-	+	0	+	0	--	+
Molybdenum	+	+	-	+	0	+	0	-	+
Titan	+	+	0	+	-	+	0	0	0
Phosphorus	++	+	--	+	--	-	++	0	+
Sulfur	-	-	0	-	-	0	0	+	0

Note: «++» – greatly increases; «+» – increases; «--» – greatly reduces; «-» – reduces; 0 – has no significant impact.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

4.6. Леговані сталі
Alloy steels

Залежно від змісту легуючих добавок розрізняють *низьколеговані* (до 2,5%), *середньолеговані* (2,5...10) і *високолеговані* (більше 10%) сталі. Введення легуючих елементів змінює механічні, фізичні та хімічні властивості сталі. Наприклад, введення хрому сприяє підвищенню міцності і зносостійкості, а марганцю - твердості, міцності, зварюваності, кремнію – твердості, пружності, міді – корозійної стійкості. Більшість легованих сталей набуває потрібні фізико-механічні властивості тільки після термічної обробки.

За призначенням леговані стали поділяють на конструкційні, інструментальні, сталі зі спеціальними фізико-механічними властивостями. Склад і призначення деяких видів легованих сталей наведені в табл.4.3.

Таблиця 4.3

Характеристика конструктивних легованих сталей

Призначення	Ступінь легування	Вміст елементів, %				
		C	V	Cr	Mo	Інші
Будівельна	Низьколегована	0,09	-	-	-	1,6 Mn
Машинобудівна	Середньолегована	0,15	0,05	-	-	1,0 Mn
		0,3	-	0,15	-	0,003 B
		0,4	0,15	1,0	-	-
		0,18	-	1,5	0,35	4,2 Ni
		0,38	-	1,5	0,20	0,9 Al
Для глибокої витяжки	Низьколегована	≤0,08	0,03	-	-	-
		≤0,08	-	-	-	0,05 Al
Ресорно-пружинна		0,55	-	-	-	1,7 Si
		0,50	0,15	1,0	-	-

Depending on the content of alloying additives, there are *low-alloy* (up to 2.5%), *medium-alloy* (2.5...10) and *high-alloy* (higher 10%) steels. The introduction of alloying elements changes mechanical, physical and chemical properties of steel. For example, the introduction of chromium contributes to the improvement of strength and wear resistance, of manganese - hardness, strength, weldability, of silicon - hardness, elasticity, of copper - corrosion resistance. Most alloy steels acquire necessary physical-mechanical properties after thermal treatment.

Depending on the purpose, alloy steels are divided into construction, tool and steels with special physical-mechanical properties. The composition and purpose of certain types of alloyed steels are in table 4.3.

Table 4.3

Characteristics of structural alloy steels

Purpose	Degree of alloying	Content of element				
		C	V	Cr	Mo	others
Construction steel	Low-alloy	0,09	-	-	-	1,6 Mn
Machine-building steel	Medium-alloy	0,15	0,05	-	-	1,0 Mn
		0,3	-	0,15	-	0,003 B
		0,4	0,15	1,0	-	-
		0,18	-	1,5	0,35	4,2 Ni
		0,38	-	1,5	0,20	0,9 Al
DDQ steel	High-alloy	≤0,08	0,03	-	-	-
		≤0,08	-	-	-	0,05 Al
Spring steel		0,55	-	-	-	1,7 Si
		0,50	0,15	1,0	-	-

Національний університет
водного господарства
та природокористування

4.7. Сплави з кольорових металів
Nonferrous metals alloys

Алюмінієві сплави поділяють на дві групи: сплави, що деформуються, з яких прокатуванням, пресуванням, волочінням, куванням і штампуванням отримують різноманітні вироби і ливарні, призначені для виготовлення відливок. Найтиповіші алюмінієві сплави, що деформуються (типу *дюралюмінію*), містять 2,2...5,2% Cu, до 1,75% Mg, до 1% Si, до 1% Fe та до 1% Mn. Марки дюралюмінію позначаються літерою Д з наступною цифрою - умовним номером сплаву, з підвищенням якого збільшується його механічна міцність.

Серед ливарних алюмінієвих сплавів найпоширеніші *силуміни* - сплави алюмінію з кремнієм, якого добавляють 4...13%.

Крім алюмінієвих сплавів, у будівництві застосовують *мідні сплави* - латунь і бронзу. У *латуні* основним легуючим елементом є цинк (до 45%), а у *бронзі* - олово, алюміній, кремній та інші елементи. Маркуючи бронзу та латунь, вказують їхній склад.

До найлегших конструкційних матеріалів належать *магнієві сплави* (густина магнію 1,7 г/см^3). Так само, як і алюмінієві сплави, їх поділяють на сплави, що деформуються та ливарні. Низька густина у поєднанні з високою міцністю та корозійною стійкістю характерна також і для *титанових сплавів*.

Aluminum alloys are divided into two groups: alloys, which are deformed, from which by rolling, pressing, dragging, forging and punching the various products are obtained and casting alloys, which are assigned for making of production by casting method. The most typical aluminum alloys, which are deformed (as *duralumin*), contain 2.2…5.2% Cu, up to 1.75% Mg, up to 1% Si, up to 1% Fe and up to 1% Mn. The grades of duralumin are signed, with the letter D with a subsequent digit - conditional number of alloy with the increasing of which its mechanical strength increases.

Among casting aluminum alloys *silumins* are the most widespread – alloys of aluminum with silicon, which is added in amount of 4…13%.

Except of the aluminum alloys, *copper alloys – brass* and *bronze*, are applied in construction. Zinc is a basic alloying element (to 45%) in brass, and tin, aluminum, silicon and other elements are in bronze. At marking bronze and brass their composition is specified.

Magnesium alloys belong to the lightest structural materials (magnesium density is 1.7 g/cm^3). The same as aluminum alloys, they are divided into alloys which are deformed and casting. Low density in combination with high strength and corrosive resistance are also characteristic for *titanic alloys*.

4.8. Структурні компоненти сплавів заліза з вуглецем
Structure components of alloys of iron with carbon

Основними структурними компонентами сплавів заліза з вуглецем є цементит, ферит, аустеніт, перліт, ледебурит.

Цементит – це карбід заліза Fe_3C. У ньому міститься 6,67% вуглецю за масою). Має складну ромбічну кристалічну решітку. Характеризується дуже високою твердістю (НВ 800), вкрай низькою пластичністю і крихкістю.

*Ферит*ом називається твердий розчин вуглецю в α-залізі. При кімнатній температурі в фериті міститься не більше 0,006% вуглецю. Завдяки настільки малому вмісту вуглецю властивості фериту збігаються з властивостями заліза (низька твердість і висока пластичність). Твердий розчин вуглецю в δ-залізі, що існує при температурі 1392…1539° С, також називають феритом або високотемпературним феритом (δ-феритом). Він характеризується максимальною розчинністю вуглецю 0,1% при температурі 1499° С.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Аустеніт – це твердий розчин вуглецю в γ-залізі. Максимальний вміст вуглецю в аустеніті складає 2,14% (при температурі 1147° С). Аустеніт характеризується високою пластичністю і низькими міцністю і твердістю (НВ 220).

Перліт – це евтектоїдна суміш фериту з цементитом. Містить 0,8% вуглецю, утворюється з аустеніту при температурі 727° С. Перліт має пластинчасту будову; він складається з пластинок фериту і цементиту, що чергуються. Можлива і зерниста будова перліту, коли він складається з зерен цементиту, оточених феритом. Зернистий перліт значно пластичніший пластинчастого, має меншу твердість.

Ледебурит є евтектичною сумішшю аустеніту з цементитом. Містить 4,3% вуглецю, утворюється з рідкого сплаву при температурі 1147° С. При температурі 727° С аустеніт, що входить до складу ледебуриту, перетворюється в перліт і нижче цієї температури є евтектоїдною сумішшю перліту з цементитом. Ледебурит має високу твердість (НВ 600…700) і крихкість.

The main structure components iron alloys with carbon are cementite, ferrite, austenite, perlite and ledeburite.

Cementite is the iron carbide Fe_3C. It contains 6.67% of carbon (by mass). It has a complex rhombic crystal lattice and is characterized by very high hardness (HB 800), extremely low plasticity and brittleness.

Ferrite is a solid solution of carbon in α-iron. At room temperature, ferrite does not contain more than 0.006% of carbon. Thanks to such low carbon content, ferrite properties coincide with the properties of iron (low hardness and high plasticity). Solid solution of carbon in δ-iron that exists at temperature of 1392…1539° C, is also called ferrite or high-temperature ferrite (δ-ferrite). It is characterized by the maximum solubility of carbon 0.1% at 1499° C.

Austenite is a solid solution of carbon in γ-iron. The maximum concentration of carbon in austenite is 2.14% (1147° C). Austenite is characterized by high ductility and low strength and hardness (HB 220).

Perlite is a eutectoid mixture of ferrite with cementite. It contains 0.8% of carbon and it is formed from austenite at 727° C. Perlite has plate structure; it consists from alternating plates of ferrite and cementite. Grainy structure of perlite is possible when it consists of grains of cementite, surrounded by ferrite. Grain perlite is significantly more plastic than the plate and it has lower hardness.

Ledeburite is a eutectoid mixture of austenite with cementite. It contains 4.3% of carbon and it is formed out of liquid alloy at temperature of 1147° C. At temperature of 727° C, austenite, included in the composition of ledeburite, passes into perlite, and below this temperature it is a eutectoid mixture of perlite with cementite. Ledeburite has high hardness (HB 600…700) and fragility.

4.9. Діаграма залізо-цементит
Diagram of iron-cementite

Найбільше практичне значення мають сплави заліза з вуглецем, що містять вуглецю до 6,67% (сталі і чавуни). Тому розглядають діаграму стану сплавів заліза з вуглецем тільки до цієї концентрації, тобто фактично розглядається діаграма залізо-цементит ($Fe-Fe_3C$), (рис.4.4).

На горизонтальній осі діаграми зазначено вміст вуглецю – від 0 до 6,67%. Ліва вертикальна вісь відповідає 100% вмісту заліза. На ній зазначені значення температур плавлення заліза і його поліморфних перетворень. Права вертикальна вісь відповідає 100% вмісту цементиту.

Національний університет водного господарства та природокористування

Лінія ABCD діаграми є *лінією ліквідуса*. При температурі ліквідуса починається кристалізація: на ділянці AB – фериту, BC – аустеніту і CD – первинного цементиту. Лінія AHJECF є *лінією солідуса* - кінця затвердіння розплаву.

Головна роль на діаграмі стану залізовугле-цевих сплавів відводиться її лівій частині – сталям (до 2,14%).

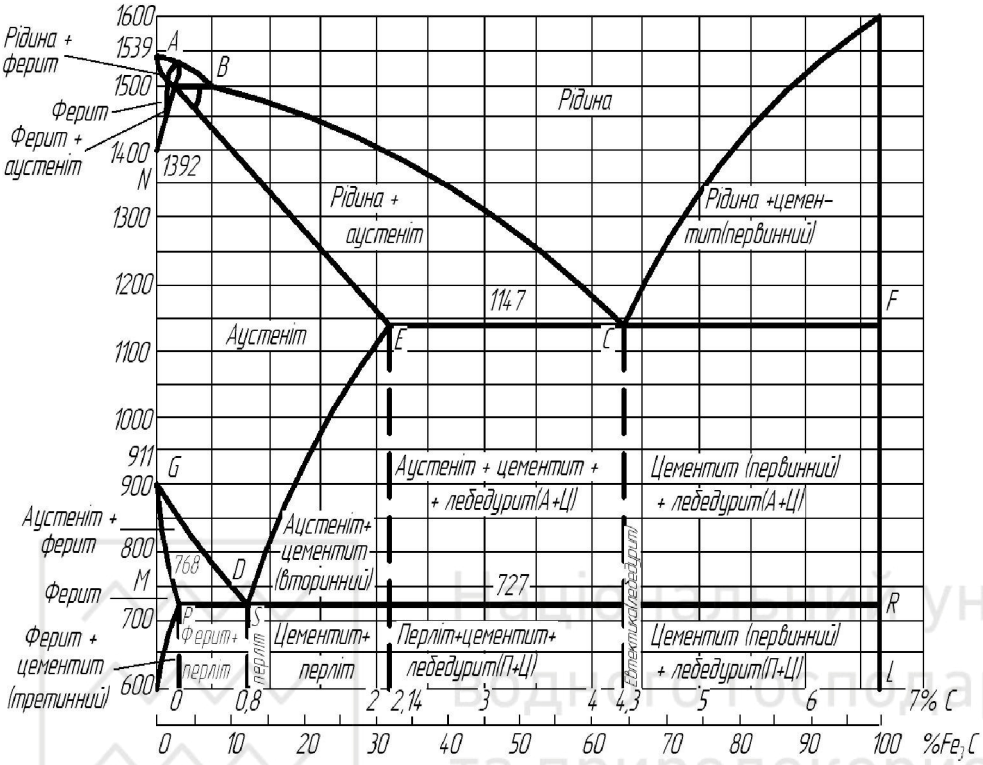

Рис. 4.4. Діаграма стану залізовуглецевих сплавів
Fig. 4.4. Diagram of state of iron-carbon alloys

У точці S, що відповідає вмісту вуглецю 0,8%, при температурі 727° С аустеніт повністю розпадається, утворюється перліт. Сталь, що містить 0,8% вуглецю, називають *евтектоїдною*. Її структура складається з перліту. Сталь, що містить менше 0,8% вуглецю, називають *доевтектоїдною*, а сталь з вмістом більше 0,8% вуглецю – *заевтектоїдною*. В до евтектоїдній сталі при повному охолодженні виходить структура, що складається з рівномірно розподілених зерен перліту і фериту. В заевтектоїдній сталі при повільному охолодженні утворюється структура, що складається з перліту і вторинного цементиту. При цьому вторинний цементит розташований у вигляді тонкої сітки по межах колишніх аустенітних зерен.

Сплав, що містить до 0,02% вуглецю, не має перліту в структурі після завершення всіх перетворень Такий сплав часто називають *технічним залізом*. Структура технічного заліза являє собою зерна фериту або ферит з невеликою кількістю третинного цементиту.

Лінія GSE діаграми називається лінією верхніх критичних точок або лінією початку перетворення аустеніту. Лінія PSK діаграми (температура 727 °С) називається лінією нижніх критичних точок або лінією перлітного перетворення.

Alloys of iron highest carbon, containing up to 6.67% of carbon (steel and cast iron), have practical importance. That is why they consider the diagram of state of iron alloys with carbon only until this very concentration that is considered a diagram of iron-cementite (Fe-Fe_3C), (fig. 4.4).

Carbon content from 0 up to 6.67% is indicated on the horizontal axis of the diagram. Left vertical axis corresponds to 100% of iron content. It shows the melting temperature of iron and its polymorphic transformations. Right vertical axis corresponds to 100% content of cementite.

The line ABCD in the diagram is a *liquidus line*. At a liquidus temperature the crystallization begins: AB zone - ferrite, BC zone – austenite, and CD zone - primary cementite. The AHJECF line is a *solidus line* – the end of solidification of the melt.

The main role on the diagram of state of iron-carbon alloys belongs to its left part - steels (up to 2.14% C).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

In point S, corresponding to the carbon content of 0.8%, at temperature 727° C, austenite completely disintegrates and perlite is formed. The steel containing 0.8% carbon is called *eutectoid*. Its structure consists of perlite. The steel, containing less than 0.8% carbon, is called *hypoeutectoid*, and the steel, containing more than 0.8% carbon – *hypereutectoid*. In the hypoeutectoid steel at complete cooling, the structure is formed, consisting of evenly spaced grains of perlite and ferrite. In the hypereutectoid steel during slow cooling, structure is formed, consisting of perlite and secondary cementite. Secondary cementite is in the form of a fine grid on the borders of the former austenitic grains.

The alloy, containing up to 0.02% carbon has no perlite in the structure after the completion of all such transformations. This alloy is often called *technical iron*. The structure of technical iron is grains of ferrite or ferrite with a small amount of tertiary cementite.

Line GSE of the diagram is called a line of upper critical points or line of the beginning of the transformation of austenite. Line PSK of the diagram (temperature 727° C) is called a line of lower critical points or line of perlite transformation.

4.10. Доменний процес
Blast-furnace process

Доменний процес складається з трьох стадій: відновлення заліза з оксидів, що містяться в руді, навуглецювання заліза та шлакоутворення. Сировинними матеріалами є залізні руди та флюси. Залізні руди до плавлення піддають попередній обробці та дробінню, збагаченню і грудкуванню. Збагачують подрібнену руду найчастіше магнітною сепарацією.

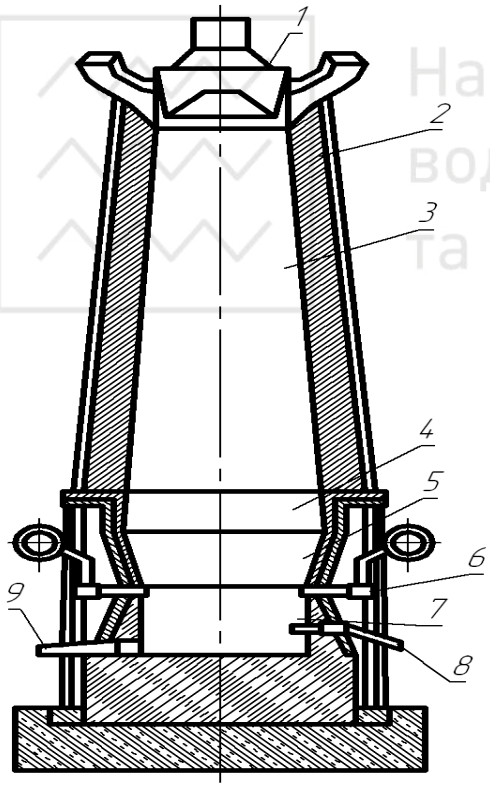

Рис. 4.5. Схема доменної печі:
1– засипний апарат; 2– колошник;
3– шахта; 4– розпар; 5– заплечики;
6– повітряні фурми; 7– горн;
8– летка для випуску шлаку;
9– летка для випуску чавуну
Fig. 4.5. Scheme of the blast furnace:
1- charging equipment; 2- bell and hopper; 3- mine; 4- bosh; 5- shoulders; 6- blower nozzle; 7- hearth; 8- spout for the slag output; 9- spout for the cast iron output

Основне паливо при плавленні чавуну – кокс, який є джерелом тепла та безпосередньо бере участь у навуглецюванні заліза. Флюси (вапняки, доломіти або пісковики) застосовують для зниження температури плавлення пустої породи та зв'язування її з золою палива у шлак.

Доменна піч – це вертикальна шахта зі стінами із вогнетривкої цегли, розміщеними у сталевому кожусі (рис.4.5). Зверху у піч пошарово завантажують підготовлені сировинні матеріали. Внаслідок горіння коксу за наявності кисню повітря, що нагрівається у нижній частині печі, утворюється оксид вуглецю, який відновлює залізо з руди і може хімічно взаємодіяти з ним. Водночас з відновленням заліза відновлюються кремній, фосфор, марганець та інші домішки.

Розплавлені при температурі 1380...1420° С чавун і шлак випускають через летки. Чавун розливається у форми, а шлак йде на переробку. У доменних печах виплавляють чавун, призначений для виробництва сталі, ливарний – для отримання різноманітних чавунних виробів, спеціальні чавуни (феросиліцій, феромарганець), які використовують у виробництві сталі як розкислювачі або легуючі добавки.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Blast-furnace process consists of three stages: iron reduction from the oxides, containing in ore, iron carbonization and slag-forming. The iron-ore and fluxes are the raw materials. Iron ores are subjected to the previous processing and crushing, to concentration and pelletizing before the melting. The crushed iron-stones are often concentrated by the magnetic separation.

The basic fuel at melting of cast-iron is coke which is the source of heat and directly participates in the iron carbonization. Fluxes (limestones, dolomites or sandstones) are applied to reduce the temperatures of melting of spoil and binding it with the ash of fuel in slag.

The *blast furnace* is a vertical mine stack with walls made of fireproof brick, placed in a steel jacket (fig. 4.5). The prepared raw materials are layerwise stoked from above in a furnace. As a result of coke burning at presence of oxygen from the air, which is heated in the underbody of furnace, the carbon oxide forms, which reducts iron from ore and can chemically react with it. At the same time the silicon, phosphorus, manganese and other admixtures are reduced.

Molten at a temperature of 1380…1420°C the cast-iron and slag is passed through the notch. Cast-iron is teemed into forms, and a slag goes on the reprocessing. The cast-iron, smelted in the blast furnaces intended for a steel production, foundry-iron – for obtaining various cast-iron elements. Special types of cast-iron (ferrosilicon, ferromanganese) are used in a steel production as the deoxidizing agents or alloy additions.

4.11. Мартенівський і конверторний способи виплавлення сталі
Open-hearth and converter method of steel smelting

При *мартенівському способі* сталь виплавляють у мартенівських печах, в яких спалюється газ або мазут, а у спеціальних камерах-регенераторах нагрівається повітря і газоподібне паливо за рахунок акумульованої теплоти відхідних продуктів горіння. Шихта містить чавун і металевий брухт - скрап та залізну руду. Сталь одержують внаслідок плавлення шихти, при якому утворюється велика кількість закисного заліза, окислення вуглецю та інших домішок і розкислення-відновлення заліза добавками феросиліцію, феромарганцю або алюмінію.

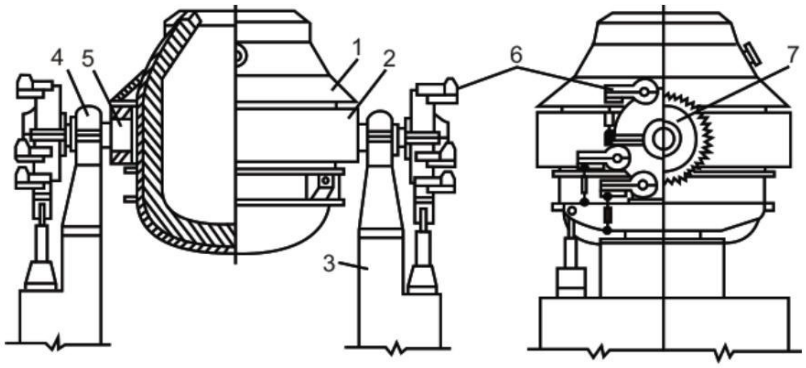

Рис.4.6. Схема кисневого конвертора: 1 - захисний кожух; 2 - опірне кільце; 3 - станина; 4 - підшипник; 5 - цапфа; 6 - електродвигун; 7 - зубчасте колесо
Fig. 4.6. Chart of the oxygen converter: 1 - protective case; 2 - mantle ring; 3 - support frame; 4 - bearing; 5 - journal; 6 - mounted electromotor; 7 - follower gear.

Конверторний спосіб виробництва сталі полягає у продуванні повітря або кисню через розплавлений чавун, налитий у конвертор (рис. 4.6). Після закінчення процесу конвертор повертають горизонтально, припиняють дуття, перевіряють склад сталі та виливають її у ківш. Нині поширений *киснево-конверторний спосіб*, при якому дуття здійснюється чистим киснем. Киснево-конверторний спосіб характеризується високою продуктивністю, не потребує великих капітальних витрат і палива. Коефіцієнт використання теплоти при цьому способі становить близько 70 %.

At *open-hearth method* steel is smelted in open-hearth furnace, where gas or fuel oil is burned, and in the special chambers- regenerators air and gas fuel are heated due to the accumulated warmth of rejected burning products. The charge contains iron and metal scrap - debris and iron ore.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Steel is produced as a result of charge melting, at which appears large amount of protoxide iron; products of oxidization of carbon and other admixtures and deoxidation- reduction of iron from a protoxide by additions of ferrosilicon, ferromanganese or aluminum.

Converter method of steel production consists in blowing out air or oxygen through the cast-iron, poured in a converter (fig. 4.6). Upon the termination of process the converter is returned horizontally, the blowing is stopped, steel composition is checked up and outpoured in a scoop. At present oxygen-converter method at which blowing is carried out with the clean oxygen is widespread. *Oxygen-converter method* is characterized with a high productivity, does not need large capital investments and fuel. Coefficient of heat use at this method is about 70%.

4.12. Електроплавильний спосіб. Електрошлакове та плазменно-променеве переплавлення
Electro-smelting method. Electroslag, plasma-arc and electron-beam remelting

У електричних печах виплавляють якісну сталь, яка має високу чистоту та добру розкисленість. Основним матеріалом для електроплавлення сталі є сталевий брухт.

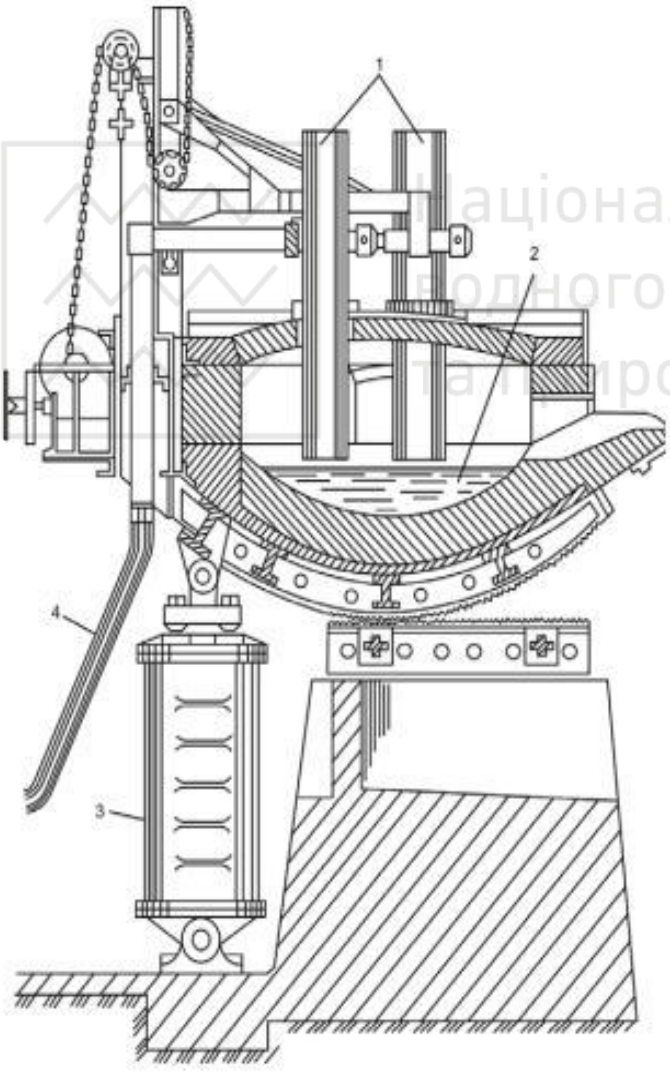

Рис. 4.7. Дугова електрична піч для плавлення сталі: 1– електроди; 2– ванна; 3– механізм для повертання ванни; 4– електрокабель
Fig. 4.7. The electroarc furnace for the steel smelting: 1- electrodes; 2- bath; 3- mechanism for the bath overturn; 4- electricity cable.

Електроплавлення ведуть у дугових (рис. 4.7) або індукційних печах. У дугових печах метал нагрівається за рахунок теплоти, що виділяється електричною дугою, яка утворюється між електродом та розплавленим металом, у індукційних – за рахунок струмів високої частоти.

Прогресивним є спосіб отримання сталі за допомогою *дуплекс-процесу*, коли рідкий чавун переробляють у сталь у конверторах, а потім в електропечах сталь доводять до заданого хімічного стану.

Сучасними методами отримання сталі є електрошлакове та плазменно-променеве переплавлення. При *електрошлаковому переплавленні* високоякісні леговані сталі отримують із злитків звичайної сталі, які плавляться за рахунок теплоти, що виділяється при проходженні крізь них електричного струму. Розплавлений метал проходить крізь шар рідкого шлаку та очищується від шкідливих домішок та газів. При *плазменно-променевому переплавленні* джерелом теплоти є плазмова дуга, а при *електронно-променевому* – потік електронів, що випромінюються

Національний університет
водного господарства
та природокористування
кобальтовою гарматою з утворенням у плавильному просторі глибокого вакууму.

In the electric furnaces the high-quality steel is smelted, which has a high purity and good deoxidation. The steel scrap is a basic material for the electro-smelting of steel.

Electro-smelting is carried out in arc (fig. 4.7) and induction furnaces. In arc furnaces metal is heated due to the heat of the electric arc, which appears between an electrode and molten metal, in induction one - due to the high frequency currents.

Steel production by *duplex process* is a progressive method, when liquid cast-iron is processed into steel in the converters, and then in electric furnaces steel is taken to the set chemical state.

The electroslag, plasma-arc and electron-beam remelting are the modern methods of steel production. High-quality alloyed steel is manufactured from the bars of ordinary steel at the *electroslag remelting*, which melts due to a heat, which is generated at passing of the electric current through them. A molten metal passes through the layer of liquid slag and clears up from harmful admixtures and gases. At the *plasma-arc remelting* plasma arc is a source of the heat, and at *electron-beam remelting* – electrons flow which is emanated by the cobalt unit with forming of deep vacuum in the melting space.

4.13. Термічна обробка металів
Heat treatment of metals

Ефективним способом цілеспрямованої зміни структури металів з метою отримання потрібних властивостей є *термічна обробка*. Термічна обробка металевих матеріалів полягає у нагріванні їх до проектної температури, витримуванні та охолодженні із заданою швидкістю до певної температури. Процеси термічної обробки поділяють на власно термічну обробку під дією лише теплоти - загартовування, відпалювання, відпускання, нормалізацію; термомеханічну обробку при комбінованій дії теплоти та пластичного деформування; хіміко-термічну обробку при поєднанні дії теплоти та зміни хімічного складу металу.

Загартовування металів полягає у нагріванні їх до температури не нижче критичних точок, тобто точок на діаграмі стану, яри яких якісно змінюється фазовий стан сплавів, наступному витримуванню та швидкому охолодженні. Загартовуючі вуглецеві та низьколеговані сталі, прагнуть отримати голчасту структуру мартенситу. Структура мартенситу - найтвердіша та крихка структура сталі.

Для усунення внутрішніх напружень, що виникають при загартуванні сплавів, і досягнення найкращої комбінації міцності та пластичності їх піддають *відпусканню*-нагріванню до температури нижче нижніх критичних точок. Розрізняють низьке, середнє та високе відпускання. Температура нагрівання при низькому відпусканні становить 150...200°С, а при високому – 600...650° С. Під час відпускання сталі мартенсит переходить у більш стійкі структури.

Якщо потрібно зменшити твердість, підвищити пластичність і в'язкість металів, їх оброблюваність, то застосовують *відпалювання.* Характерною особливістю відпалювання є повільне охолодження, якого досягають під шаром піску, попелу, шлаку тощо. При відпалюванні сталей після попереднього нагрівання утворюється аустенітова структура, яка, повільно охолоджуючись, переходить до рівноважної структури відповідно до діаграми стану.

Для досягнення дрібнозернистої однорідної структури з дещо меншою пластичністю, але з більш високою твердістю, ніж після відпалювання, здійснюють *нормалізацію сплавів*, відмінною особливістю якої є охолодження на повітрі. Нормалізація є простішим видом обробки порівняно з відпалюванням. Вона підвищує твердість і дає змогу отримати чистішу поверхню сталі при різанні.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

В останні роки розширюється поверхнева обробка виробів за допомогою оптичних квантових генераторів (лазерів). Порівняно з іншими видами термічної обробки *лазерне нагрівання* має такі переваги: можливість обробки важкодоступних місць та поверхонь деталей складної конфігурації; відсутність короблення та деформації деталей; можливість передавання енергії променя на великі відстані та обробка деталей, виготовлених з будь-яких матеріалів (чавунів та сталей, кольорових і твердих сплавів, порошкових металів); висока швидкість процесу тощо. Застосування сучасних лазерних установок забезпечує можливість повної механізації та автоматизації процесу.

The effective method of purposeful change of the metal structure to obtain required properties is *heat treatment*. Heat treatment of metal materials consists in heating of them to the required temperature, curing and cooling with specified rate to the certain temperature. The processes of heat treatment are divided into heat treatment itself under the action of the heat only - heat hardening, annealing, tempering, normalization; thermo-mechanical treatment at the combined action of heat and plastic deformation; chemical-thermal treatment at combination of action of heat and change of chemical composition of metal.

Heat hardening of metals consists in their heating to the temperature not below the critical points that are the points on the phase diagram, at which the phase state of alloys quality changes, their next curing and fast cooling. The heat hardening carbon and lowalloyed steels have an aim to get the needle-shaped structure of martensite. Structure of martensite is the most solid and brittle structure of steel.

To remove the internal stresses, which arise up at heat hardening of alloys, and achievement of the best combination of the strength and plasticity they are subjected to *tempering*- that is to the heating till temperature below the lower critical points. There are distinguished low, middle and high tempering. Temperature of heating at low tempering is150…200° C, and at high tempering – 600…650° C. During the tempering of steel the martensit transforms into more stable structures.

If it is required to reduce brittleness, to increase plasticity and viscidity of metals, their workability, *annealing* is applied. The characteristic feature of annealing is slow cooling, which is achieved under the layer of sand, ash,slag etc. At annealing of steels after the previous heating austenite structure forms, which slowly cools down, transforms to the equilibrium structure in accordance with the phase diagram.

For achievement of fine-grained homogeneous structure with lower plasticity, but with higher brittleness, than after annealing, *normalization* of alloys is conducted, the peculiarity of which is air cooling. Normalization is more simple type of treatment comparing with annealing. It promotes brittleness and enables toget the cleaner surface of steel at cutting.

The surface treatment of products by the optical quantum generators (lasers) spreads at the last years. Comparatively with other kinds of heat treatments the *laser heating* has such advantages: possibility of treatment of the out-of-the-way places and surfaces of details of the complicated configuration; absence of warping and deformation of details; possibility of ray energy passing on the large distances and treatment of details, making from any materials (cast irons and steels, non-ferrous and solid alloys, powdered metals); high speed of the process and others like that. Application of modern laser devices provides possibility of complete mechanization and automation of the process.

4.14. Термомеханічна і хіміко-термічна обробка металів
The thermomechanical and thermochemical treatment of metals

Термомеханічна обробка металів включає нагрівання, пластичне деформування та охолодження металу, поєднані в єдиній технологічній схемі. Суть поєднаного процесу полягає в тому, що заготовки відразу після закінчення гарячої обробки тиском (кування, прокатування) загартовують. При цьому заготівки спеціально не нагріваються, а

Національний університет
водного господарства
та природокористування

використовується залишкова теплота після гарячого формування. Внаслідок цього економиться паливо для нагрівання під загартування, зменшується потреба у нагрівальних печах, скорочується час на виготовлення деталей та суттєво поліпшуються механічні властивості.

Хіміко-термічна обробка металів полягає у насиченні поверхні виробів вуглецем, азотом, алюмінієм та іншими елементами. Цьому виду обробки піддають вироби, призначені для роботи на стирання у комбінації з ударними навантаженнями, тобто у тих випадках, коли вони повинні мати високу твердість поверхневих шарів при досить в'язкій серцевині. Залежно від особливостей деформованого елементу можна впливати також на міцність від утоми, підвищувати опір поверхні матеріалу дії зовнішніх агресивних средовищ тощо.

Найчастіше використовують *цементацію* – насичення сталі вуглецем. Поверхневий шар низьковуглецевих сталей під час цементації навуглецьовується до 0,8...1,1% С і піддається термічній обробці, внаслідок якої набуває структури мартенситу. При навуглецьовуванні вироби розміщують у стальні ящики, засипають цементаційною сумішшю, яка складається з активованого вугілля та вуглекислої солі, нагрівають до температури 900...950° С. Кисень повітря, нагріваючись з вуглецем, утворює оксид вуглецю, який у разі наявності заліза дисоціює з утворенням вуглецю.

Крім цементації використовують азотування, цианування, алюмінування, хромування, та інші види хіміко-термічної обробки металів.

The *thermomechanical treatment* of metals includes heating, plastic deformation and cooling of metal, combined in the single technological process. The essence of combined process consists in the hardening of part blanks just after the end of hot-plastic working (forging, rolling). At the same time part blanks are specially not heated, but remaining heat is utilized after a hot molding. Due to that fuel is saved for heating at hardening, demand in heater furnaces diminishes, time on making the details shortens and mechanical properties are substantially improved.

The *chemical thermal treatment* of metals consists in the saturation of products surfaces with the carbon, nitrogen, aluminum and other elements. Products, assigned for the high weathering in combination with the shock loadings, are subjected to this type of treatment. Such wares must have high hardness of surface coatings and enough viscid core. Depending on the peculiarities of the deformed product it is possible to influence also on the fatigue strength, to promote resistance of material surface to the action of external aggressive environments etc.

More frequently *cementation* - saturation of steel with a carbon - is used. Surface layer of low-carbon steels during the cementation carbonizes to 0.8…1.1% C and is subjected to the heat treatment, resulting martensite structure forming. At the carbonization the products are placed in the steel boxes, filled with the grout mixture which consists of activated carbon and carbonate, heated to the temperature 900…950° C.Oxygen of air, heating with carbon, forms the carbon oxide which in the case of presence of iron dissociates with formation of carbon.

The nitriding, cyanidation, aluminizing, chromium coating, and other types of the chemical-thermal treatment of metals are used except of the cementation.

4.15. Обробка металів тиском
Metal forming

Обробку металів тиском здійснюють прокатуванням, волочінням, пресуванням, куванням та штампуванням. Ці способи ґрунтуються на використанні пластичної деформації холодного або нагрітого металу під дією валків, штампів, бойків тощо.

При пластичному деформуванні металів змінюється не лише їхня форма, але й структура – відбувається витягування зерен, подрібнення їх. Обробка металів у холодному стані приводить до *наклепу* - підвищенню границі міцності та твердості при зниженні пластичної та ударної в'язкості. Значно впливає на деформаційне зміцнення температура.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Якщо температура підвищується, то пластичність безперервно зростає, а опір деформуванню зменшується. У міру нагрівання відбувається перекристалізація, відновлюється попередня структура матеріалу. Опір металів деформуванню зростає, якщо збільшується швидкість деформації.

Прокатуванням називають обробку металів тиском, при якій деформація здійснюється здавлюванням між циліндрами (валками) прокатного стану, що обертаються (рис. 4.8). Вихідними матеріалами для отримання прокатних виробів є литі заготовки, а готовою продукцією – різноманітні профілі.

Волочіння – це обробка металів тиском при протягуванні дроту, прутка або труби крізь отвір матриці з перерізом, меншим за вихідний переріз заготівки. За допомогою волочіння вироби набувають заданої геометричної форми, точних розмірів, чистої поверхні. Волочіння металів здійснюють переважно у холодному стані на спеціальних волочильних станках (рис. 4.8).

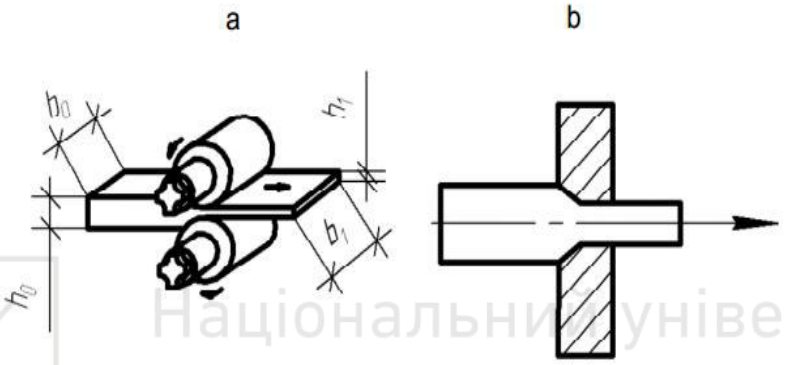

Рис. 4.8. Обробка металів тиском: a– прокатування; b– волочіння
Fig.4.8. Metal forming: a- rolling; b- dragging.

Пресування – продавлювання пластичних матеріалів, що містяться у контейнері, крізь вихідний отвір матриці. Цей метод обробки тиском застосовують переважно для виготовлення виробів різноманітних профілів з кольорових металів, а у деяких випадках також із сталі.

Кування та *штампування* – це процеси обтиснення металевої заготовки між двома бійками або у штампах з метою отримання виробів заданої форми. При куванні та штампуванні деталі отримують, деформуючи гарячі (а при штампуванні й холодні) заготівки навантаженням із застосуванням молотів або пресів.

Metal forming is carried out by rolling, dragging, pressing, forging and punching. These methods are based on the use of plastic deformation of the cold or heated metal under the action of rollers, stamps, peens and others.

Not only their form but also structure changes at the plastic deformation of metals - there is stretching of grains, grinding of them. Treatment of metals in the cold state results in *cold-hardening* - the increasing of ultimate strength and hardness and the declining of ductile and shock viscidity. The temperature considerably influences on the strain hardening. If temperature rises, ductility grows continuously, and deformation resistance diminishes.Within reasonable limits of heating there is the recrystallization, the previous structure of material recommences. The deformation resistance of metals grows, if the speed of deformation increases.

Rolling – metal forming, at which the deformation is carried out with squeezing between the cylinders (rollers) of rolling mill, which are revolved (fig. 4.8a). The initial materials for the production of rolled products are casting blocks, and final products are various sections.

Dragging is a treatment of metals by pressure by pulling of wire, stick or pipe through the opening of matrix with a section, smaller than initial section of blank. The products obtain the

Національний університет
водного господарства
та природокористування

specified geometrical shape, exact sizes, clean surface by dragging. Dragging of metals is carried out mainly in the cold state in the special draving benches (fig. 4.8b).

The *compacting (pressing)* is punching shear of ductile materials through the opening of matrix. This method of ductile working is applied mainly for manufacturing products of various types from the nonferrous metals and in some cases also from steel.

Forging and *stamping* - a compressing processes of metal blanks between two peens or stamps to obtain products desired shape. In the forging and stamping parts obtained by deforming the hot (and at stamping and cold) workpiece load, using hammers or presses.

4.16. Сортова та листова сталь
Steel shape and sheet steel

Сортова сталь включає профілі масового попиту (круглу, квадратну, кутикову сталь, швелери, двотаврові балки) та профілі спеціального призначення (рейки та ін.). З сортової сталі у будівництві найширше використовують кутикові профілі, двотаври, швелери (рис. 4.9).

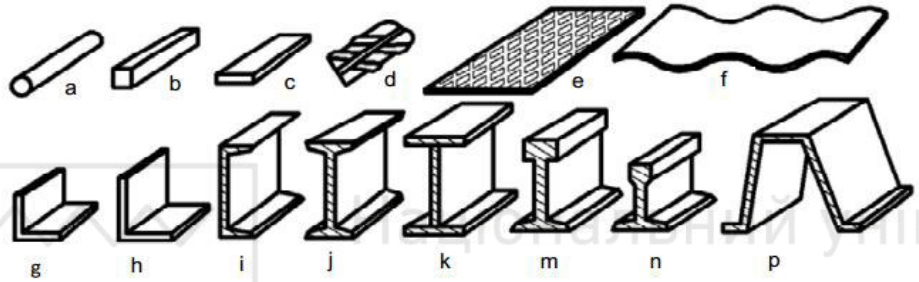

Рис. 4.9. Сортамент сталей: a– кругла; b – квадратна; c – полосова; d – періодичного профілю; e – рифлена; f – хвиляста; g – кутова рівнобока; h – кутова нерівнобока; i – швелер; j – двотавр; k – двотавр зварний; m – рейки кранові; n – рейки залізничні; p – шпунтова паля
Fig. 4.9. The assortment of steel: a- round; b- square; c- strip line; d- die-rolled section; e- channeled; f- corrugated; g - L-equilateral; h – L-scalene; i- channel; j - double-T; k- welded double - T; m - crane rails; n- railway rails; p - grooved pile

Кутиковий профіль може бути двох типів: рівнополичковий та нерівнополичковий. Найлегші кутикові профілі мають розміри 20×20 мм та товщину 3 мм (20×3), а найважчі – відповідно 250×250 та 30 мм (250×30).

Двотаври та *швелери* вибирають за номерами, що відповідають їхній висоті в міліметрах. Номери двотаврів змінюються від 10 до 60, швелерів – від 5 до 40. Двотаври прокатують завдовжки до 19 м, швелери – до 18 м. їх застосовують в основному як балки, що працюють на згин та осьове навантаження. Швелери відрізняються від двотаврів зсунутою до краю полиць стінкою. Форма швелерів спрощує кріплення до їхніх стінок інших елементів. Швелери широко використовують як прогони покрівель промислових споруд.

Останніми роками металургійна промисловість почала поставляти полегшені двотаврові балки, головною відмінною рисою яких є більш тонкі стінки.

Листову сталь, залежно від товщини листів, розподіляють на товстолистову (4...16 мм), тонколистову (0,2...4 мм), універсальну широкополичкову (4...60 мм), сляби (60...200 мм), рулонну та рифлену.

Тонколистова сталь має вигляд листів завширшки 8500 мм та завдовжки до 12 мм. Найширше у будівництві використовують сталеві листи завтовшки до 40 мм. Листи тонколистової сталі мають довжину до 4 м, ширину – 600...1400 мм. Її застосовують при виготовленні гнутих тонкостінних профілів та профільованого настилу. Виготовлення гнутих профілів дає змогу суттєво спростити технологію виробництва деталей та зекономити до 10% металу. Профільований настил використовують для влаштування легкої та зручної при монтуванні покрівлі.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The steel shape includes the sections of popular demand (round, square, L-steel, channels, I-beams) and sections of the special assignments (rails and others). The L-steel, I-beams and channels bars are most widely used in construction (fig. 4.9).

The *angle sections* are divided into two types: equal and unequal. The lightest angle sections have sizes 20×20 mm and thickness 3 mm (20×3), and the heaviest - correspondingly 250×250 and 30 mm (250×30).

The *beams* and *channel* are selected by the numbers which correspond to their height in millimeters. The numbers of I-beams vary from 10 to 60, channel bars - from 5 to 40. The I-beams are rolled with long up to 19 m, channel bars – up to 18 m. They are applied mainly as beams which work on a bend and axial loading. Channel bars differ from the I-bars with the moved wall to the edge of shelves. The form of channel bars simplifies assembling their to walls of other elements. Channel bars are widely used as the roof beams of industrial buildings.

In the last years metallurgical industry started to supply lightweight I-beams, the main distinguishing feature of which are thinner walls.

Sheet steel depending on the thickness of sheets is divided onto the thick sheet steel (4…16 mm), thin sheet steel (0.2…4 mm), universal wide strip steel (4…60 mm), slabs (60…200 mm), roll and corrugated steel.

The thick sheet steel is in the form of the sheets with width of up to 8500 mm and up to 12 m in length. Steel sheets up to 40 mm thick are the most widely used in construction. Sheets of the thin steel have length up to 4 m, width – 600…1400 mm. They are applied at production of bent slender sections and profilled decking. Manufacturing of bent sections enables to simplify substantially production technology of details and save up to 10% of metal. Profilled decking is used for arranging of light and comfortable at the assembling roof.

4.17. Арматурний прокат
Reinforcing bar

Основним видом спеціального прокату для будівництва є *арматурна сталь* (рис.4.10). Вона поділяється на класи залежно від показників механічних властивостей (встановлених стандартом нормованих значень границі текучості та тимчасового опору розхриванню в Н/мм^2, а також відносного видовження після розривання в %).

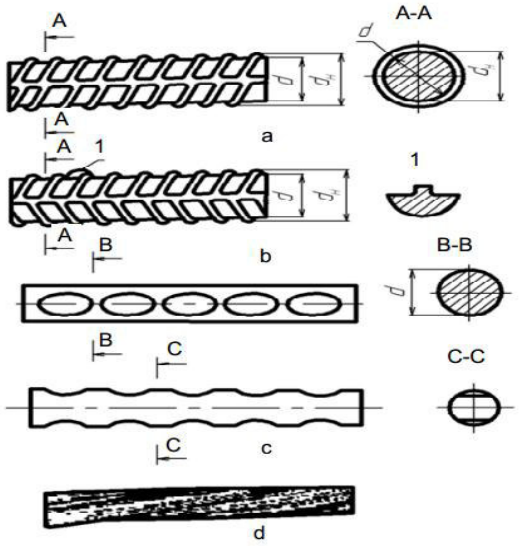

Рис. 4.10. Арматурна сталь: a, b – різновиди пруткової арматури; c – дріт періодичного профілю; d – семидротяне арматурне пасмо
Fig. 4.10. Reinforcing steel: a, b- varieties of rebars; c- wire of die-rolled section; d- seven-wire strand

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Залежно від здатності до зварювання і корозійного розтріс-кування арматурний прокат поділяють на:

-незварюваний;

-зварюваний;

-нетривкий до корозійного розтріскування;

-тривкий до коро-зійного розтріскування під напругою;

-зварюваний та тривкий до корозійного розтріскування під напругою.

Арматурний прокат виготовляють з гладким та періодичним профілем. Прокат гладкого профілю виготовляють номінальним діаметром від 5,5 мм до 40 мм, періодичного профілю – від 6,0 мм до 40 мм.

Арматурний прокат постачають у прутках і мотках. Прутки повинні мати поперечні виступи серповидної форми, які не з'єднуються з поздовжніми виступами.

Арматурний дріт випускають діаметром 3...8 мм та поділяють за формою поперечного перерізу на дріт гладкого і періодичного профілю.

The main type of special rolled product for the building is reinforcing bar (fig.4.10). It is divided into classes (table 4.4.) based on indicators of mechanical properties (established standard normalized value of yield strength, and tensile strength, N/mm^2 and relative elongation ofter break, %).

Depending on the ability to weld and corrosion cracking reinforcing bar are divided into:

- not weldable;
- weld able;
- not resistant to corrosion cracking;
- resistant to corrosion cracking at loading;
- weldable and resistant to corrosion cracking at loading.

Reinforcing bar made of smooth profile with nominal diameter from 5.5 mm to 40 mm and periodic profile – from 6.0 mm to 40 mm.

Supplying reinforcing bar in bars and coils. The bars should have transverse projections crescent shape that are not connected with longitudinal ridges.

Produce reinforcing with diameter 3...8 mm is are divided by the cross sectional shape on a smooth wire and the periodic profile.

4.18. Металеві труби
Metal pipes

Для зведення башт, щогл та інших ґратчастих конструкцій широко використовують *металеві труби*. Металеві труби застосовують для напірних трубопроводів, прокладці трубопроводів у важкодоступних місцях, коли використання труб з других матеріалів неможливе. Стальні труби застосовують в трубопроводах з робочим тиском більше 1,5 МПа, чугунні – більше 1,2 МПа. Труби, що працюють під тиском піддаються гідравлічному тиску (Р), МПа, який розраховують за формулою:

$$P = \frac{20S\sigma_g}{D_{вн}}, \qquad (4.1)$$

де S – мінімальна товщина стінки, мм; σ_g – напруження, що допускається; $D_{вн}$ – внутрішній діаметр труби, мм.

За способом виготовлення труби поділяють на безшовні гарячо- та холоднoформовані та електрозварні з поздовжнім прямим або спіральним швом.

Для транспортування води при робочому тиску до 2 МПа широко застосовують стальні електрозварні труби з внутрішнім цементно-піщаним і зовнішнім бітумним або другим захисним покриттям. Різновидом стальних труб з антикорозійним покриттям є

Національний університет
водного господарства
та природокористування

тонкостінні оцинковані труби. Їх застосовують для вкладання, наприклад, трубопроводів зрошувальних систем з тиском 0,8…1,5 МПа.

Поряд із круглими зварними трубами для сталевих конструкцій використовують квадратні та прямокутні гнутозварені труби.

The metal pipes are widely used for the constructions of towers, masts and other truss structures. The metal pipes are applied for the pressure pipings, to the pipelining in out-of-the-way places, and also when the use of pipes made of other material is impossible. The steel pipes are applied in pipelines with the operation pressure more than 1.5 MPa, cast-iron – more than 1.2 MPa. Stand-pipes are subjected to the hydraulic pressure (P), MPa which is calculated by a formula:

$$P = \frac{20S\sigma_p}{D_{int}}, \qquad (4.1)$$

where S – minimum thickness of wall, mm; σ_g – permissible stress; D_{int} – internal diameter of pipe, mm.

Depending on the production method the pipes are divided into the seamless hot-drawn and cold-drawn and electric-welded with longitudinal or spiral seam.

The steel electric-welded pipes with internal cement-sand and external bituminous or other coating are widely applied for water transporting at the operating pressure up to 2 MPa. The type of the steel pipes with anticorrosive coating is galvanized thin-walled pipes. They are applied for placing of the pipelines for example of the irrigative systems with pressure 0.8…1.5 MPa.

Along with the round welded pipes for steel constructions square and rectangular welded pipes are applied.

4.19. Корозія металів
Corrosion of metals

Хімічна корозія металів спостерігається у сухих газах та неелектролітах. У першому випадку метали руйнуються, взаємодіючи з газами та парами при температурі понад 100°С (окислення металу під час нагрівання, корозія пічної арматури, лопатей парових і газових турбін), у другому - корозія відбувається у нафті, бензині, мастилах тощо.

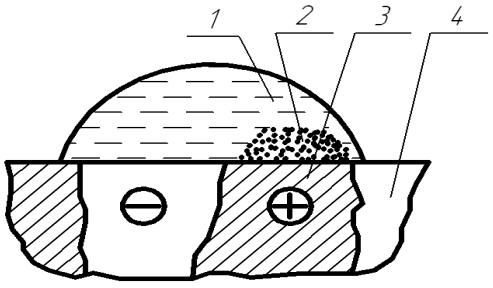

Рис. 4.11. Схема електрохімічної корозії сталі: 1– вода; 2– продукти корозії; 3– цементіт; 4– ферит
Fig. 4.11. Scheme of electrochemical corrosion of steel: 1- water; 2- products of corrosion; 3- cementite; 4- ferrite

Найбільше метали руйнуються внаслідок *електрохімічної корозії*, тобто під дією електролітів - водних розчинів солей, кислот і лугів. Цей вид корозії відбувається в атмосферних умовах, при дії морських, річкових, ґрунтових та інших вод.

У залізовуглецевих сплавах анодом здебільшого є ферит, а катодом – цементит або неметалеві включення (рис. 4.11).

Особливо інтенсивно протікає електрохімічна корозія при періодичному впливі електроліту на метал, наприклад, у разі попереднього зволоження та висушування металевих конструкцій гідротехнічних споруд.

Корозія металів прискорюється під дією електричного струму. *Електрокорозія металів* відбувається при підключенні конструкції до додаткового джерела струму, наприклад, якщо проходить трубопровід несучих трамвайних рейок. Активному протіканню процесу корозії сприяє вуглекислий та сірчистий гази, хлорид водню та хлористі солі.

Корозійну стійкість різних металів порівнюють за єдиною шкалою (табл. 4.4).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Таблиця 4.4

Шкала корозійної стійкості металів

Група стійкості	Швидкість корозії, мм за рік	Бал	Група стійкості	Швидкість корозії, мм за рік	Бал
Цілком стійкі	Менше як 0,001	1	Понижено стійкі	0,1...0,5	6
Досить стійкі	0,001...0,005	2		0,5...1	7
Стійкі	0,005...0,01	3	Малостійкі	1...5	8
	0,01...0,05	4		5...10	9
	0,05...0,1	5	Нестійкі	Понад 10	10

Боротьба з корозією металоконструкцій у будівництві - найважливіша народногосподарська задача. У всьому світі близько 10% металу щороку втрачається внаслідок корозії.

Chemical corrosion of metals is observed in dry gases and nonelectrolytes. In the first case the metals collapse, reacting with gases and vapour at a temperature over 100°C (oxidization of metal during heating, corrosion of the furnace accessories, blades of steam and gas turbines). In the second case - corrosion takes place in petroleum, petrol, oils etc.

The metals mostly collapse in result of *electrochemical corrosion*, i.e. under the action of electrolytes - water solutions of salts, acids and alkalis. This type of corrosion takes a place in atmospheric conditions, at the action of sea, river, underground and other types of water.

In the iron-carbon alloys mostly, ferrite is an anode, and the cementite or nonmetallic impurities are cathodes (fig. 4.11).

Especially intensively electrochemical corrosion flows at periodic influence of electrolyte on a metal, for example, in the case of the previous moistening and drying of metal constructions of hydrotechnical structures.

Corrosion of metals is accelerated by the action of electric current. *Electrocorrosion* of metals takes place during the connecting of construction to the source of current, for example, if the pipeline is located near-by tram-car rails. The carbon and sulphur dioxides, chloride of hydrogen and chlorous salts are instrumental in the active passing of corrosion process.

The corrosion resistance of different metals is compared with the unique scale (table 4.4).

The corrosion of the metal products control is a very important task. Annually, about 10% of metal are lost in result of corrosion in the whole world.

Table 4.4.

Scale of corrosion resistance of metals

Group of resistance	The corrosion rate, mm	Points	Group of resistance	The corrosion rate, mm	Points
High resistant	Less than 0.001	1	Reduced resistant	0.1…0.5	6
Enough resistant	0.001…0.005	2		0.5…1	7
Resistant	0.005…0.01	3	Low resistant	1…5	8
	0.01…0.05	4		5…10	9
	0.05…0.1	5	Nonresistant	More than 10	10

4.20. Захист металів від корозії
Protection of metals against corrosion

Для захисту металів від корозії застосовують різні методи. Найефективніше підвищують корозійну стійкість сталей добавки нікелю, хрому, фосфору і особливо міді; негативно впливає марганець. Поширеним методом підвищення корозійної стійкості

Національний університет
водного господарства
та природокористування

будівельних сталей є легування їх 0,2...0,4% Cu, при цьому стійкість проти корозії зростає на 20...30%.

Метали захищають від корозії, застосовуючи лакофарбові, неорганічні неметалеві та металеві покриття. Ефективні лакофарбові покриття розроблені на основі синтетичних полімерів. До металевих неорганічних покриттів належать найрізноманітніші захисні плівки: оксидні, фосфатні, цементні, азбестоцементні, емалеві та інші.

Металеві покриття розрізняють за механізмом захисної дії (анодні та катодні), а також за способом нанесення (гальванічні, металізаційні, нанесені з розплаву тощо): Анодне покриття характерне тим, що його електродний потенціал більш від'ємний, ніж у металі, який воно захищає. У разі пошкодження покриття руйнується з більшою швидкістю, виконуючи протекторну роль щодо основного металу. Для анодних покриттів сталі призначені переважно цинк і алюміній, для катодних - мідь, олово, нікель та ін. Якщо порушуються анодні покриття, то їхня захисна дія зникає.

Термін служби покриттів становить 25...50 років. Вони дають змогу забезпечити заміну високолегованих сталей низьколегованими, захист сталі у атмосферних умовах і при високій температурі, у морській воді тощо.

Серед кольорових металів для покриттів найперспективнішим є алюміній. Наносять захисні плівки з алюмінію та його сплавів за допомогою електродугових металізаційних апаратів, випаровуванням у вакуумі, електролітичним осадженням, плазмовим та лазерним напиленням.

Активним методом захисту від корозії є *електрохімічний метод*. Він ґрунтується на зміні електрохімічного потенціалу конструкцій завдяки поляризації їх постійним струмом від зовнішнього джерела або від протектора. При протекторному захисті (рис.4.12) до металу, який захищають від корозії, під'єднують цинкові протектори-аноди, які дають змогу захистити від корозії цінну конструкцію. Для захисту від корозії морських гідротехнічних споруд, магістральних трубопроводів та інших відповідальних конструкцій використовують катодний захист. У цьому випадку конструкцію, яку захищають, під'єднують до від'ємного полюса постійного джерела струму і сталь викопує роль катода. Анодом є металічний брухт, під'єднаний до позитивного полюса.

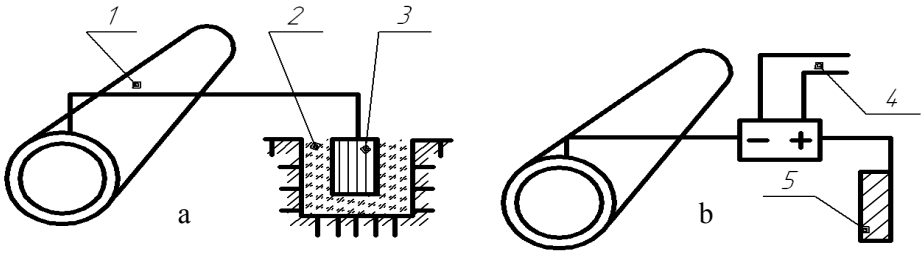

Рис. 4.12. Захист металевих требопроводів від корозії: а– протекторний; б– катодний; 1– труба; 2– засипка; 3– протектор; 4– джерело електричного струму; 5– метал
Fig. 4.12. The corrosion protection of metal pipelines: a- protector; b- cathode; 1- pipe; 2- filing up; 3- protector; 4- source of electric current; 5- metal

Швидкість корозії металів знижують за допомогою добавок інгібіторів та пасиваторів. Успішно гальмують корозійний процес у нейтральних та лужних середовищах сильні окислювачі - солі лужних та лужноземельних металів (хромати, нітрати та ін.). Використання добавок (зокрема нітрит-нітрат кальцію) ефективне при захисті від корозії стальної арматури в залізобетоні.

Different methods are applied for the metal protection against corrosion. The additions of nickel, chrome, phosphorus and especially copper effectively promote the corrosion resistance of steels, manganese influences negatively. The widespread method of increasing of the structural

Національний університет
водного господарства
та природокористування
steels corrosion resistance is their alloying with 0.2…0.4% Cu, at that the corrosion resistance grows on 20…30%.

Metals are protected from the corrosion by applying paints and varnishes, inorganic nonmetal and metal coatings. Effective varnish coatings are developed on the basis of synthetic polymers. The most various protective films belong inorganic coatings of metal: oxide, phosphate, cement, asbestos-cement, enamel and others.

Metal coatings differ by the mechanism of protective action (anodal and cathode), and also by the method of application (galvanic, metallizative, sprayed from the fusion, etc.). Anodal coating is characterized by more negative electrode potential, than in a metal which is protected. In the case of damage, the coating collapses with greater speed, carrying out a protector role in relation to the basic metal. The zinc and aluminum are appointed mainly for anodic coatings of steel; the copper, tin, nickel and other-for cathode. If the anodal coatings are damaged, their protective action disappears.

Service life of coatings is 25…50 years. They enable to provide replacement of high-alloy steels with the low-alloy, to defense the steel in atmospheric conditions and at a high temperature, in salt water, etc. Aluminum is the most perspective among the nonferrous metals for coatings. The protective films from aluminum and its alloys are coated by arc spraying pistols, by evaporation in a vacuum, electrolytic deposition, plasma and laser spraying.

The active method of corrosion protection is an electrochemical method. It is based on the change of electrochemical potential of construction due to polarization of them by a direct current from an external source or from a protector. At protector defense (fig. 4.12) to the metal, which is protected from corrosion, connect zinc anodes which enable to defend a valuable construction from corrosion. The cathode defense is use for the corrosion protection of marine hydraulic structures, main pipelines and other responsible constructions. In this case, the protected structure is connected to the negative pole of permanent current source, so the steel acts as cathode. The metallic scrap, connected to the positive pole is an anode.

The corrosion rate of metals is reduced by additions of the inhibitors and passivators. The salts of alkaline and alkaline-earth metals (chromites, nitrates and others) as the strong oxidants – successfully decelerate the corrosive process in neutral and alkaline environments. The using of additives (in particular calcium nitrite-nitrate) is an effective at the protection against corrosion of steel reinforcement in the concrete.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

5. МІНЕРАЛЬНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ
MINERAL BINDERS

5.1. Мінеральні в'яжучі речовини. Загальні відомості
Mineral binders. Overview

Мінеральні в'яжучі – тонкодисперсні речовини, що утворюють при змішуванні з водою або водними розчинами певних речовин пластичну масу, яка твердне та переходить у каменеподібний стан. Залежно від умов твердіння мінеральні в'яжучі розподіляють на повітряні та гідравлічні.

Повітряні в'яжучі здатні твердіти та зберігати міцність тільки на повітрі. До повітряних в'яжучих належать гіпсові, магнезіальні в'яжучі, повітряне вапно та рідке скло.

Гідравлічні в'яжучі здатні після попереднього твердіння на повітрі твердіти у наступному як на повітрі, так і у воді. До цієї групи матеріалів належать портландцемент, глиноземистий цемент та в'яжучі на їх основі, гідравлічне вапно та вапновмісні гідравлічні в'яжучі речовини, шлаколужні в'яжучі. Деякі з цих матеріалів і зокрема вапняно–кремнеземисті в'яжучі інтенсивно твердіють лише в умовах автоклавної обробки.

Для більшості мінеральних в'яжучих характерні при замішуванні водою або водними розчинами солей реакції гідратації та гідролітичної дисоціації.

Сировинними матеріалами для виробництва мінеральних в'яжучих служать гіпс, вапняк, глина, мергель або відходи та вторинні продукти інших виробництв -шлаки, золи, шлами та ін. Спільною для більшості мінеральних в'яжучих технологічною операцією є випалювання сировинної суміші з метою проходження необхідних фізико–хімічних процессів. Для досягнення високої хімічної активності їх подрібнюють і доводять до порошкоподібного стану. Для регулювання властивостей в'яжучих до їх складу вводять різні добавки: пластифікатори, регулятори тужавлення, прискорювачі твердіння, мікронаповнювачі та ін.

Для зниження вартості та покращення технічних властивостей виробів (зменшення усадки, збільшення тріщиностійкості, теплостійкості та ін.) в'яжучі використовують, як правило, разом з заповнювачами, а також дисперсними та волокнистими наповнювачами.

Mineral binders are the finely dispersed materials, which form a plastic mixture at mixing with water or water solutions of some substances, harden and pass into a stony state. Depending on the conditions of hardening, the mineral binders may be categorized as air–hardening (non-hydraulic) or hydraulic.

Air–hardening binders can harden and gain strength only in the air conditions. Gypsum, magnesia binders, air-hardening lime and liquid glass are categorized as air–hardening binders.

Hydraulic binders are characterized by their ability to harden in air and in water. Portland cement, alumina cement, hydraulic lime, and alkaline–slag binders are the well-known hydraulic binders. Some binders, such as lime-silica binders, harden intensively only in autoclaving conditions.

The hydration and hydrolytic dissociation are characteristic for many mineral binders at the water or at water solutions of salts mixing.

Gypsum, limestone, clay, marl rocks or waste materials and by-products from different industries - slags, ashes, sludges, etc serve as the raw materials for production of mineral binders. The burning of the raw meal to pass the necessary physical–chemical processes is common working operation for most of mineral binders. They are usually ground to a powdery state to improve chemical reactivity. Different additives such as: plasticizers,hardening accelerators, micro-fillers and others are added to the mix for regulation of binding properties.

Usually, binders are used together with aggregates and dispersed or fibrous fillers to reduce cost and to improve the technical properties of products (shrinkage reducing, increasing of the crack resistance, heat-resistance and others).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

5.2. Основні види гіпсових в'яжучих.
Main types of gypsum binders

Гіпсовими в'яжучими називають матеріали, що складаються з напівводного гіпсу $CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$ або ангідриту $CaSO_4$. Їх отримують в результаті теплової обробки та помелу сировинних матеріалів, що включають двохводний або безводний сірчанокислий кальцій. Двохводний гіпс – мінерал, що входить до різних гірських порід - гіпсового каменю, глиногіпсу та ін., а також до штучних продуктів - відходів промисловості – фосфогіпсу, борогіпсу тощо. При нагріванні двохводного гіпсу протікає ряд хімічних процесів, які ведуть до утворення речовин з в'яжучими властивостями. Основними з них є модифікації напівводного гіпсу (напівгідрату) - продукта часткової дегідратації двохводного гіпсу. З напівводного гіпсу складаються широко розповсюджені *низьковипалювані гіпсові в'яжучі*, головними представниками яких є будівельний та надміцний гіпс. Ці в'яжучі матеріали отримують при низькій температурі випалювання гіпсу (120…180° С). Коли нагрівання гіпсу здійснюється у відкритих апаратах (рис. 5.1) та кристалізаційна вода виділяється у вигляді водяної пари, утворюються високодисперсні кристали $\beta - CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$, що складають *будівельний гіпс*. При виведенні кристалізаційної води у рідкому стані утворюються крупні кристали α-напівгідрату, основної фази *надміцного гіпсу*.

Причина різниці в'яжучих властивостей β та α–напівгідратів полягає в їх різній водопотребі, зумовленій особливостями кристалічної будови. При заміщуванні водою α–напівгідрат внаслідок меншої водопотреби і відповідно меншої пористості у затвердівшому стані має вишу міцність.

З гіпсових в'яжучих промисловість випускає основним чином будівельний гіпс, процес виробництва якого полягає у подрібненні та тепловій обробці гіпсового каменю, а також тонкому помелі готового продукту. Розповсюдженими апаратами для термічної обробки будівельного гіпсу є варочні котли. Надміцний гіпс отримують в автоклавах. Для випалу гіпсових в'яжучих використовують і інші теплові агрегати.

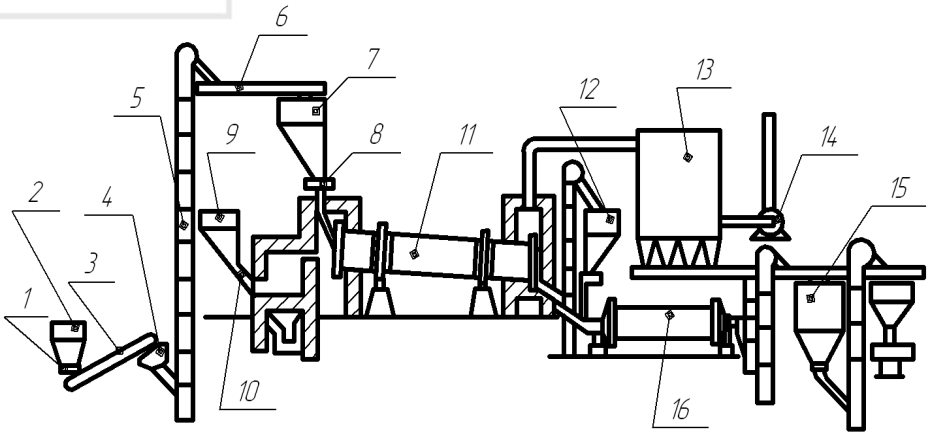

Рис.5.1. Технологічна схема виробництва будівельного гіпсу в обертових печах:
1– лотковий живильник; 2 – бункер гіпсового каменю; 3 – стрічковий конвейєр; 4 – молоткова дробарка; 5 – елеватор; 6 – шнек; 7– бункер гіпсового щебеню; 8 – тарільчатий живильник; 9 – бункер вугілля; 10 – топка; 11 – обертова піч; 12 – бункер випаленого щебеню; 13 – пилоосаджувальна камера; 14 – вентилятор; 15 – бункер будівельного гіпсу; 16 – кульовий млин
Fig. 5.1. Technological scheme of gypsum plaster production in rotary kiln:
1– tray feeder; 2 – bin of the gypsum rocks; 3 – conveyor belt; 4– hammer crusher; 5 – elevator; 6 – auger; 7– bin of the crushed gypsum rocks; 8 – feeder; 9 – coal bin; 10 – firebox; 11– rotary kiln; 12– bin of the fired crushed rock; 13 – dust precipitation chamber; 14 – aspirator; 15 – gypsum plaster bin; 16 – ball-race mill.

Успішно використовуються у будівництві водостійкі *гіпсоцементопуцоланові в'яжучі речовини* (ГЦПВ). Ці в'яжучі отримують шляхом сумісного помелу або ретельного

Національний університет
водного господарства
та природокористування
змішування 50...70% будівельного гіпсу, 15...25% портландцементу та 10...25% гідравлічної добавки. ГЦПВ мають переваги будівельного гіпсу та портландцементу: швидко твердіють та набирають міцність, водостійкі та сульфатостійкі, мають низьку повзучість.

Materials, which consist of semi-hydrate gypsum $CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$ or anhydrite $CaSO_4$ are called *gypsum binders*. They are produced as a result of the thermal treatment and grinding of raw materials such as dihydrate or anhydrite calcium sulfate. Dihydrate – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ is a mineral constituent of various rocks – gypsum stone, clay–containing gypsum and others, and also main component of artificial products – industrial wastes (phosphogypsum, borogypsum etc). At heating of dihydrate, a series of chemical processes takes place, leading to the formation of substances with cementing properties. The main one being the modification of the semi–hydrate gypsum (semi-hydrate) – the product of partial dehydration of dihydrate. The basic representatives of gypsum binders are *gypsum plaster* and *alpha gypsum*(–high-strength gypsum). Both binding materials are manufactured at low-temperature burning of gypsum (120–180° C). When the gypsum heating is realized in an open apparatuses (fig.5.1) – crystallization water is selected in the form of water vapor, small crystals β – $CaSO_4 \cdot 0.5\ H_2O$ are formed. If the crystallization water is released in the liquid state, comparatively large crystals of α–semi-hydrate are formed, which is the main phase of the high strength gypsum.

The differences between the binding properties of β–and α–semi-hydrates can be explained by their different water demand due to the peculiarities of crystal structure. The α–semi-hydrate has higher strength due to lower water demand and consequently less porosity in the hardened state.

The gypsum binders industry produces mainly gypsum plaster. The production process involves grinding, heat–treating of the gypsum stone, and fine milling of the finished product. Spread apparatus for heat treatment of gypsum plaster are gypsum frying boilers. Alpha gypsum is produced in the autoclaves. Other thermal units are also used for gypsum binders burning.

Water stable *gypsum-cement-pozzolan cements* and *gypsum-cement-slag binders* is successfully used in construction. These binders are produced by joint milling or carefully mixing of 50…70% gypsum, 15…25 Portland cement and 10%...25% hydraulic admixtures or blast furnace slags. They have some advantages of the gypsum binders and Portland cement. These include: rapid hardening and strengthening, enhanced water and sulfate–resistance, plus low creep.

5.3. Основні властивості ціпсових в'яжучих
Main properties of gypsum binders

Тужавлення та твердіння гіпсових в'яжучих обумовлене переходом напівгідрату у кристалічний двохводний гіпс. Реакція гідратації та кристалізації двогідрату протікає швидко і завершується через кілька хвилин після замішування. Міцність гіпсу зростає по мірі висушування. Основними особливостями будівельного гіпсу є: швидке тужавлення та твердіння, підвищені водопотреба та пористість, здатність збільшуватися в об'ємі на 0,5....1% у початковий період твердіння, схильність до деформації повзучості, низька водостійкість.

Якість гіпсових в'яжучих визначається строками тужавлення, тонкістю помелу, водопотребою, границею міцності на стиск та згин. Залежно від строків тужавлення гіпсові в'яжучі ділять на три групи: швидкотвердіючі, нормальнотвердіючі та повільнотвердіючі. Для перших двох груп початок тужавлення повинен наставати не раніше відповідно 2 та 6 хвилин, кінець не пізніше 15 та 30 хвилин. Для гіпсових в'яжучих третьої групи початок тужавлення настає не раніше, ніж через 20 хвилин.

Тонкість помелу гіпсових в'яжучих оцінюється просіюванням на ситі з розміром отворів 0,2 мм.

Для одержання тіста нормальної густоти будівельний гіпс потребує до 50...70% води, надміцний – 30....40%. Теоретично для гідратації напівводного гіпсу необхідно 18,6% води від маси в'яжучого, вся надлишкова вода, відводячись при сушінні, утворює пори, які

Національний університет
водного господарства
та природокористування

знижують міцність в'яжучого. Зниженню водопотреби гіпсових в'яжучих сприяють сповільнювачі тужавлення, що дозволяють зменшити на 10...15% нормальну густоту. Ефективно також введення суперпластифікаторів.

Для збільшення строків тужавлення гіпсових в'яжучих можливе використання добавок, що зменшують розчинність напівгідрату при певній концентрації (аміак, етиловий спирт та ін.), які утворюють важкорозчинні сполуки (фосфати, бура та ін.), речовин, котрі зменшують швидкість утворення кристалічних зародків при гідратації гіпсу (лігносульфати, кератиновий сповільнювач та ін.).

Марку гіпсових в'яжучих за міцністю визначають випробуванням на стиск та згин зразків – балочок 40х40х160 мм віком 2 год після замішування водою.

При транспортуванні та зберіганні гіпсові в'яжучі повинні бути захищені від зволоження та забруднення.

The setting and hardening of gypsum binders is conditioned by the transition of the semi-hydrate into crystalline dihydrate gypsum. The hydration and crystallization of the dihydrate gypsum runs quickly and finishes in a few minutes after mixing. The strength of gypsum increases as it dries. The main features of a gypsum plaster are: rapid setting and hardening, enhanced water demand and porosity, the ability to grow in volume up to 0.5…1% in the early-hardening period, tendency to suffer creep strain, and low water-resistance.

Quality of the gypsum binders is defined by the time of setting, fineness of grinding, water demand, compressive and bending strength. Depending on the time of setting, gypsum binders may be divided into such groups: rapid, normal and slow setting. The initial setting time occur not earlier than 2 and 6 minutes, and the final set, not later than 15 and 30 minutes respectively for the first two groups. An initial setting time of 20 minutes or more is typical for gypsum binders of the third group.

Fineness of gypsum binder grinding is evaluated by considering the amount retained on a sieve size of opening 0.2 mm.

Gypsum plaster needs up to 50…70%, alpha gypsum up to 30…40% of water for preparing a paste with normal consistency. Theoretically, 18.6% of water from the weight of binder is needed for the hydration of the semi-hydrate gypsum and all the excess water, which is removed during drying forms the voids that reduce the strength of binder. Set retarding admixtures allow a reduction in normal consistency of up to 10…15%, and facilitate a reduction in the water demand. Adding of the superplasticizers is also effective.

It is possible to use the additives that reduce solubility of semi-hydrate at the certain concentration (ammonia, ethyl alcohol, etc.), forming hardly soluble compounds (phosphates, borax, ets.), substances that reduce the rate of crystals formation at the gypsum hydration (lignosulfonates, keratin retarder, etc.) for increasing of setting time of gypsum binders.

All gypsum binders are graded depending on the strength. The strength of the gypsum binders is determined by compression and bending test of a 160x40x40 mm beams at the age of 2 hours after mixing with water.

The gypsum binders must be protected from moisture during the transportation and storage.

5.4. Повітряне вапно
Air-setting lime

Будівельним вапном називають продукт випалювання карбонатних порід, що складається переважно з оксиду кальцію.

Для отримання повітряного вапна сировинні матеріали – крейда, вапняки та доломіти повинні містити не більше 6...8% глинистих домішок. При більшому вмісті домішок у карбонатній сировині утворюється гідравлічне вапно. Вапно класифікують за вмістом

Національний університет
водного господарства
та природокористування

активного оксиду магнію на кальційове (MgO<5%), магнезіальне (MgO=5...20%) та доломітове (MgO=20...40%), а за фракційним складом – на грудкове та порошкоподібне.

Розрізняють слідуючі види вапна: негашене грудкове, негашене мелене, гідратне (пушонка) та вапняне тісто.

Негашене грудкове вапно є напівфабрикатом для отримання інших видів вапна і утворюється безпосередньо в результаті випалювання вихідної сировини.

В основі процесу отримання вапна лежить реакція дисоціації карбонату кальцію $CaCO_3 \rightarrow CaO+CO_2\uparrow$. Тепловий ефект реакції становить 178,16 Дж на 1 Моль (100 г). Ступінь та швидкість завершення реакції розпаду вуглекислого кальцію залежать від парціального тиску вуглекислого газу, температури, наявності домішок та ін. Парціальний тиск досягає атмосферного приблизно при 900° С, температура в заводських умовах може досягати 1000...1200° С.

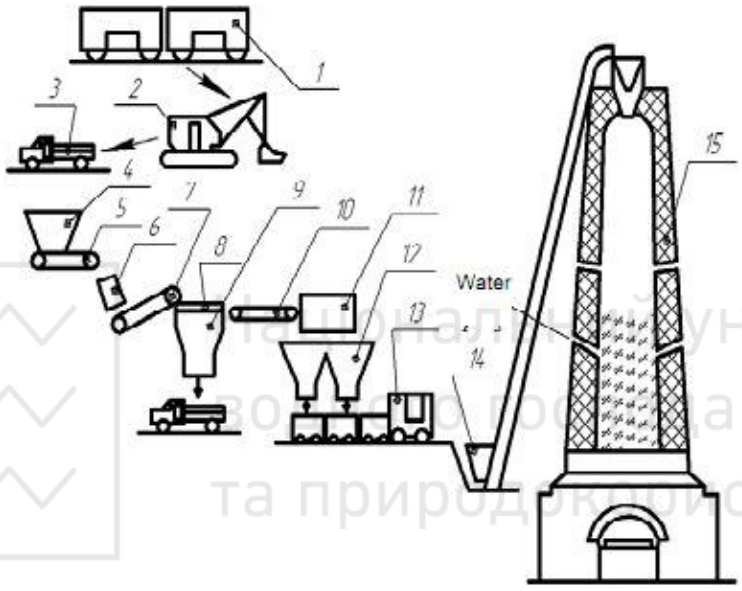

Рис.5.2. Технологічна схема виробництва грудкового негашеного вапна:
1– вагони з вапняком; 2– екскаватор; 3 – автосамосвал; 4, 9, 12 – бункери; 5 – живильник; 6 – щокова дробарка; 7, 10 – конвеєри; 8 – сито; 11– циліндричне сито; 13 – вагонетки; 14 – скиповий підйомник; 15 – шахтна піч
Fig. 5.2. Technological scheme of the lump quicklime production:
1– cars with a lime stone; 2– excavator; 3 – dumper truck; 4, 9, 12– bins; 5 – feeder; 6 – saw crusher; 7, 10 –-conveyors; 8 – sieve; 11– cylinder sieve; 13 –- trolleys; 14– burden-charging carriage; 15 – shaft furnace.

Серед вапновипалювальних печей найбільш широко використовуються шахтні печі (рис.5.2), що пояснюється простотою їх конструкції та експлуатації, високою тепловою ефективністю, відносно малими капітальними витратами на спорудження та високими питомими об'ємами продукції.

Шахтні печі працюють безперервно: через певні проміжки часу у верхню частину завантажують вапняк, антрацит або кокс, а з нижньої вивантажують готове вапно. Необхідне для горіння палива повітря надходить знизу та охолоджує вапно.

Для випалювання використовують також обертові печі, які мають високу продуктивність та дозволяють використовувати дрібні фракції вапняків, маломіцні карбонатні породи та отримувати продукт з більш стабільними властивостями. Перспективними є агрегати для швидкісного випалювання вапна у зваженому стані (в киплячому шарі).

Якість негашеного вапна залежить від вмісту в ньому вільних активних оксидів кальцію та магнію (активності) та структури. На реакційну здатність CaO та MgO впливає температура випалювання. З підвищенням температури випалювання вапняків збільшується і

Національний університет
водного господарства
та природокористування

розмір кристалів CaO та MgO. В результаті перекристалізації та спікання оксидів кальцію та магнію вапно ущільнюється і його реакційна здатність знижується.

В табл.5.1 наведені вимоги до кальційового негашеного і гідратного вапна. Для меленого та гідратного вапна найважливішим показником якості є крім того ступень дисперсності, яка визначається повним залишком на ситах № 02 та № 008 (розмір отворів відповідно 200 та 80 мкм), який повинен бути відповідно не більше 1,5 та 15%.

Таблиця 5.1

Вимоги до кальційового вапна

Показники	Норми для сортів вапна				
	негашеного			гідратного	
	I	II	III	I	II
Вміст активних CaO+MgO у перерахунку на суху речовину не менше, %: без добавок	90	80	70	67	60
з добавками	65	55	–	50	40
Вміст CO_2 не більше, %: без добавок	3	5	7	3	5
з добавками	4	6	–	2	4
Вміст непогашених зерен не більше, %	7	11	14	–	–

Product of carbonate rocks burning, which consists mainly of calcium oxide is called *construction lime*.

The raw materials – chalk, limestone and dolomite should contain no more than 6…8% of clay impurities for an *air–seting* (air-hardening) lime. The hydraulic lime is manufactured with a greater content of clay impurities in the carbonate rocks . Depending on the content of active magnesium oxide, lime may be categorized as: high–calcium (MgO <5%), magnesian (MgO = 5…20%) and dolomite (MgO = 20…40%) and according to the fractional composition – as lump and powdery.

Types of lime include: lump quicklime, unslaked milled, hydrate lime and lime paste.

The *lump quicklime* is a semi-finished product for manufacturing of other types of lime, and it is formed directly as a result of raw material burning.

The reaction of calcium carbonate dissociation $CaCO_3 = CaO + CO_2$ is a base of the process of lime manufacture. Heat of reaction is 178.16 J per 1 mole. The degree and speed of completion of the dissociation of calcium carbonate depends on the partial pressure of CO_2, temperature, content of impurities, etc. Partial pressure of CO_2 reaches atmospheric approximately at 900 °C. The temperature in production terms can reach 1000…1200 °C.

The shaft furnaces mainly are used for burning of lime (fig. 5.2). Shaft furnaces are used the most due to the simplicity of their design and operation, high thermal efficiency, relatively small capital cost of construction and high specific volumes of products.

Shaft furnaces work continuously: through certain intervals in the upper part, limestone, anthracite or cokes are loaded, and from the lower part ready lime is unloaded. The air, required for combustion, comes from below and it cools the lime (fig. 5.2).

The rotary furnaces are also used for burning. They have high productivity and allow the use of small fractions of carbonate rocks to manufacture a product which has more stable properties. The furnaces for speed burning of lime in the boiling bed are also perspective.

Quality of quicklime depends on the content of free active calcium oxide and magnesium oxide (activity) in it and its structure. The temperature of burning influences the reactivity of CaO and MgO. With increased temperature of burning-of limestone, the size of CaO and MgO crystals is increased. As a result of recrystallization and sintering of CaO and MgO, the lime is compacted and its reactivity decreases.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

In table 5.1 shows the requirements for high-calcium quicklime and hydrated lime. The important indicator of quality is the degree of dispersion for milled and hydrated lime, which is determined by the screenings on sieves № 02 and №008 (opening sizes of 200 and 80 μm). Remnates by sieving on theese screens must be less than 1.5 and 15% accordingly.

Table 5.1

Requirements for high-calcium lime

Indexes	Rates for grades of lime				
	quicklime			hydrated	
	I	II	III	I	II
Content of active CaO+MgO, by a dry matter, (minimum %):					
without additives	90	80	70	67	60
with additives	65	55	–	50	40
Content of CO_2 (maximum %):					
without additives	3	5	7	3	5
with additives	4	6	–	2	4
Content of the unslaked grains (maximum %)	7	11	14	–	–

5.5. Гашення вапна
Slaking of lime

Важливою особливістю негашеного вапна є *здатність до гашення*, тобто взаємодії з водою з переходом оксидів кальцію та магнію до їх гідратів. Цей процес протікає по реакції: $CaO+H_2O=Ca(OH)_2+64,9$ КДж і супроводжується довільним розпадом шматків вапна на тонкодисперсні частинки. Тривалість цього процесу для вапна, що гаситься швидко, становить не більше 8 хвилин, з середньою швидкістю – не більше 25 хвилин та що гаситься повільно – понад 25 хвилин. Процес гашення протікає швидко при високому вмісті CaO та зменшенні температури випалювання.

Залежно від кількості води, взятої для гашення, отримують порошкоподібний продукт – пушонку або вапняне тісто. У першому випадку, як правило, добавляють на одну частину вапна по масі 0,6....0,8 частин води, а в другому – 2...3 частини.

Гідратне вапно (пушонка) – готовий порошкоподібний продукт, який при замішуванні водою перетворюється в тісто. В упакованому вигляді його легше транспортувати та зберігати ніж негашене вапно.

Негашене грудкове або мелене вапно найчастіше гасять до утворення *вапняного міста*. Гасять вапно в спеціальних апаратах. При невеликих обсягах будівництва гашення вапна до тіста виконують у затвірних ящиках з великою кількістю води. Утворене в них вапняне молоко зливається до затвірної ями, де відбувається повне гашення частинок та зневоднення вапна до консистенції тіста завдяки випаровуванню та відсмоктуванню води крізь дерев'яні стінки ями до ґрунту. У затвірній ямі вапно витримують не менше 15 діб до повного гашення та отримання пластичної та тонкодисперсної маси. У вапняному тісті, як правило, міститься майже 50% води.

У заводських умовах гашення вапна відбувається у спеціальних вапногасильних автоматах.

The important feature of quicklime is the *slaking* ability with transition of calcium and magnesium oxides into their hydrates. This process proceeds according to the reaction: $CaO+H_2O=Ca(OH)_2+64.9$ kJ and is accompanied with the disintegration of lime pieces into fine particles. Duration of this process for a lime, which slakes quickly, lasts not more than 8 minutes, with moderate slaking rate – not more than 25 minutes and for slow rate – over 25 minutes. The process of slaking occurs quickly for lime with high content of CaO and at diminishing of burning temperature.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Depending on the amount of water, taken for slaking, hydrated lime or lime paste is produced. In the first case, as a rule 0.6…0.8 parts of water are added on one part of lime by weight, and in the second case – 2…3 parts.

Hydrated lime is a finished product, which after water addition turns into lime paste. It is easier to transport and store in the packed state than quicklime.

The lump quicklime and the milled lime are slaked usually for the *paste lime* forming. For small building works, the slaking of lime into the paste is made in temper boxes with plenty of water. The lime milk, formed in them, is poured off to the temper pit, where the particles are fully slaked; lime milk is dehydrated to the consistency of the paste due to evaporation and water draining through the wooden walls of the pit in to the ground. In the temper pit lime comes through the storage at least 15 days complete slaking and produces a plastic fine mixture. There is almost 50% of water in the lime paste, as a rule. The lime is slaked in the conditions of enterprises in special devices.

5.6. Тверднення вапна
Lime hardening

Розрізняють три типи твердіння вапна: карбонатне, гідратне та гідросилікатне.

У розчинах при звичайній температурі та тиску відбувається *карбонатне твердіння* гашеного вапна. При цьому водночас протікають два процеси - кристалізація $Ca(OH)_2$ з насиченого водного розчину та утворення $CaCO_3$ за реакцією

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O = CaCO_3 + 2H_2O. \quad (5.1)$$

Кристали утвореного $CaCO_3$ зростаються один з одним, частинками $Ca(OH)_2$ та піску і утворюють штучний камінь. Процеси карбонатного твердіння протікають досить повільно.

Гідратне твердіння вапна йде при замішуванні водою негашеного меленого вапна і забезпеченні певних умов гідратації (вміст води, відведення тепла). Мелене негашене вапно розчинюється у воді з утворенням пересиченого розчину. Ефект твердіння викликається зрощуванням утворених частинок гідроксиду кальцію.

Гідросилікатне твердіння вапна відбувається у вапняно-піщаних та інших силікатних виробах в умовах підвищеної температури та тиску водяної пари в автоклавах. Суть його зводиться до взаємодії гідроксиду кальцію, кремнезему та води і утворенню нових сполук – гідросилікатів, що цементують зерна піску. На гідросилікатному твердінні вапна засновано отримання силікатної цегли та силікатних бетонів.

Міцність матеріалів та виробів на основі вапна та стійкість їх у воді, а також при попереміннogму заморожуванні та відтаванні залежить від характеру твердіння. Найбільше значення показники цих властивостей мають при гідросилікатному і найменше при карбонатному твердінні. Через місяць твердіння при звичайній температурі (10...20° С) розчини на гашеному вапні набирають міцність 0,5...1,5 МПа, на меленому негашеному вапні – 2...3 МПа. При гідросилікатному твердінні можливе одержання вапняно–піщаних (силікатних) бетонів з міцністю на стиск до 30...40 МПа і більше.

There are three types of lime hardening: carbonate, hydrated and hydrosilicate.

Carbonate hardening takes place in the mortars based on the slaked lime at normal temperature and pressure. Two process runs at the same time – crystallization of $Ca(OH)_2$ from the saturated water solution and the formation of $CaCO_3$ according to the reaction:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O = CaCO_3 + 2H_2O. \quad (5.1)$$

Crystals of the formed $CaCO_3$ accrete with each other, with the particles of $Ca(OH)_2$ and sand and form an artificial stone. Carbonate hardening process flows very slowly.

Hydrated hardening of lime is effected at the water mixing of the milled quicklime and takes place under certain hydration conditions (water content, heat-sink cooling). Milled quicklime

Національний університет
водного господарства
та природокористування
dissolves in water with the formation of oversaturated solution. The effect of hardening is caused by accreting of the formed particles of calcium hydroxide.

Hydrosilicate hardening of lime occurs in lime-sand and other silicate products in conditions of high temperature and pressure of steaming, i.e., in autoclaves. The essence of it is the interaction of calcium hydroxide, silica and water and formation of new compounds – hydrosilicates that cements the sand grains. Production of lime–sand brick and silica concrete is based on the hydrosilicate hardening.

Strength of materials and products based on lime and its resistance to water and to freezing and thawing depends on the type of the hardening. The highest values of these properties are exhibited by hydrosilicate and the least by the carbonate hardening. After one month hardening at normal temperature (10…20° C), mortars based on lime paste increase their strength to 0.5…1.5 MPa and those based on the milled quicklime to 2… 3 MPa. It is possible to produce lime – sand (silica) concretes with a compressive strength up to 30…40 MPa and more at the hydrosilicate hardening.

5.7. Розчинне та рідке скло
Soluble and liguid glass

Розчинне скло – скловидний сплав, що складається з лужних силікатів. Загальна формула його $R_2O\ nSiO_2$, де R_2O – лужний оксид (Na_2O, K_2O), n – силікатний модуль. Значення силікатного модуля може змінюватися від 1 до 6,5. В будівництві найчастіше використовують натрієве розчинне скло з модулем 1,5...3, Калієве скло з модулем 4...4,5 використовують основним чином для отримання силікатних фарб. Випускають розчинне скло у вигляді твердого моноліту (*силікат-брили*), який подрібнюють на куски, або дрібнозернистого продукту (*силікат-грануляту*). Для його отримання використовують шихту, що включає кремнеземистий та лужний компоненти, наприклад, пісок та соду або сульфат натрію. Шихту плавлять у скловарних печах при 1100...1400° С.

Силікат-брила утворюється при повільному охолодженні розплаву на повітрі, силікат–гранулят – при охолодженні у проточній воді. Розчинення силікату-глиби у воді проводять в автоклавах під тиском 0,3...0,8 МПа. Гранулят можна розчинювати при атмосферному тиску і температурі 90...100° С.

Водний розчин розчинного скла називають *рідким склом*. Його можна отримати також безпосередньо в автоклавах обробкою аморфних кремнеземистих продуктів у розчинах їдких лугів. Рідке скло являє собою колоїдний розчин густиною 1,4…1,5 г/см^3, у закритих посудинах воно може зберігатися дуже довго, на повітрі повільно затвердіває. Суть процесу твердіння полягає у випаруванні рідкої фази, підвищенні концентрації вільного колоїдного кремнезему, та його наступній коагуляції та ущільненні. Вуглекислий газ повітря нейтралізує луги, що містяться у водному розчині та сприяє коагуляції кремнезему. Суттєво прискорює процес твердіння рідкого скла добавка кремнефтористого натрію та деякі інші речовини. Характерна особливість рідкого скла – висока клеюча здатність, яка у 3...5 разів вища, ніж у цементів та інших мінеральних в'яжучих. Завдяки цьому його широко використовують для склеювання картону, паперу, дерев'яних та силікатних виробів і т.п.

Soluble glass is a glassy material, consisting of alkaline silicates. Its general formula is $R_2O{\cdot}nSiO_2$, where R_2O – alkaline oxides (Na_2O, K_2O), n – silica modulus. The silica modulus value can vary from 1 to 6.5. The sodium soluble glass with silica modulus 1.5…3 is usually used in construction, potassium glass with silica modulus 4…4.5 is used basically to produce silicate paints. The soluble glass is produced in the form of the solid monolith (*silicate-boulder*), which is crushed into pieces or fine product (*silicate granulate*). The raw mix that includes silica and alkaline components, such as sand and soda, or sodium sulfate, is used for its production. The batch is fused in the glass-making furnaces at 1100…1400° C.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Silicate–boulder is formed at slow cooling of the glass bath in the air, and silicate granulate by cooling in running water. Dissolution of the silicate– boulder in water is carried out in autoclave conditions under a pressure of 0.3…0.8 MPa. The granulate can dissolve under atmospheric pressure and temperature of 90…100° C.

Water solution of soluble glass is called a *liquid glass*. It can be produced also directly by the autoclave treatment of amorphous silicate products in solutions of caustic alkalis. Liquid glass is a colloidal solution with density of 1.4…1.5 g/cm^3. In closed vessels it can be stored for along time but in the air conditions it slowly hardens. The essence of the hardening process of the liquid glass is the evaporation of the liquid phase, increasing the concentration of free colloidal silica, and the following coagulation and sealing. Air carbon dioxide neutralizes the alkalis, which are contained in water solution and promotes the silica coagulation. The fluorosilicate sodium additive and some other matters significantly speed up the liquid glass solidification. The liquid glass is characterized by high adhesive ability, which is 3…5 times higher than that of cement and other mineral binders. It is widely used for gluing of cardboard, paper, wood and silicate products, etc.

5.8. Кислототривкі цементи
Acid-proof cements

Рідке скло служить замішувачем кварцевих кремнефтористих *кислототривких цементів* – продуктів сумістного подрібнення або змішування кварцевого піску та кремнефтористого натрію. Виготовляють два типи таких цементів: I – для кислототривких замазок, II – для бетонів та розчинів. Вони різняться вмістом кремнефтористого натрію та строками тужавлення. Кислототривкі цементи використовуються для склеювання хімічно стійких матеріалів, футеровки різних апаратів та захисних покрить будівельних конструкцій. Кислототривкі цементи не можна використовувати в умовах дії лугів, фтористоводневої та кремнефтористоводневої кислот, киплячої води та водяної пари.

Початок тужавлення цементу I типу повинен наступати не раніше 40 хв, II типу – 20 хв. Кінець тужавлення для обох типів цементу повинен наступати не пізніше 8 год від початку замішування. Міцність при розтягуванні зразків 28 – добового повітряного тверднення після кип'ятіння їх протягом 1 год в 40% -ому розчині сірчаної кислоти повинна бути не менше 2 МПа, а зниження міцності після кип'ятіння в порівнянні з міцністю зразків, що не піддавалися кип'ятінню в кислоті, не повинна перевищувати 10%. Відмінною особливістю розчинів та бетонів на основі рідкого скла поряд з кислотостійкістю є також висока жаростійкість.

Liquid glass serves as a sealing compound for quartz fluorosilicate *acid-proof cements* (products of the combined grinding or mixing of quartz sand and fluorosilicate sodium). There are two types of such cements: I – for acid-proof putties, II – for concretes and mortars. They differ by the content of fluorosilicate sodium and time of setting. Acid-proof cements are used for agglutination of chemical-resistant materials, casing of different apparatus and protective coverings of building constructions. Acid-proof cements cannot be used in conditions of alkali action, fluorohydrogen and fluorosilicic acids, boiling water and steam.

Initial setting time of cement type I should be not 40 minutes earlier, type II - 20 min. Final setting time for both types of cement should be not later than 8 h from the beginning of mixing. Tensile strength of specimens 28 – day air curing them after boiling for 1 hour in a 40% solution of sulfuric acid should be at least 2 MPa, and the reduction in strength after boiling samples compared with strength not subjected to boiling in acid, has no exceed 10%. The high heat resistance is also an excellent feature of mortars and concretes on the basis of liquid glass next to an acid resistance.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

5.9. Магнезіальні в'яжучі
Magnesia binders

Магнезіальні в'яжучі є продуктами помірного випалювання магнезиту (*каустичний магнезит*) або доломіту (*каустичний доломіт*), що замішуються розчинами електролітів: хлориду та сульфату магнію, сульфату заліза та ін. Каустичний магнезит отримують при 800...850° С, каустичний доломіт – при 650...750° С.

Підвищення температури вище оптимальної, веде до ущільнення кристалів MgO, а при випалі доломіту – дисоціації $CaCO_3$, що погіршує якість магнезіальних в'яжучих.

Найвища міцність магнезіальних в'яжучих забезпечується при використанні як замішувача хлориду магнію. Так, каустичний магнезит, замішаний водним розчином хлориду магнію з густиною 1,2 г/см^3, на 28-у добу показує границю міцності на стиск 50...60 МПа та вище. Магнезіальні в'яжучі належать до кращих в'яжучих для отримання матеріалів з використанням деревної тирси (*ксилоліт*) та стружки (*фіброліт*) що відрізняються високою ударною міцністю, тепло – та звукоізоляційними властивостями. У воді і у вологій атмосфері міцність виробів на основі магнезіальних в'яжучих знижується. Значно підвищують їх водостійкість фосфатні добавки. Необхідність використання для замішування магнезіальних в'яжучих розчинів солей різко обмежує їх використання у будівництві.

Magnesia binders are a products of the moderate burning of magnesite (*caustic magnesite*) or dolomite (*caustic dolomite*) mixable with solutions of electrolytes: magnesium chloride and sulfate, iron sulfate and others. Caustic magnesite is produced at 800…850° C, and caustic dolomite – at 650…750° C.

Temperature rise, above the optimum, leads to compaction of MgO crystals, and during the burning of dolomite – to $CaCO_3$ dissociation, which impairs the quality of magnesia binders.

The highest strength of magnesia binders is obtained with use of magnesium chloride as sealering compound. So, caustic magnesite, mixed with the aqueous solution of magnesium chloride with a density of 1.2 g/cm^3, shows a compressive strength of 50…60 MPa and higher at 28th days of hardening. Magnesia binders are the best binders for materials using wood sawdust (*xylolite*) and chips (*fibrolite*), that differs with respect to high impact strength, heat – and sound insulation properties. The strength of products based on magnesia binders become reduced in water and in humid atmosphere. Phosphate additives can be used to increase their water resistance. Using of the salts solutions at mixing of the magnesia binders is sharply limits their application in construction.

5.10. Гідравлічне вапно
Hydraulic lime

Гідравлічним вапном називається продукт, отриманий помірним випалюванням вапняків що містять від 6 до 25% глинистих та тонкодисперсних піщаних домішок. При випалюванні таких тонкомелених мергелистих вапняків поряд з оксидом кальцію утворюються силікати та алюмоферити кальцію, які і надають вапну гідравлічних властивостей.

Гідравлічне вапно розділяють на *слабо*– та *сильногідравлічне*. У першому вміст активних оксидів кальцію та магнію 40...65%, у другому 5...40%. Основною характеристикою сировинних матеріалів для отримання гідравлічного вапна є *гідравлічний модуль* – відношення процентного вмісту оксиду кальцію до сумарного вмісту оксидів алюмінію, кремнію та заліза. Для слабогідравлічного вапна він становить 9...4,5, сильногідравлічного 4,5...1,7. Слабогідравлічне вапно при взаємодії з водою інтенсивно гаситься і розсипається у порошок, сильногідравлічне гаситься повільно або не гаситься зовсім. Початок тужавлення гідравлічного вапна відбувається через 0,5...2 год, кінець від 2 до 16 год, причому з підвищенням вмісту вільного оксиду кальцію тужавлення прискорюється.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Границя міцності на стиск для зразків вапняно-піщаних розчинів складу 1:3 (одна частина вапна за масою, 3 частини нормального піску) через 28 діб для слабогідравлічного вапна повинна бути не менше 1,7 МПа, сильногідравлічного – 5 МПа. Гідравлічне вапно використовується для виготовлення будівельних розчинів для кладки та штукатурки стін як у сухому, так і у вологому середовищі. Розчини на його основі більш міцні ніж на повітряному вапні але менш пластичні. Гідравлічне вапно можна використовувати також для виробництва вапновміщуючих композиційних в'яжучих та бетонів низьких марок.

Hydraulic lime is the product, produced by the moderate burning of limestone, which contains 6…25% fine-grained clay and sand impurity substances. The silicates and calcium aluminoferrites, which provide lime the hydraulic properties, are formed at the burning of such fine-grained marl limestone along with calcium oxide.

There are *weakly hydraulic* and *strongly hydraulic limes*. The content of active calcium oxide and magnesium in the first one are 40…65%, in the second one 5…40%. The main characteristic of the raw materials for hydraulic lime is the *hydraulic index* (ratio of the calcium oxide percentage to the total content of alumina, silicon and ferric oxides). It is 9…4.5 for the weakly hydraulic lime, and 4.5…1.7 for strongly hydraulic. Weakly hydraulic lime at interaction with water intensively slakes and scatters in the powder, whereas the strongly hydraulic limes slowly slakes or does not slake completely. The initial setting time of hydraulic lime occurs after 0.5…2 hours, the final set takes from 2 to 16 hours. With increasing free calcium oxide content the hardening accelerates.

The ultimate compressive strength for samples of lime-sand mortars of the proportion 1:3 (one part by weight of lime, 3 parts of normal sand) after 28 days for weakly-hydraulic lime must be at least 1.7 MPa, strongly hydraulic – 5 MPa. Hydraulic lime is used to manufacture building mortars for masonry and wall plastering in dry or wet environments. The mortars, based on it, are more durable than on air lime, but less plastic. Hydraulic lime can be used also to produce composite lime containing binders and concrete of low strength classes.

5.11. Гідравлічні вапновміщуючі в’яжучі
Hydraulic lime containing binders

До *гідравлічних вапновміщуючих в'яжучих* належать матеріали, отримані шляхом подрібнення або змішування повітряного або гідравлічного вапна з *активними мінеральними добавками* – природними та штучними речовинами, здатними при змішуванні у тонкоподрібненому вигляді з вапном–пушонкою та замішуванні водою, давати тісто, яке після твердіння на повітрі може продовжувати твердіти у воді. Прикладами природних активних мінеральних добавок є золи, туфи, траси, діатоміти, опоки, глієжі. До штучних добавок можна віднести доменні та паливні шлаки, золи та ін.

Здатність зв'язувати $Ca(OH)_2$ при нормальній температурі (*активність мінеральних добавок*) характеризується кількістю поглиненого CaO з вапняних розчинів протягом 30 діб. У вапновміщуючих в'яжучих вміст вапна в перерахунку на активні оксиди кальцію та магнію становить 10...30% по масі.

Твердіння цих в'яжучих при звичайних умовах йде повільно, воно обумовлено в основному взаємодією гідроксиду кальцію з активним кремнеземом та утворенням гідросилікатів. Міцність цих в’яжучих у віці 28 діб знаходиться в області 5…20 МПа. Інтенсивність твердіння суттєво прискорюється при температурі 80...100°С та підвищенні вологості.

Суттєвим недоліком вапновміщуючих в'яжучих є їх низька повітряностійкість, що підвищується добавками гіпсу, хлоридів кальцію або натрію, а також при заміні повітряного вапна гідравлічним. Вони характеризуються також низькою морозостійкістю. Використовувати їх доцільно для розчинів та бетонів низьких марок у підземних або

Національний університет
водного господарства
та природокористування
підводних спорудах і для виготовлення виробів з використанням тепловологісної і особливо автоклавної обробки.

Hydraulic lime containing binders include the binding materials, produced by grinding or mixing of air-hardening or hydraulic lime with *active mineral additives*(natural and artificial substances that when mixed with lime and water gives a paste, which after hardening in the air conditions can continue to harden in water). Examples of natural active mineral additives are tuffs, trasses, diatomites, etc. The blast–furnace and fuel slags, ashes and others can be attributed to artificial additives.

The ability to bind $Ca(OH)_2$ at normal temperature (*activity of mineral additives*) is characterized by the amount of absorbed CaO from the lime mortars within 30 days. In binders, which include lime, the content of active calcium and magnesium oxides is 10…30% by the weight.

Hardening of lime containing binders at normal conditions is slow. It is stipulated mainly by the interaction of calcium hydroxide with active silica and formation of hydrosilicates. Compressive 28 days strength of these binders is in the range of 5…20 MPa. The hardening rate at temperature 80…100° C and at enhanced humidity is substantially accelerated.

A significant failing of lime-containing binders is their low stability in air conditions. Stability may be improved by addition of gypsum additives, calcium or sodium chlorides, and by the replacement of air-hardening lime with hydraulic lime. They are also characterized by comparatively low freeze-thaw resistance. It is expedient to use them for mortars and concretes of low strength in underground or submerged structures and to manufacture products, using thermal treatment, especially autoclaving.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

5.12. Типи портландцементів загальнобудівельного призначення
Portland cement types of the common designation

Портландцемент – гідравлічна в'яжуча речовина, що твердіє у воді і на повітрі. Його отримують шляхом сумісного тонкого помелу клінкеру, необхідної кількості гіпсу та інших добавок. *Портландцементний клінкер* – продукт спікання сировинної суміші певного хімічного складу, що забезпечує після випалювання переважний вміст мінералів – силікатів.

Цементна промисловість випускає значну кількість цементів на основі портландцементного клінкеру, які умовно можна поділити на цементи загальнобудівельного і спеціального призначення.

Цементи загальнобудівельного призначення поділяють на п'ять типів за речовинним складом і міцністю на стиск в 28-добовому віці:

Тип I – портландцемент (від 0 до 5% мінеральних добавок.

Тип II – портландцемент з добавками (від 6 до 35% мінеральних добавок).

Тип III – шлакопортландцемент (від 36 до 80% доменного гранульованого шлаку).

Тип IV – пуцолановий цемент (від 21 до 55% мінеральних добавок).

Тип V – композиційний цемент (від 36 до 80% мінеральних добавок).

За міцністю в ранньому віці (після двох або семи діб тверднення) цементи поділяють на два види: цемент із звичайною міцністю в ранньому віці і швидкотверднучий.

При умовному позначенні цементу вказують його тип,клас (марку), вид мінеральних добавок і спеціальні ознаки (висока міцність в ранньому віці – Р; нормованість мінералогії – Н).

Portland cement is a hydraulic binder, which hardens in water and in the air conditions. It is produced by compatible milling of clinker, necessary amount of gypsum and other additives. *Portland cement clinker* is a product of sintering of raw material mixture of certain chemical composition, which provides after the burning prevailing content of minerals-silicates.

Cement industry produces a large amount of cements types based on Portland cement clinker, which can be conditionally divided into cements of the common and special designation.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Cements of the common designation are divided into five types depending on their composition:

- Cem I – Portland cement (may contain 0 to 5% mineral additives),
- Cem II – Portland cement (6… 35% blast furnace granular slag or 6… 20% other mineral additives);
- Cem III – Blast furnace cement (36 to 80% blast furnace granular slag);
- Cem IV - Pozzolanic cement (21 to 55% mineral additives);
- Cem V - Composite cement (36…80% composite mineral additives).

According to the early age strength (after two or seven days of hardening) cements are divided into two kinds: cement with normal strength in early age and high-early-strength cement.

The type, class, type of mineral additives and special signs (high strength in the early age – R; rationed mineralogy – N) are indicated at the symbolic notation of cement.

5.13. Портландцементний клінкер. Способи виробництва
Portland cement clinker. Methods of clinker production

Хімічний склад портландцементного клінкеру, як правило, має слідуючі межі, %:

CaO – 63…66	MgO – 0,5…5
SiO_2 – 21…24	SO_3 – 0,3…1
Al_2O_3 – 4…8	Na_2O+K_2O – 0,4…1
Fe_2O_3 – 2…4	$TiO_2+Cr_2O_3$ – 0,2…0,5

Основними технологічними операціями виробництва цементного клінкеру є: розробка та підготування сировинних матеріалів, що включають добування, подрібнення і при необхідності їх сушку; отримання однорідної сировинної суміші при сумісному подрібненні та змішуванні компонентів; випалювання сировинної суміші до спікання, що забезпечує проходження фізико-хімічних процесів клінкероутворення, і охолодження.

Розрізняють два основних способи отримання клінкеру – мокрий та сухий. При *мокрому способі* сировинна суміш готується та випалюється у вигляді водної суспензії – шламу з вологістю 35...42%. *Сухий спосіб* передбачає висушування матеріалів до їх сумісного подрібнення. Сировинна суміш при сухому способі надходить на випалювання у порошкоподібному або гранульованому стані.

У багатьох країнах найбільш розповсюдженим є мокрий спосіб виробництва клінкеру. Цьому сприяло досягнення при мокрому помелі та змішуванні високої однорідності сировинної суміші, що сприятливо відбивається на якості клінкеру. Разом з тим при сухому способі виробництва витрати теплоти у 1,5...2 рази нижче ніж при мокрому. В даний час завдяки створенню ефективних конструкцій клінкеровипалювальних печей сухий спосіб отримує більш широке розповсюдження.

Основними сировинними матеріалами для отримання портландцементу є вапняки та глинисті породи або їх природні суміші – мергелі. Використовують також різноманітні відходи промисловості: шлаки, золи, нефеліновий шлам та ін.

Основні сировинні матеріали, необхідні для виробництва цементу, добувають у кар'єрах поблизу заводів відкритим способом. Подрібнення сировинних матеріалів йде у дві стадії: дроблення у дробарках (щокових, молоткових, валкових, конусних); помел (тонке подрібнення) у трубних кульових або інших млинах.

Для сучасної технології потландцементу характерна висока тонкість помелу сировини, при цьому підвищується однорідність суміші та прискорюються фізико-хімічні процеси.

The chemical composition of Portland cement clinker, as a rule, falls between the following percentage limits:

CaO – 63…66	MgO – 0.5…5
SiO_2 – 21…24	SO_3 – 0.3…1

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Al_2O_3 – 4…8 Na_2O+K_2O – 0.4…1

Fe_2O_3 – 2…4 $TiO_2+Cr_2O_3$ – 0.2…0.5

The basic technological operations of cement clinker production are:

• excavation and preparation of raw materials, which include mining, grinding and drying as a necessity;

• production of a homogeneous raw material mixture by milling and mixing of components;

• firing of raw material mixture, which provides passing of physical and chemical processes of clinker formation;

• cooling of the product.

There are two basic methods of clinker production – wet and dry. For the *wet method*, the raw material mixture is prepared and burned as a water suspension – sludge with humidity 35…42%. A *dry method* includes drying of materials before to its compatible grinding. Raw material mixture at a dry method goes on burning in the powdery or granular state.

In many countries, a wet method of production of clinker has been the most widespread. This is mostly due to the need to achieve high homogeneity of raw material mixture, which favorably affects quality of clinker. However, the dry method of production involves 1.5…2 times less heat consumption than the wet method. Presently, due to creation of effective constructions of clinker burning furnaces the dry method has the wider distribution.

The limestone and clay rocks or their natural mixtures – marls are the basic raw materials for obtaining Portland cement. The various waste products are also used: slags, ashes, nepheline sludge and etc.

Basic raw materials, required for the production of cement, are mined in careers nearby plants by the opened method. Grinding down of raw materials is a two-stage process involving (a): crushing in crushing machines (jaw, hammer, roll, cone crushers) and (b): milling i.e., fine grinding in ball or other mills.

Grinding of the raw materials to a high fineness is characteristic for modern technology of Portland cement, because increased fineness and homogeneity of mixture accelerates the physical and chemical processes.

5.14. Випал цементного клінкеру
Burning of cement clinker

Відкориговану однорідну сировинну суміш піддають випалюванню, яке є вирішальною технологічною операцією у виробництві портландцементу. Випалювання здійснюється, як правило, у обертових печах. Довжина сучасних печей при мокрому способі досягає 185...230 м, діаметр до 5...7 м. Продуктивність печі 5×185 м. становить 1800 т/добу, печі 7×230 м. – 3000 т/добу. При сухому способі розміри печей значно зменшуються без зниження продуктивності. Так обертові печі з циклонними теплообмінниками (рис.5.3) мають розміри 5×75 і 7×95 м, а їх добова продуктивність – 1600 і 3000 т.

Матеріал проходить крізь нахилений барабан печі, співторкається з гарячими газами і зазнає ряд складних фізико-хімічних перетворень. Спочатку із сировинної суміші видаляється механічно зв'язана вода, а потім із глинистого компоненту при 600...700° С – хімічно зв'язана вода. При 900...1000° С йде процес дисоціації $CaCo_3$. До температури біля 1300° С завершуються ендотермічні реакції утворення основних хімічних сполук – мінералів клінкеру: двокальцієвого силікату $2CaOSiO_2$, або скорочено C_2S, трикальцієвого алюмінату $3CaO{\cdot}A1_2O_3$, (C_3A), чотирикальцієвого алюмоферіту $4CaO{\cdot}A_2O_3{\cdot}Fe_2O_3$ (C_4AF). При температурі біля 1300°С починається часткове плавлення сировинної суміші. У розплаві розчиняються CaO і $2CaO{\cdot}SiO_2$, в результаті чого стає можливим протікання основної реакції клінкероутворення – реакції насичення двокальцієвого силікату CaO до трикальцієвого силікату – $3CaO{\cdot}SiO_2$(C_3S). Утворення C_3S йде у зоні спікання печі в інтервалі температур

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1300…1450° С. У цій зоні завершується утворення конгломератів зерен-гранул клінкеру, основна маса яких має розмір 10...60 мм залежно від складу суміші та режиму роботи печі.

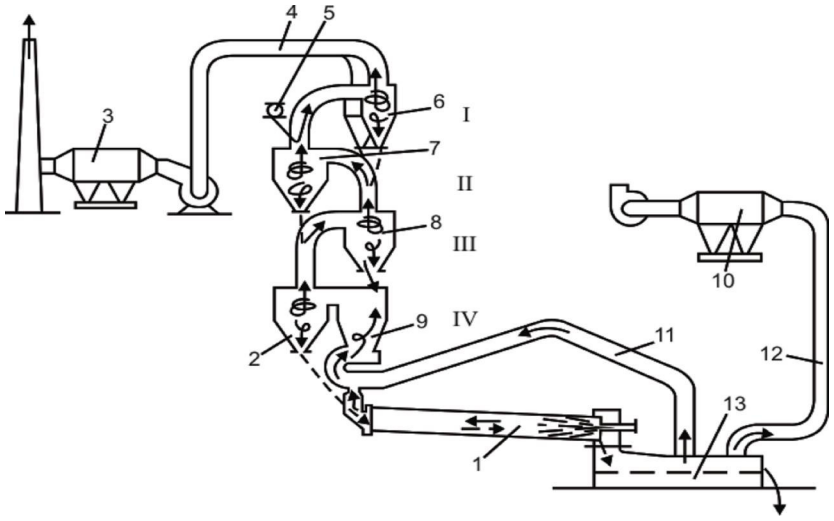

Рис.5.3. Схема пічного агрегату для випалу клінкеру з циклонними теплообмінниками і кальцинатором: 1 – обертова піч; 2,6,7,8 – циклони I…IV ступеней; 3,10 – електрофільтр; 4 – відхідні гази; 5 – подача сировинної суміші; 9 – кальцинатор (декарбонізатор); 11 – вторинне повітря з холодильника; 12 – повітря з холодильника; 13 – холодильник клінкеру

Fig. 5.3. Scheme of kiln for clinker burning with cyclone preheater and calciner: 1 – rotary kiln; 2,6,7,8 – cyclones I…IV degrees; 3.10 – precipitator; 4 – exhaust gases; 5 – supply of the raw mixture; 9 – calciner (calciner) ; 11 – secondary air from the refrigerator; 12 – air from the refrigerator; 13 – refrigerator of the clinker

Burning of the homogeneous raw material mixture is a main technological operation in the production of Portland cement. Burning is carried out, as a rule, in rotary furnaces. Modern furnaces, used for the wet method, are typically 185…230 m in length, and 5…7m in diameter. The productivity of a 5×185 m furnace is 1800 t/day, and a 7×230m rotary furnace produces about 3000 t/day. For the dry method furnace sizes diminishes considerably without corresponding decline in the productivity. So, rotary furnaces with cyclone heat-transfer apparatus have sizes of 5×75 and 7×95 m (fig. 5.3), and a daily productivity of 1600 and 3000 t respectively.

The material passes through the sloping drum of the furnace, and on coming into contact with the hot gases, undergoing a series of complex physical and chemical transformations. Firstly, physically bound water is removed from the raw material mixture, and then the chemically bound or constitution water is removed from the clay component at 600…700° C. The dissociation of $CaCO_3$ occurs at 750…1000° C. At the temperature about 1300 °C exothermic reactions results in the formation of basic compounds – clinker minerals: dicalcium silicate $2CaO•SiO_2$ or shortly C_2S, tricalcium aluminate $3CaO•Al_2O_3$ (C_3A), tetracalcium aluminoferrite $4CaO•A_2O_3•Fe_2O_3$ (C_4AF). At a temperature of about 1300° C partial melting of raw material begins. CaO and $2CaO•SiO_2$ dissolve in the melt that leads to the main reaction of clinker formation (reaction of two-calcium silicate satiation CaO to the tricalcium silicate – $3CaO•SiO_2$ (C_3S)). The formation of C_3S takes place in the sintering zone of the furnace at a temperature range of 1300…1450° C. This ends the formation of conglomerates of clinker grains-granules, most of which have the sizes 10…60 mm depending on the composition and mode of operations of furnace.

5.15. Помел цементу
Milling of cement

Цементний клінкер після охолодження і витримування надходить на помел до трубних кульових млинів з продуктивністю до 50...100 г/год. (рис.5.4). До млинів вводять необхідну кількість гіпсового каменя, що забезпечує вміст у цементі до 3,5% SO_3 для

Національний університет
водного господарства
та природокористування

регулювання строків тужавлення. При помелі до складу портландцементу можуть бути також введені активні мінеральні добавки для покращення водостійкості та деяких інших властивостей. Вид і вміст добавок залежить від типу цементу. Введення мінеральних добавок до портландцементу відображають у його найменуванні.

Помел клінкеру – найбільш енергоємна технологічна операція у виробництві цементу, на його витрачається більш 60% всієї кількості електроенергії, що споживається на виробництво цементу. При помелі можуть вводитися спеціальні поверхнево-активні добавки для інтенсифікації подрібнення або надання цементу спеціальних властивостей. При введенні добавок ПАР можуть бути отримані пластифіковані та гідрофобізовані цементи.

Цемент з помельної установки надходить до силосного складу, обладнаного пневматичними пристроями для розрихлення, усереднення та вивантаження.

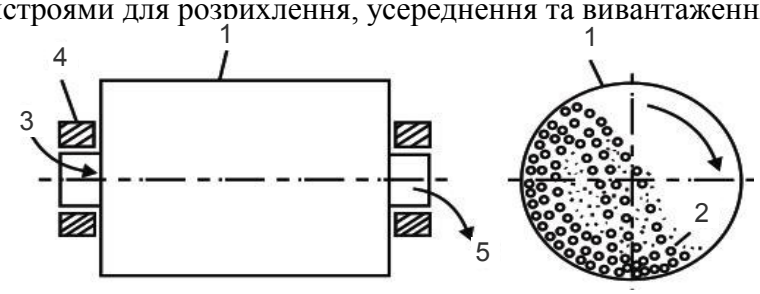

Рис. 5.4. Схема кульового млина:1 – барабан; 2 – мелючі тіла (кулі); 3 – завантаження вихідного матеріалу;4 – підшипники; 5 – розвантаження помеленого матеріалу.
Fig. 5.4. Scheme of the ball mill 1 - drum; 2 - crushing bodies (balls); 3 - download the source material; 4 - bearings; 5 - discharge of the ground material

Висока тонкість подрібнення цементного клінкеру є необхідною умовою проявлення його в'яжучих властивостей. При просіюванні цементу крізь сито з сіткою № 008 повинно проходити не менше 85% від маси проби. Ряд властивостей цементу і перш за все міцність у ранні строки твердіння пропорційні питомій поверхні, яка для заводських цементів дорівнює звичайно 2500...3500 см^2/г при визначенні її по швидкості проходження повітря крізь шар цементного порошку.

Cement clinker after cooling and storage comes the milling in the ball mills with a capacity of 50…100 t/hour (fig.5.4). The required amount of gypsum stone is added into to the mills, which provides content in cement to 3.5% SO_3 to regulate the time of setting. Other active mineral additives can also be added into Portland composition at the milling, to improve water resistance and some other properties. The type and content of additives depends on the type of cement. Specific designation is given to identify Portland cements containing mineral additives.

A clinker milling is the most power-consuming technological operation in cement production. More than 60% of total electric power, which is consumed on the production of cement, is spent on milling. At a milling plant, special surface-active substances can be entered for intensification of grinding down or providing cement with the special properties. At introducing to the cement additives SAS can be prepared plasticized and hydrophobic cements.

After milling the cement is transferred to the silo section, equipped with the pneumatic devices for aeration, homogenizing and unloading.

Grinding cement clinker to a high fineness is the necessary condition to ensure its high binding properties. To ensure adequate fines, not less than 85% by weight of cement must pass by sieving through a №008 sieve. A number of properties of cement and especially its strength in the early stages of hardening proportional to its specific surface. The specific surface for Portland cement ranges usually from 2500…3500 cm^2/g and is determined by the speed of air passing through the layer of cement powder.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

5.16. Мінералогічний склад портландцементного клінкеру
Mineralogical composition of portland cement clinker

Найзначніші за вмістом клінкерні мінерали називають алітом та белітом. *Аліт* – це твердий розчин трикальцієвого силікату C_3S та невеликої кількості $A1_2O_3$, MgO та ін. Твердий розчин в даному випадку є результатом впровадження вказаних оксидів до кристалічної ґратки трикальцієвого силікату. Аліт в значній мірі визначає властивості портландцементу, його високу міцність та швидкість її зростання протягом часу (рис.5.5).

Беліт є другим за вмістом клінкерним мінералом і являє собою твердий розчин – бета – двокальцієвого силікату β – C_2S та незначних кількостей Na_2O, K_2O, Fe_2O_3 та ін. Він твердіє повільно, однак неухильно нарощує міцність протягом часу.

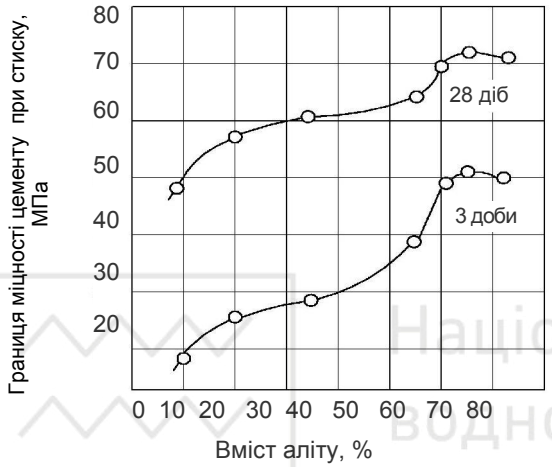

Рис. 5.5. Вплив вмісту аліту на міцність цементу
Fig.5.5. Influence of content alite on cement strength.

При розгляді клінкеру під мікроскопом чітко розрізняються призматичні кристали аліту та округлі – беліту (рис.5.6, 5.7). До складу проміжної речовини, що знаходиться між ними, входять алюмінатна та алюмоферитна фази. Алюмінатна фаза представлена *трикальцієвим алюмінатом* $3CaO{\cdot}Al_2O_3$ – швидкотверднучим мінералом, що твердне в перші строки з великим виділенням теплоти.

Алюмоферитна фаза являє собою твердий розчин різних алюмоферитів і для більшості клінкерів близька за складом до *чотирикальцієвого алюмоферит*у – C_4AF.

Мінералогічний склад портландцементного клінкеру коливається у слідуючому діапазоні, %: C_3S – 45...60; C_3A – 5...15; C_2S – 15...30; C_4AF – 10...20. Для деяких спеціальних видів портландцементу мінералогічний склад може не вкладатися у дані межі. Підвищення вмісту мінералів-силікатів (особливо аліту) покращує міцнісні та інші властивості цементу, однак ускладнює випалювання клінкеру. При виробництві цементу вибирають раціональні склади клінкеру, що забезпечують як високу якість продукції, так і оптимальні умови роботи обертових печей.

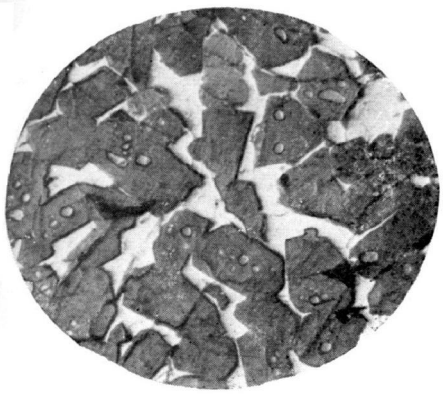

Рис. 5.6. Кристали аліту в клінкері
Fig.5.6. Crystals of alite in the clinker

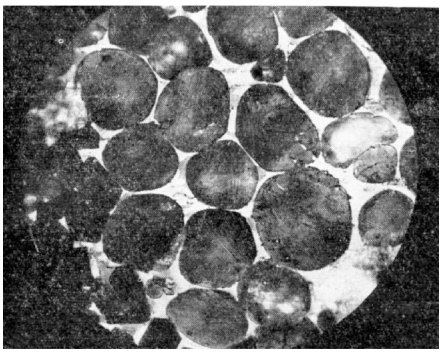

Рис. 5.7. Кристали беліту в клінкері
Fig.5.7. Crystals of of belite in the clinker

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The most important mineral compounds in the cement clinker are called alite and belite. An *alite* – is a solid solution of tricalcium silicate (C_3S) and little amount of Al_2O_3, MgO and others. Solid solution in this case is the result of interstitial of the indicated oxides into the crystalline lattice of tricalcium silicate. Alite determines the basic properties of the Portland cement, the early strength and rate of strength gain (fig.5.5).

Belite is the second most important of the clinker minerals. It is the solid solution of β – dicalcium silicate (β – C_2S) and tenuous amount of Na_2O, K_2O, Fe_2O_3 and others. It hardens lowly but steadily increases its strength over a long time.

Microscopic examination of cement clinker (fig.5.6,5.7) reveals clearly discernable prismatic crystals of alite and round–belit. The aluminate and aluminoferrite phases are the complement of intermediate matter which lies between them.

The aluminate phase is present in the form of *tricalcium aluminate* $3CaO \cdot Al_2O_3$ (C_3A). It is a high-early-strength mineral which is characterized by fast and highly exothermic reaction.

The aluminoferrite phase is the solid solution of different aluminoferrites and for many clinkers near on composition *to tetracalcium aluminoferrite* (C_4AF).

Usually, the mineralogical composition of Portland clinker varies within the following percentage range: C_3S – 45…60; C_3A – 5…15; C_2S – 15…30; C_4AF – 10…20. However, the mineralogical composition for some special types of Portland cement may not correspond to these limits. Increased content of mineral-silicates (especially alite) improves strength and other properties of cement, but complicates the burning of the clinker. The rational compositions of clinker are selected at the production of cement, which provide both high quality of cement and optimum conditions of rotary furnace working.

5.17. Нормальна густота і строки тужавлення цементу
Normal consistency and time of cement setting

Водопотребу цементів оцінюють кількістю води замішування у процентах від маси цементу, необхідної для утворення *тіста нормальної густоти*. Поняття нормальної густоти є умовним і визначається зануренням у цементне тісто товкачика приладу Віка.

Портландцемент характеризується порівняно невеликою водопотребою. Нормальна густота його коливається від 24 до 29%. Збільшують водопотребу цементу підвищений вміст алюмінатів, мінеральні добавки осадового походження (опока, трепел, діатоміт та ін.), велика тонкість помелу. Знижують водопотребу добавки ПАР, до числа яких слід віднести перш за все так звані суперпластифікатори. Підвищення водопотреби несприятливо відбивається на властивостях цементу: міцності, усадочних деформаціях, морозостійкості та ін. Це пояснюється збільшенням вмісту води порівняно з теоретично необхідним і, як наслідок, зростанням пористості цементного каменю.

Першою стадією твердіння цементного каменя є *тужавлення*. Весь період тужавлення умовно ділять на початок і кінець. *Початком тужавлення* цементного тіста вважається час, що пройшов від моменту замішування до того моменту, коли голка приладу Віка не буде доходити до пластинки, на якій встановлене кільце на 1...2 мм. *Кінцем тужавлення* вважається час від початку замішування до того моменту, коли занурювання голки у тісто буде не більше ніж як на 1 мм. Початок і кінець тужавлення цементів нормуються у межах зручних для виготовлення розчинів та бетонів. Початок тужавлення цементу повинен наставати не раніше, ніж через 60 хв. (для високоміцних цементів не раніше 45 хв). Як правило, він спостерігається через 2...4 години від моменту замішування. Кінець тужавлення для цементу повинен наставати не пізніше 10 год. Вказані вимоги забезпечуються за рахунок введення до портландцементу добавки гіпсу. Двоводний гіпс сповільнює початок тужавлення портландцементу. Сповільнююча дія гіпсу пов'язана з утворенням на поверхні зерен C_3A (найбільш швидкотверднучої фази цементу), захисних оболонок нової сполуки – *гідросульфоалюмінату*. Ця сполука є продуктом взаємодії гіпсу, трикальцієвого алюмінату і води.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The water demand of cements is estimated by the amount of water (in percents by weight of cement), which is necessary for forming the *paste with normal consistency*. The concept of normal consistency is conditional and determined by the standardized penetration of the rod of Vicat apparatus in cement paste.

Portland cement is characterized by the comparatively small water demand. Its normal consistency ranges between 24 to 29%. High content of aluminates and mineral additives of sedimentary origin (tripoli powder, diatomite and others) and increased milling fineness increases the water demand of cement. Introduction of surface-active additives, such as so-called superplasticizers, reduce the water demand. Increasing of water content affects the properties of cement: strength, shrinkage deformations, freeze-resistance and others unfavorably. This is because increasing the water content beyond the theoretical necessity and increasing the total porosity of cement stone.

Setting is the first stage of hardening of the cement paste. All the period of setting is divided into initial and final. *Initial setting time* of cement paste is considered to be the time period from the moment of mixing with water till the moment, when the needle of Vicat apparatus will not reach the plate, on which a ring is set, on 1…2mm. *Final setting time* is considered to be the time from the beginning of mixing with water till that moment, when penetration of the needle into the paste will not be more than 1 mm. Initial and final setting of cements is rationed within the limits, comfortable for mortars and concretes preparation. Initial setting time of cement should occur not carlier than 60 minutes (for higstrenght cements not earlier 45 minutes). As a rule, it is observed within 2…4 hours from the moment of mixing. The final setting time for cement should not occur later than 10 hours. The indicated requirements are provided as a result of adding of gypsum additive to Portland cement. Gypsum – dihydrate slows the initial time setting of Portland cement. The slowing action of gypsum is caused by the formation on the surface of grains of C_3A (the most fast-hardening phase of cement), protective coats of a new compound – *hydrosulphoaluminate*. This compound is the product of interaction of gypsum, tricalcium aluminate and water.

5.18. Міцність цементу
Strength of cement

Міцність цементу, яка характеризує його марку або клас, визначається через 28 діб твердіння зразків – балочок розмірами $40\times40\times160$ мм з цементно-піщаного розчину 1:3 (1 частина цементу, 3 частини стандартного піску) в нормованих умовах. В цей період міцність цементу зростає інтенсивно, потім значно повільніше. Міцність швидкотверднучих цементів визначається також через 2 доби твердіння. Фізико-механічні властивості цементу згідно EN197-1 наведені у табл.5.2.

Таблиця 5.2

Фізико-механічні властивості цементу (EN 197-1)

Клас міцності	Міцність при стиску, МПа				Початок тужавлення, хв
	Рання міцність		Стандартна міцність		
	2 доби	7 діб	28 діб		
32,5 N	–	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
32,5 R	≥ 10	–			
42,5 N	≥ 10	–	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
42,5 R	≥ 20	–			
52,5 N	≥ 20	–	≥ 52,5	–	≥ 45
52,5 R	≥ 30	–			

Примітка: N – нормальна рання міцність, R – висока рання міцність.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Цементні заводи повинні визначати очікувану міцність цементу при стиску в 28-добовому віці (*активність цементу*) і при пропарюванні у віці одна доба і вказувати її у паспорті на цемент, що відвантажується.

Для орієнтовного визначення міцності цементів використовують також інші прискорені методи.

Міцність цементів знаходиться в складній залежності від великого комплексу факторів. Одним з основних є склад цементу (рис. 5.8). На показники міцності цементу впливає не тільки вміст окремих мінералів, але й їх мікроструктура. В останні роки велику увагу приділяють добавкам, що підвищують міцність цементу.

Міцність цементу, особливо у ранньому віці, підвищується із збільшенням питомої поверхні. Умови зберігання і твердінення цементу також суттєво впливають на міцність цементу в бетонах та розчинах.

Рис. 5.8. Кінетика зростання міцності цементних мінералів в часі:
1 – C_3S; 2 – β - C_2S; 3 – C_3A; 4 – $C_2(A, F)$
Fig.5.8. Kinetics of increasing strength of cement minerals in time:
1 – C_3S; 2 – β - C_2S; 3 – C_3A; 4 – $C_2(A, F)$

Strength of cement characterizing its grade or class is determined after 28 days of hardening of specimens. The standard specimen-beams, 40×40×160 mm in size, is made from cement-sand mortar 1:3 (1 part of cement, 3 parts of normal sand), using standard conditions. The cement strength increases intensively till 28 day age, but the rate of strength gain slows considerably at later ages. The strength of rapid-hardening cements is determined also after 2 days of hardening. Mechanical and physical requirements of cement accordingly to EN 197–1 are shown in the table 5.2.

Table 5.2

Mechanical and physical requirements for cement(EN 197–1)

Strength class	Compressive strength, MPa				Initial setting time, min
	Early strength		Standart strength		
	2 days	7 days	28 days		
32,5 N	–	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
32,5 R	≥ 10	–			
42,5 N	≥ 10	–	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
42,5 R	≥ 20	–			
52,5 N	≥ 20	–	≥ 52,5	–	≥ 45
52,5 R	≥ 30	–			

Note: N – normal early strength, R – high early strength.

Cement plants should determine also expected cement compressive strength at 28 days age (*activity of cement*) at steaming in the age of one day and to specify it in the certificate of cement quality. Also another accelerated methods can be used for approximate determination of cement strength.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The cement strength is dependent on the multiplicity of factors. Cement composition is one of the basic factors (fig.5.8). Not only content of separate minerals, but also their microstructure influences the indexes of the cement strength. In the last years the additives which promote the cement strength has received great attention.

The compressive strength of cement, especially at early ages, increases as the specific surface area increases. Conditions of storage and hardening of cement also substantially influence on the strength of cement in concretes and mortars.

5.19. Гідратація та тверднення портландцементу
Hydration and hardening of Portland cement

В результаті взаємодії мінералів, що містяться у цементі, з водою утворюються нові сполуки – гідрати. При гідратації мінералів – силікатів такими сполуками є *гідросилікати*. Так, процес гідратації основного клінкерного мінералу – трикальцієвого силікату C_3S можна за певних умов представити рівнянням:

$$2(3CaO \cdot SiO_2) + 6H_2O = 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + 3Ca(OH)_2 . \quad (5.2)$$

Склад гідросилікатів, що утворюються при реакції, залежить від температури та концентрації гідроксиду кальцію.

Трикальцієвий алюмінат C_3A у присутності гіпсу, що міститься у цементі, і води утворює *гідросульфоалюмінат кальцію* (*еттрингіт*), що сповільнює процес тужавлення цементного тіста:

$$3CaO \cdot Al_2O_3 + 3(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + 25H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O . \quad (5.3)$$

При гідратації поряд з гідросульфоалюмінатом утворюється і *гідросульфоферит кальцію* або твердий розчин цих двох сполук. Хімічні реакції починають проходити відразу після змішування цементу з водою. Першими гідратними новоутвореннями є еттрингіт та гідроксид кальцію. Потім утворюються дуже дрібні кристали гідросилікатів кальцію.

Механізм твердіння цементу дуже складний. У відповідності із сучасними уявленнями, з пересиченого розчину новоутворення кристалізуються в два етапи. Протягом першого відбувається формування каркасу із виникненням контактів зрошування між кристалами новоутворень. При цьому можливий також ріст кристалів, що зрощуються між собою. Протягом другого етапу нові контакти не виникають, а відбувається лише обростання каркасу, який уже утворився, тобто ріст кристалів, що його складають. В результаті збільшується міцність цементного каменя, однак можуть виникнути і внутрішні розтягуючі напруження. Вирішальну роль відіграє пересичення розчину. При низькому пересиченні кількість кристалів невелика і вони не зростаються. Для найбільшої міцності штучного каменя необхідні оптимальні умови гідратації, що забезпечують виникнення кристалів новоутворень достатньої величини.

Тверднення портландцементу в значній мірі залежить від температурно-вологісних умов. Так, зниження температури від 20 до 5° С сповільнює твердіння у 2...3 рази, а підвищення до 80° С збільшує швидкість гідратації в 6 разів. При температурі нижче мінус 10° С гідратація цементу практично припиняється.

Нормальне протікання процесів твердіння можливе лише при достатній вологості середовища, підвищення температури не повинно супроводжуватися висушуванням. Прискорення фізико-хімічних процесів твердіння портландцементу при тепловій обробці (пропарюванні, електропрогріві тощо) дозволяє одержати в короткий строк бетонні та залізобетонні вироби з необхідною відпускною міцністю.

New chemical compounds - hydrates appear as a result of interaction of minerals, which are contained in cement, with water. *Hydrosilicates* are basic compounds, which are formed during the

Національний університет
водного господарства
та природокористування

hydration of minerals – silicates. It is possible at certain conditions to describe the process of hydration of main clinker mineral – tricalcium silicate C_3S by equation:

$$2(3CaO \cdot SiO_2) + 6H_2O = 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + 3Ca(OH)_2 . \quad (5.2)$$

Composition of hydrosilicates depends on temperature and on the concentration of calcium hydroxide.

Tricalcium aluminate C_3A in the presence of gypsum, which is contained in cement, and water, forms calcium *hydrosulphoaluminate (ettringite),* which slows the process of setting of cement paste:

$$3CaO \cdot Al_2O_3 + 3(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + 25H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O . \quad (5.3)$$

At the cement hydration along the hydrosulphoaluminate, another hydrate, *calcium hydrosulphoferrite* or solid mortar of these two compounds appears. Chemical reactions begin just after mixing of cement with water. Ettringite and calcium hydroxide are the first new hydrate formed. Then are formed a very fine crystals of hydrosilicates.

The mechanism of cement hardening is very complex. Accordance to modern views, new formations crystallize from oversaturated solution in two stages. There is the formation of framework with the origin of contacts of accretion between the crystals of new formation during the first stage. Growing of crystals, which are joined between themselves, is also possible. During the second stage new contacts does not develop, but there is only overgrowth of the framework which has appeared already. This increases the strength of the cement stone, but internal stretching tensions can develop. A decisive role play the oversaturation of solution. At low oversaturation the amount of crystals is small, they are not accreted. For the maximum strength of artificial stone the optimal conditions of hydration are needed, which provide the origin of new hydrate compounds of sufficient size at minimal tensions.

Hardening of Portland cement largely depends on the temperature and humidity conditions. So, the decline of temperature from 20 to 5° C slows the rate of hardening 2… 3 times. Increasing the temperature to 80° C increases the speed of hydration by up to 6 times. At temperature below – 10° C, the hydration of cement become practically halted.

The normal progress of the processes of hardening is possible only in conditions sufficient environmental humidity and temperature, but temperature increase must not be accompanied with drying. The acceleration of physical and chemical processes of hardening of Portland cement by means of thermal treatment (steaming-out, electro-warming and other like that) allows obtaining concrete and reinforced concrete products with the require strength in the short terms.

5.20. Швидкотверднучі та надміцні цементи
Rapig hardening and high-strength cements

Для виробництва надміцних швидкотверднучих бетонів використовують зазвичай *швидкотверднучі* та *високоміцні цементи*. Використання швидкотверднучих та надміцних цементів, що забезпечує прискорений ріст міцності виробів та зниження витрат в'яжучого на 1 $м^3$ бетону (рис.5.9).

Для швидкотверднучого портландцементу додатковою вимогою є досягнення через 2 доби твердіння міцності на стиск не менше 15...25 МПа. Клінкер швидкотверд-нучого цементу містить підвищену кількість (60...65%) найбільш активних мінералів – трикальцієвого силікату C_3S та трикальцієвого алюмінату C_3A. Тонкість помолу його підвищена, питома поверхня досягає 3500 $см^2/г$ і більше.

Збільшення в цементному клінкері вмісту C_3S до 60...65% та питомої поверхні до 4000 $см^2/г$ і більше дозволяє отримати *особливо швидкотверднучі надміцні цементи* з міцністю на стиск 25...30 МПа через 1 добу і 80...90 МПа у віці 28 діб. Однак при цьому різко зростають енерговитрати, знижується продуктивність обладнання.

В останні роки розроблено ряд нових способів прискорення твердіння та підвищення активності цементів.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

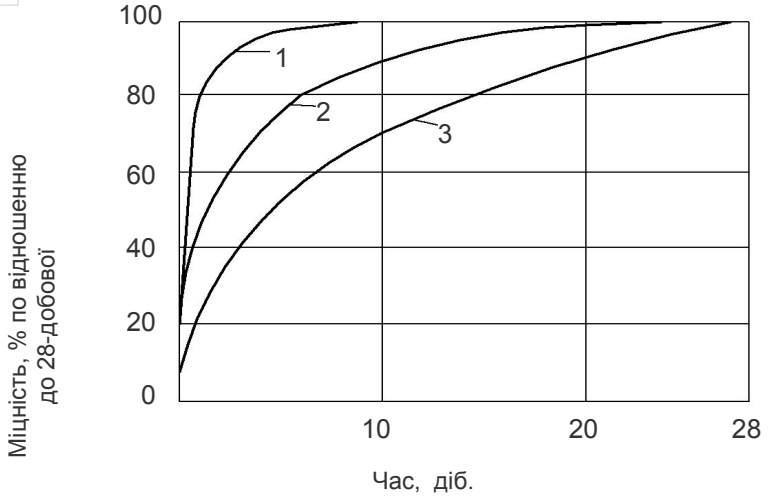

Рис.5.9. Кінетика твердіння різних цементів:
1 – глиноземистий цемент; 2 – швидкотверднучий портландцемент; 3 – звичайний портландцемент.
Fig. 5.9. Kinetics of different cement hardening:
1 – alumina cement; 2 – rapid-hardening cement;
3 – ordinary Portland cement.

Розроблено технологію *надшвидкотверднучого портландцементу*, що містить фтор. Як сировинні матеріали для нього використовуються вапняк, шлаки вторинної переплавки алюмінію, фториду кальцію та спеціальна добавка для утримування фтору у клінкері. Цемент, модифікований фтором, досягає через 6 год. нормального твердіння міцності на стиск 5...8 МПа. Використання фторовміщуючого цементу дозволяє забезпечити при виробництві залізобетонних виробів необхідну міцність вже через 1 годину теплової обробки.

Перспективним напрямком отримання швидкотверднучих в'яжучих є виробництво *сульфоалюмінатних цементів* шляхом введення сульфатів до сировинних сумішей у кількості понад 5%. Сульфоалюмінати кальцію, що утворюються при цьому, надають клінкеру здатність до швидкого твердіння, високу гідравлічну активність. Джерелом сульфатів для виробництва сульфоалюмінатного клінкеру можуть бути фосфогіпс та інші гіпсові відходи.

Надшвидкотверднучий цемент також отримують помелом клінкеру спеціального складу (сульфоалюмінатнобелітового) та гіпсу. Через 6 год. після замішування цей цемент при температурі 20° С набуває міцність 7...15 МПа і більше, що дає можливість використовувати його для виготовлення збірних виробів та конструкцій без тепловологісної обробки. Для даного цементу характерні короткі строки тужавлення – початок не раніше 5 хвилин, кінець не пізніше 1 год., що потребує використання бетонної суміші відразу після виготовлення.

Технологія *в'яжучих низької водопотреби*, заснована на тонкому подрібненні портландцементу з додатковим введенням мінеральних добавок або без них і підвищених дозах сухого суперпластифікатору. Залежно від вмісту мінеральних добавок ці в'яжучі поділяють на різні види. Використання їх дозволяє виготовляти бетони з міцністю до 100 МПа і вище.

It is rational to use *rapid-hardening* and *high strength cements* for the production of high strength and rapid hardening concrete, which provides rapid growth of the strength of products and declining of binder content per 1 m^3 of concrete (fig.5.9.).

For rapid-hardening Portland cement an additional requirement is achievement in 2 days of hardening of the compressive strength not less than 15…25 MPa. The clinker of rapid-hardening cement contains an enhanced amount (60…65%) of the most active minerals – tricalcium silicate (C_3S) and tricalcium aluminate (C_3A). This type of cement is milled to higher fineness, its specific surface area – 3500 cm^2/g and more.

Increasing the C_3S content in the cement clinker to 60…65% and specific surface area to 4000 cm^2/g or more are produced *especially rapid-hardening cements* with compressive strength of 25…30 MPa at 1days and 80…90 MPa at 28 days. However, their production involves a sharp growth of the power inputs, whilst the productivity of equipment become reduced.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The number of new methods of hardening acceleration and increase of cement activity has been developed within the last few years.

The technology has also been developed for *extra-rapid hardening cement* that contains fluorine. Limestone, slags of the meltback of aluminium, calcium fluoride and special additives for retaining fluorine in a clinker are used as raw materials. Cement, modified by fluorine, achieves compressive strength of 5…8 MPa after 6 hours of normal hardening. The use of fluoride cement allows the production of concrete products having the required strength after about 1 hour of thermal treatment.

The production of *sulphoaluminate cements* by adding over 5% of sulfates to the raw meals is the perspective direction for the production of rapid-hardening binders. The calcium sulphoaluminates produced gives the clinker a capacity for rapid hardening, and high hydraulic activity. The phosphogypsum and other gypsum wastes can be the source of sulfates for the production of sulphoaluminate clinker.

Extra-rapid-hardening cement is produced also by the milling of a clinker with special composition (sulphoaluminate belite) and gypsum. A strength of 7…15 MPa may be reached of this cement in about 6 hours after water mixing at a temperature of 20° C. This enables its use for producing precast concretes and structures without thermal- moisture treatment. This type of cement is characterized by a short setting time – initial set is not earlier than 5 minutes, and final set of not later than 1 hour. Concrete made with this type of cement needs to be applied immediately after mixing.

Technology of *binders of low water demand* is based on fine milling of Portland cement with addition of mineral additives or without them and enhanced dosages of dry superplasticizer. Depending on the content of mineral additives these binders are divided into different types. The use of these binders allow to produce concretes with the strength to 100 MPa and higher.

5.21. Сульфатостійкі портландцементи
Sulfate–resistant Portland cements

Сульфатостійкий портландцемент відрізняється від звичайного підвищеною стійкістю по відношенню до сульфатної агресії в умовах систематичного поперемінного заморожування та відтаювання або зволоження та висушування. Ця головна особливість сульфатостійкого портландцементу забезпечується застосуванням клінкеру нормованого мінералогічного складу з низьким вмістом трикальцієвого алюмінату C_3A. Мінералогічний склад такого клінкеру повинен відповідати трьом умовам: 1) вміст C_3A не більше 5%; 2) вміст C_3S не більше 50%; 3) сума C_3A+C_4AF не більше 22%.

Поряд з сульфатостійким портландцементом, до якого не дозволяється вводити мінеральні добавки, промисловість випускає *сульфатостійкий портландцемент з мінеральними добавками*, котрими можуть виступати гранульовані доменні та електротермофосфорні шлаки при вмісті Al_2O_3 до 8%.

В клінкері сульфатостійкого портландцементу з мінеральними добавками вміст C_3S не нормується. Цей цемент має міцність при стиску у віці 28 діб 40…50 МПа. Сульфатостійкість цементів, як і ряд інших їх властивостей, покращується при введенні поверхнево-активних речовин.

Sulfate-resistant Portland cement differs from the ordinary Portland cement because it has an enhanced resistance to sulfate aggression in the conditions of systematic alternate freezing and thawing or moistening and drying. The main feature of sulfate-resistant Portland cement is that it has a mineralogical composition of clinker with low content of tricalcium aluminate (C_3A). The mineralogical composition of such clinker must comply with three conditions: 1) content of C_3A is not more than 5%; 2) content of C_3S is not more than 50%; 3) sum of C_3A+C_4AF is not more than 22%.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Along the sulfate-resistant Portland cement, to which it is not allowed to add mineral additives, industry produces *sulfate-resistant Portland cement with mineral additives*. The additives may be granulated blast furnace and electrothermophosphoric slags at content of Al_2O_3 not more than 8 %.

The content of C_3S in the clinker of sulfate-resistant Portland cement with mineral additives is not specified. The compressive strength of this cement at 28 days is 40…50 MPa. The sulfate-resistance of cements, as well as a range of other properties, are improved by addition of surface active admixtures.

5.22. Шлакопортландцементи
Blastfurnace cements

Шлакопортландцемент – це гідравлічна в'яжуча речовина, яку отримують, шляхом тонкого помелу клінкеру, необхідної кількості гіпсу та гранульованого шлаку. У шлакопортландцементі може міститися 36...65% гранульованого доменного шлаку.

Якість доменного шлаку характеризується, основним чином, значенням *коефіцієнту якості*, що виражає відношення сумарного процентного вмісту оксидів CaO, MgO, Al_2O_3 до вмісту SiO_2 та Fe_2O_3.

Шлакопортландцемент, порівняно з портландцементом, має вищу стійкість у м'яких та мінералізованих водах, підвищену жаростійкість, що пояснюється незначним вмістом у цементному камені вільного гідроксиду кальцію. Він більш інтенсивно твердіє при тепловологісній обробці і повільніше тужавіє та твердіє при пониженій температурі, в нього нижча морозостійкість. Міцність при стиску шлакопортландцементу у віці 28 діб звичайно 30…50 МПа.

Поряд із звичайним виготовляють також *швидкотверднучий* та *сульфатостійкий шлакопортландцементи.* Для останнього використовують клінкер, що містить не більше 8% C_3A та шлак, що містить не більше 8% Al_2O_3.

Шлакопортландцемент використовується для бетонних та залізобетонних наземних, підземних та підводних конструкцій, які піддаються дії прісних вод, а також для виготовлення збірних конструкцій з використанням тепловологісної обробки, для приготування будівельних розчинів. Не допускається використовувати цей цемент для конструкцій, експлуатація яких потребує підвищеної морозостійкості і для будівельних робіт при знижених температурах без штучного підігріву, а також в жарку та суху погоду без ретельного додержання вологісного режиму твердіння.

Шлакопортландцемент - економічно ефективний вид цементу. Енергоємність шлакопортландцементу в середньому на 25% нижче енергоємності портландцементу з мінеральними добавками.

Blast-furnace cement is a hydraulic binding material, which is produced by intergrinding cement clinker, blast-furnace slag (36…65%) and gypsum.

The quality of blast-furnace slag is characterized, mainly by the value of the *coefficient of quality*, which represents the ratio between the total percentage of oxides CaO, MgO, Al_2O_3 and the content of SiO_2 and Fe_2O_3.

Blast-furnace cement has a higher resistance in soft and mineralized waters, and enhanced heat-resistance compared to Portland cement. This can be explained by the insignificant content of free hydroxide of calcium in the cement stone. It hardens more intensively at thermal-moisture treatment, more slowly at a reduced temperature and has a lower freeze–thaw resistance. The compressive strength of blast–furnace cement is usually 30-50 MPa at 28 days.

Rapid hardening and *sulfate-resistant blast-furnace cements* are also produced along with the ordinary one. Clinker, which contains not more than 8% C_3A and slag, which contains not more than 8% Al_2O_3 is used for manufacture of sulfate-resistant cements.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Blas-furnace cements are used for underwater structures, which are subjected to the action of fresh waters, and also for making of precast elements with the use of thermal-moisture treatment, and for preparation of building mortars. It is not allowed to use these cements for structures, exploitation of which needs enhanced freeze-thaw resistance and for building works at subzero temperature without artificial heating, and also in a hot and dry weather without careful keeping of the moisture conditions during hardening.

Blast-furnace cements are economically effective types of cements. The power consumption at blast-furnace cement production on average to 25% is lower than energy consumption at production of Portland cement.

5.23. Пуцолановий портландцемент
Pozzolanic Portland cement

Пуцолановий портландцемент – гідравлічна в'яжуча речовина, яку отримують шляхом сумісного тонкого подрібнрення клінкеру, кислої активної мінеральної (гідравлічної) добавки та гіпсу.

Значна кількість активних мінеральних добавок (21...35%) у пуцолановому цементі також як і в шлакопортландцементі підвищує водо– та сульфатостійкість. В пуцолановому портландцементі цьому сприяє також обмеження трикальцієвого алюмінату ($C_3A < 8\%$). Понижена густина пуцоланового портландцементу (2,7...2,9 г/см$_3$) призводить до підвищеного виходу з нього цементного тіста. Це, а також ущільнення цементного каменю внаслідок набухання добавок забезпечує більш високу водонепроникність бетонів на пуцолановому портландцементі. При розбавленні цементів мінеральними добавками знижується їх тепловиділення при твердненні та тріщиноутворення в масивному гідротехнічному бетоні.

Пуцолановий портландцемент при звичайних і особливо при низьких температурах твердіє повільно. Ріст міцності цього цементу особливо сповільнюється при твердінні його на повітрі. При введенні до цементу деяких мінеральних добавок (діатоміту, трепелу тощо) збільшуються витрати води і відповідно цементу у бетонних сумішах. Бетони та розчини на пуцолановому портландцементі неморозостійкі. їх недоліками також є велика усадка, низька стійкість до поперемінного зволоження та висушування.

Найбільш раціональним є використання пуцоланового портландцементу для підземних та підводних конструкцій підвищеної водонепроникності та стійкості як у м'яких, так і у мінералізованих водах. Можна використовувати його і для наземних конструкцій, що знаходяться в умовах підвищеної вологості, але не зазнають заморожування та відтавання.

Pozzolanic Portland cement is a hydraulic binding material, which is produced by intergrinding cement clinker with acid active mineral (hydraulic) additive and gypsum.

The presence of increased amounts (21…35%) active mineral additives in pozzolanic cement as well as in blast–furnace Portland cement promotes water- and sulfate-resistance. The limitation of tricalcium aluminate ($C_3A < 8\%$) to provide of the required sulfate-resistance is also desirable in pozzolanic Portland cement. The low density of pozzolanic Portland cement (2.7…2.9 g/cm^3) results in an enhanced volume of cement paste from it. This as well as compacting of the cement stone due to the swelling of mineral additives ensures higher water impermeability of concretes, based on pozzolanic Portland cement. As diluting cement of the mineral additives is reduced their exoterm and cracking in the massive hydraulic concrete.

Pozzolanic Portland cement at ordinary and especially at low temperatures hardens slowly. The strength development of this cement is especially slowed during hardening in air conditions. Adding some mineral additives (diatomites, tripoli powders and others like that), increases the water demand and accordingly the cement content of concrete mixes. Concretes and mortars, based

Національний університет
водного господарства
та природокористування
on pozzolanic Portland cement, are not frost-resistant. Large shrinkage and low resistance to alternate moistening and drying are imperfections also observed in such cements.

It is most rational to use pozzolanic Portland cement for underground and underwater structures on account of their enhanced water impermeability and resistance both in soft and in mineralized waters. It is possible to use this type of cement for ordinary structures, which are exposed to conditions of high humidity, but not subject to freezing and thawing.

5.24. Цементи з добавками ПАР
Cements with admixtures of SAS

До портландцементів різних видів та марок при подрібненні дозволяється вводити поверхнево-активні речовини (ПАР). В процесі подрібнення цементу ПАР адсорбуються на його зернах та надають йому ряд властивостей. Розрізняють гідрофілізуючі та гідрофобізуючі ПАР.

Гідрофілізуючі ПАР адсорбуються на поверхні зерен цементу та утворюють гідрофільні плівки, які сприяють кращому змочуванню частинок водою, зменшенню їх зчеплення та підвищенню пластичності цементного тіста. При введенні гідрофобізуючих добавок у кількості 0,15...0,3% в процесі подрібнення отримують *пластифікований портландцемент*.

Пластичність цементів визначають за ступенем розпливу конусу з цементно-піщаного розчину на струшуючому столику. Розчин із суміші пластифікованого портландцементу з нормальним піском складу 1:3 (за масою) при водоцементному відношенні (В/Ц), рівному 0,39 після 30 струшувань на струшуючому столику має розплив конуса не менше 135 мм. Для непластифікованого портландцементу цей показник становить 106...115 мм.

Використання пластифікованого портландцементу дозволяє без збільшення витрат води отримати бетонну суміш більшої рухомості та полегшити її укладання або при незмінних рухомості та водоцементному відношенні знизити на 8...12% витрати цементу. При збереженні встановленої витрати цементу та необхідної рухомості зменшується водоцементне відношення бетонної суміші, що призводить до підвищення міцності, морозостійкості та водонепроникності бетону.

Гідрофобний портландцемент одержують при введенні до складу цементу в процесі подрібнення гідрофобізуючих добавок (милонафту, асидолу, синтетичних жирних кислот тощо). Гідрофобізуючі добавки утворюють на зернах цементу найтонші адсорбційні шари - водонезмочувані оболонки. Крапля води на поверхні гідрофобних цементів не повинна всмоктуватися протягом 5 хвилин.

Гідрофобність цементу обумовлює його головну перевагу – здатність до тривалого зберігання. Гідрофобні цементи не знижують активність протягом 1...2 років навіть у несприятливих умовах, в той час як звичайні цементи вже через 3...6 місяців втрачають до 30% і більше початкової міцності. При перемішуванні з водою цих цементів гідрофобні оболонки руйнуються, що забезпечує нормальне протікання процесів гідратації твердіння.

Гідрофобізація цементу сприяє підвищенню щільності та покращенню структури цементного каменю, що дозволяє досягти більшої морозостійкості та водонепроникності бетонів, їх стійкості в агресивних водах, зменшити висолоутворення в штукатурно-оздоблюваних розчинах тощо. Адсорбційно-змащувальна дія гідрофобізуючих ПАР сприяє більш високій рухомості бетонних сумішей та розчинів. Добавки ПАР можуть дещо сповільнити ріст міцності у перші строки твердіння.

Surface active substances (SAS) can be added in different types of Portland cements at grinding. During the process of cement grinding SAS are adsorbed on its grains and give to it a number of new properties depending on whether the added SAS is a hydrophilic or hydrophobic agents.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Hydrophilic SAS are absorbed on the surface of cement grains and form hydrophilic films, which are instrumental in the better moistening of the particles with water, diminishing of their tripping and increasing the plasticity of cement paste. *Plasticized Portland cement* is produced by adding hydrophilic agents in an amount 0.15-0.3% during the process of grinding.

Plasticity of cements is determined by the degree of cone spread of a cement-sandy mortar on a shaking table. The mortar from a mix, based on plastificised portland cement with standard sand composition of 1:3 (by weight) and a water–cement ratio (W/C) of 0.39 after a 30 shakings on a shaking table has a cone spread of not less than 135 mm. This index is 106…115 mm for not plasticized Portland cement

The use of plasticized Portland cement allows the production of concrete mix of better plasticity and facilitates its compaction and placing without a corresponding increase of water content. It can also be used to reduce the cement content by 8…12%, with unchanging plasticity and water–cement ratio. By keeping the cement content and required plasticity constant, the water – cement ratio of concrete mix diminishes, which results in the increase of strength, frost-resistance and water impermeability of concrete.

Hydrophobic Portland cement is produced by adding hydrophbic SAS to the cement composition during the process of grinding. These agents form the thinnest adsorption layers - unwettable membranes on grains of cement. A drop of water on the surface of hydrophobic cements must not be sucked for 5 min.

Hydrophobic property of cement stipulates its main advantage – a capacity to protracted storage. Hydrophobic cements do not reduce activity during 1…2 years in unfavorable conditions; compared to ordinary cements, which may lose up to 30% of their initial strength within 3…6 months. The hydrophobic films are destroyed during the mixing with water of these cements that provides the normal flowing of processes of hydration and hardening.

The cement hydrophobization is instrumental in the increase of density and improvement of cement stone structure, which allows attainment of greater frost-resistance and water impermeability of concretes, their firmness in corrosive environments, to decrease the leaching in the plasters and finishing mortars and others like that. The adsorption action of hydrophobic admixtures is instrumental in the increase of plasticity of concretes and mortars. Surface active substances can slightly slow down the strength growth of cement and concrete in the first periods of hardening.

5.25. Розширні та напружуючі цементи
Extended and straining cements

Для звичайних цементів при твердінні на повітрі характерна усадка, яка викликає розтягуючі напруження в бетоні навіть до утворення тріщин. Спеціальні цементи, що дають при твердінні приріст об'єму, називають *розширними*. Розширення цементів, характерне при твердінні в ранньому віці, компенсує негативний вплив усадочних деформацій. Цементи, що розширюються, як правило є змішаними і складаються з основної в'яжучої речовини та добавки, яка розширюється. Розширення цементного каменя відбувається, зазвичай, за рахунок хімічної взаємодії компонентів добавки та утворення гідросульфоалюмінатів кальцію, а також $Ca(OH)_2$ та $Mg(OH)_2$.

Напружуючі цементи є різновидом цементів, що розширюються. Вони мають енергію розширення, достатню для натягування арматури в залізобетонних конструкціях. їх поділяють на цементи з малою (1...2 МПа), середньою (до 4 МПа) та високою (до 6 МПа) енергією розширення. Цементи, що напружуються, випускають як для умов теплової обробки, так і для нормального твердіння. Використання цих цементів дозволяє створювати ефективні попередньонапружені конструкції. Їх використання дозволяє до 30...50% зменшити витрати арматури, у ряді випадків відмовитися від спеціальних гідроізоляційних покрить.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Напружуючий портландцемент отримують шляхом тонкого подрібнення 65...70% портландцементного клінкеру, 16...20% високо-глиноземистого шлаку та 14...16% гіпсу. Відносне лінійне розширення становить 3...4%.

Розроблено технологію напружуючого цементу на основі сульфоалюмінатного клінкеру, що містить як основний мінерал сульфоалюмінат кальцію. Такий клінкер отримують випалюванням каоліну або золи ТЕС в суміші з вапняком та гіпсом.

The shrinkage, which causes stretching tensions in a concrete even to formation of cracks, is characteristic of ordinary cements during hardening in air conditions. Special cements, which increase their volume during hardening, are called *extended cements*. Expansion of cements during early age hardening, compensates the negative influence of shrinking deformations. Extended cements as a rule are composite and consist of basic binding substance and additive, which cause expansion. Expansion of cement stone takes place, as a rule, due to the chemical interaction of components of additive and formation of calcium hydrosulphoaluminates and also $Ca(OH)_2$ and $Mg(OH)_2$.

Straining cements are the variety of extended cements. They have energy of expansion, sufficient for reinforcement tensioning in reinforced concrete constructions. They are divided into cements with small (1...2 MPa), middle (4 MPa) and high (6 MPa) energy of expansion. Straining cements are produced both for the conditions of thermal treatment and for the normal hardening. Application of these cements allows to produce effective prestressed structures. Their use allows lower expenses on reinforcement by up to 30…50%.

Straining cement is produced by fine milling of 65…70% Portland clinker, 16…20% high-aluminous slag and 14…16% of the gypsum. Relative linear expansionof such cement equals 3…4%.

Technology of straining cement is developed on the basis of sulphoaluminate clinker which contains the sulphoaluminate calcium as a basic mineral. Such clinker is produced by the burning of kaolin or ash, mixed with limestone and gypsum.

5.26. Глиноземистий цемент
Alumina cement

Глиноземистий цемент – швидкотверднуча в'яжуча речовина, яку одержують тонким помелом клінкеру, що складається з низькоосновних алюмінатів кальцію.

Основу глиноземистого цементу, як і портландцементу, складають чотири оксиди - CaO, Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3. Однак кількісні співвідношення цих оксидів принципово інші. У найбільшій кількості до глиноземистого цементу входять Al_2O_3 (30...50%) та CaO (30...45%). Ці оксиди забезпечуються відповідними сировинними матеріалами - бокситом та вапняком.

Клінкер глиноземистого цементу одержують двома способами: плавленням сировинної суміші, або випалюванням її до спікання.

Тонкість помелу глиноземистого цементу повинна бути такою, щоб при просіюванні крізь сито № 008 проходило не менше 90% маси проби. Якість глиноземистого цементу визначається головним чином кількістю однокальційєвого алюмінату. Водопотреба глиноземистого цементу та ж, що й для портландцементу (23...28%), однак він більш чутливий до недостачі води замішування, що веде до передчасного тужавлення.

Початок тужавлення повинен наставати не раніше 30 хвилин, кінець - не пізніше 12 год. Через 5...6 год. твердіння міцність глиноземистого цементу досягає 30% марочної (визначеної протягом 3-ї доби), а у добовому віці до 50% і більше (рис. 8.13). Для глиноземистого цементу встановлені три марки: М400, М500 та М600.

Глиноземистий цемент значно дорожчий портландцементу у зв'язку з дефіцитом бокситової сировини. Це в'яжуче доцільно застосовувати у тих випадках, коли раціонально

Національний університет
водного господарства
та природокористування
використовуються його переваги: при аварійних роботах, при швидкісному зведенні залізобетонних конструкцій, особливо при зниженій температурі, для жаростійких бетонів.

На основі глиноземистого цементу випускають гіпсоглиноземистий та водонепроникний розширні цементи. *Гіпсоглиноземистий цемент* одержують сумісним подрібненням клінкеру глиноземистого цементу та гіпсу у співвідношенні 70 : 30 (за масою), а *водонепроникний розширний цемент* (ВРЦ) – сумісним помелом або змішуванням 73...76% глиноземистого цементу, 20...22% будівельного гіпсу та 10...11% високоосновних гідроалюмінатів кальцію. Гідроалюмінати отримують обробкою суміші глиноземистого цементу з гашеним вапном. Гіпсоглиноземистий цемент розширюється при твердінні у вологому середовищі, а ВРЦ – і на повітрі. Особливістю цих цементів є короткі строки тужавлення, висока водонепроникність розчинів та бетонів на їх основі в ранньому віці.

Alumina cement is a high-early-strength binding material, which is produced by the fine milling of clinker and consists mainly of low basic calcium aluminate.

The basis of alumina cement, as well as Portland cement, are four main oxides – CaO, Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3. However, numerical correlations of these oxides are principally different. Alumina cements contain mostly Al_2O_3 (30…50%) and CaO (30…45%). These oxides are provided by the principal raw materials - bauxite and limestone.

The clinker of alumina cement is produced by two methods: melting of raw mix, or its burning to sintering.

The fineness of drinding the alumina cement must be such that not less than 90% by weight of the test material passed when sifting through a sieve № 008. The quality of alumina cement is determined mainly by the amount of calcium aluminate. The water demand of alumina cement is the same as Portland cement (23…28%), but it is more sensible to shortage of the water content during mixing to avoid premature setting.

Initial setting time must begin not early than 30 minutes, and the final setting – not later than 10 hour. After 5…6 hours of hardening, the compressive strength of alumina cement reaches about 30% of branded strength determined after 3 days. After 3-days hardening alumina cement usually achieve a compressive strength of 40…60 MPa.

Alumina cement is considerably more expensive than Portland cement in connection with the deficit of bauxite as raw material. It is practical to apply it, if its advantages are rationally used: at emergency works, at the speed of concrete construction building, especially at a temperature below zero, for heat-resistant concretes.

Gypsum-alumina cement and *waterproof expanded cements* are produced on the basis of alumina cements. Gypsum-alumina cement is produced by the compatible grinding of clinker of alumina cement and gypsum in the ratio 70: 30 (by weight), and waterproof expanded cement – by a compatible grinding or mixing of 73…76% alumina cement, 20…22% gypsum and 10-11% of the high-basic calcium hydroaluminates. Hydroaluminates are produced by the treatment of mixture of alumina cement with slaked lime. Gypsum-alumina cement expand during hardening in a moist environment, and waterproof expanded cement – also in the air conditions. The feature of this cements are short setting time, high watertightness of mortars and concretes even at early age.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6. МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ
MATERIALS BASED ON MINERAL BINDERS

6.1. Цементні бетони. Загальні відомості
Cement-based concrete. Overview

Бетонами називають композиційні матеріали, що отримують при твердінні раціонально підібраної суміші в'яжучих матеріалів, заповнювачів, води або іншого замішувача.

У бетонну суміш можуть бути включені додаткові компоненти (наповнювачі, добавки та інш.).

Бетони виготовляють на основі мінеральних (цементи, вапно, гіпс та інш.) та органічних (бітуми, полімерні) в'яжучих.

В усіх галузях будівництва найширше використовують бетони на цементних в'яжучих. Домінуюче положення бетону у будівництві пояснюється доступністю та великими запасами нерудних матеріалів – піску, гравію та щебеню, можливістю надання бетону різних властивостей, виготовлення різноманітних конструкцій з високою довговічністю та надійністю.

Бетони класифікуються за наступними ознаками: основному призначенню, виду в'яжучого, виду заповнювачів, структурі, середній густині.

Залежно від основного призначення бетони поділяються на конструкційні та спеціальні (гідротехнічні, жаростійкі, радіаційно-захисні, хімічно стійкі, теплоізоляційні та ін.).

До *конструкційних* належать бетони для несучих та огороджуючих конструкцій будівель та споруд. До них пред'являють вимоги, що характеризують їх механічні, а у деяких випадках і інші властивості. До *спеціальних* відносять бетони, до яких пред'являють особливі вимоги у відповідності з умовами експлуатації конструкцій та виробів.

Для отримання бетонів використовують щільні, пористі та спеціальні заповнювачі. Останні (рудовміщуючі гірські породи, чавунний скрап, шамот та ін.) надають бетонам спеціальні властивості.

Структура бетону може бути щільною, поризованою, ніздрюватою та крупнопористою. У бетонах щільної структури (щільних) весь простір між зернами заповнювачів заповнено затверділим в'яжучим. Особливість бетонів поризованої та крупнопористої структур полягає в тому, що у першому випадку затверділе в'яжуче поризується піно- або газоутворюючими добавками, а в другому воно у сукупності з дрібним заповнювачем не повністю заповнює простір між зернами крупного заповнювача. Бетони ніздрюватої структури складаються із затверділої суміші в'яжучого, кремнеземистого компоненту та рівномірно розподілених пор у вигляді комірок, утворених газо- або піноутворювачами. Бетони з густиною 2000...2500 кг/м^3 називають *важкими*, 500...2000 кг/м^3 – *легкими*, понад 2500 кг/м^3 – *особливо важкими* і менше 500 кг/м^3 – *особливо легкими*.

Concretes are composite materials, obtained as a result hardening of a rationally proportioned mixture of a binding materials, aggregates and water (or other sealer). If necessary, concrete mixture may further include additional components (fillers, additives etc.).

Concretes may be produced based on mineral (cements, lime, gypsum and athers) and organic on (bitumen, polymers) binders.

Concrete, produced from Portland cement binder, is the most widely used in all areas of construction industry. The dominant use of concrete in construction is explained by the availability and large supplies of non-metallic materials – sand, gravel, and crushed stone. Concrete is characterized by the possibility to give different properties, to assume different shape and exhibits good durability and reliability performance of constructions.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Concretes are classified by the followings features: basic assignment, binder type and the type of aggregates, structure and average density.

Concretes may be categorized as structural or special (hydraulic, heat-resistant, radiation protective, chemically proof, heat-insulating etc.) depending on the basic assignment.

Concretes, used for load-bearing and inclosing structures, are categorized as structural. They are made to satisfy specific mechanical requirements, and some other properties. Concretes, which meets particular performance requirements of structures and elements, are categorized as *special*.

Dense, porous and special aggregates may be used for making concrete. Aggregates from ore containing rocks, scrapped iron, chamotte and others give special properties to the concrete.

The *structure of concrete* can be dense, porous, macroporous or cellular. In concretes with dense structure all the space between grains of the aggregates is filled with hardened binder. Porous structure is produced by means of foam- or gas-forming additives. In concrete with macroporous structure the space between grains of coarse aggregate is not fully filled by cement-sand mortars. Concrete with cellular structure consists of hardening mixture of binder, silica component and uniformly distributed pores as cells, formed by gas or foaming agents.

Concretes with density of 2000...2500 kg/m^3 are categorized as *heavy-weight* (normal-weight), 500...2000 kg/m^3 – *light-weight*, over 2500 kg/m^3 - *extra heavy-weight* and less than 500 kg/m^3 – *extra light-weight*.

6.2. Дрібний заповнювач бетонів
Fine aggregate of concrete

Пісок – природна або штучна мінеральна суміш зерен розміром від 5 до 0,16 мм. Найбільш розповсюдженими щільними дрібними заповнювачами є кварцові піски. Завдяки високій міцності зерен вони можуть бути використані для бетону практично всіх класів. Піски, що складаються із зерен осадових та рихлих виверженних порід, вапняків, доломітів та ін., використовуються після лабораторних випробувань і техніко-економічного обґрунтування.

Основні властивості бетону залежать від зчеплення цементного каменя із заповнювачами, на яке впливають форма та характер їх поверхні, наявність глини та пилу, інших шкідливих домішок, хіміко-мінералогічний склад заповнювача.

Глинисті та пилоподібні частинки завдяки високорозвиненій поверхні суттєво збільшують водопотребу бетонних сумішей, обволікають зерна заповнювачів та зменшують його зчеплення з цементним каменем. Крім того, найбільш дрібні пилуваті частинки (< 0,08 мм) знижують морозостійкість бетону.

Допустимий вміст пиловидних та глинистих частинок нормується в залежності від виду заповнювача та призначення бетону. Для звичайного природного піску він не повинен перевищувати 3 %, подрібненого – 4 %, для фракційованих природних та подрібнених пісків – відповідно 2 % та 3 %. Спеціальні обмеження вмісту пиловидних та глинистих домішок встановлені для піску, що використовується при виготовленні бетону гідротехнічних споруд, водопропускних труб, транспортних споруд. Наприклад, вміст пиловидних і глинистих домішок в піску не повинен перевищувати 2% для бетону в зоні змінного рівня води гідротехнічних споруд, 3% – надводного бетону, 5% – підводного бетону та бетону внутрішньої зони.

До інших шкідливих домішок в заповнювачі належать включення слюди, сірчисті та сірчанокислі сполуки, оксиди та гідроксиди заліза, мінерали, що містять аморфні різновиди кремнезему, органічні домішки тощо.

Крупність піску характеризується *модулем крупності* $М_{кр}$, під яким розуміють суму повних залишків, %, при просіюванні дрібного заповнювача на стандартних ситах, поділену на 100:

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$M_{кр} = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}. \quad (6.1)$$

Повний залишок – це сума часткових залишків на даному ситі та на більш крупних ситах, що входять до комплекту для просіювання. *Частковий залишок* – це відношення маси піску на даному ситі до маси просіяної проби.

Характеристика пісків за крупністю наведена у табл. 6.1.

Таблиця 6.1.

Характеристика пісків за крупністю

Група пісків	Модуль крупності, %	Повний залишок на ситі № 0,63 (за масою), %
Підвищеної крупності	Понад 3 до 3,5	Понад 65 до 75
Крупний	Понад 2,5 до 3	Понад 45 до 65
Середній	Понад 2 до 2,5	Понад 30 до 50
Дрібний	Понад 1,5 до 2	Понад 10 до 30
Дуже дрібний	Понад 1 до 1,5	До 10

Дрібні піски викликають перевитрату цементу, особливо для бетонів високих класів. . Використання пісків з $M_{кр}$ = 1,5...2 в бетонах з границею міцності на стиск 20 МПа та вище допускається лише при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні.

Поряд з крупністю піску (рис. 6.1) важливе значення має і його пустотність П або об'єм міжзернового простору:

$$П = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \cdot 100\ \%, \quad (6.2)$$

де ρ_0 – насипна густина, ρ – істинна густина піску.

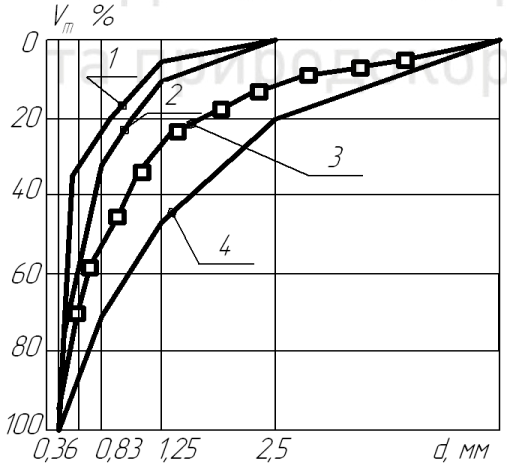

Рис. 6.1. Зерновий склад піску для бетонів: 1,2– нижня межа крупності, яка допускається ($M_{кр}$=1,5) і рекомендується ($M_{кр}$=2); 3,4– верхня межа крупності, яка рекомендується ($M_{кр}$=2,5); і допускається ($M_{кр}$=2,25); V_m– повний залишок на ситах розміром d.
Fig 6.1. Grain distribution of sand fo concrete: 1,2– bottom limit of coarseness, which is accepted (M_{fin}=1.5) and recommended(M_{fin}=2); 3,4– top limit of coarseness,which is recommended (M_{fin}=2.5) and accepted (M_{fin}=2.25); V_m– complete residue on sieves by the size d

Пустотність залежить від співвідношення різних за крупністю зерен, тобто від зернового складу піску.

Sand – is a natural or artificial mineral mixture of grains from 0.16 to 5 mm in size. Quartz sands are the most widespread dense fine aggregates. Due to the high strength of the grains they can be utilized practically for concrete of all classes. Sands, which consist of loose grains of igneous and sedimentary rocks, (limestone, dolomites and others), are utilized after laboratory tests and technical and economic substantiation.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The basic properties of concrete depend on the adgesion between the cement stone and the aggregates, which is influenced by the shape and character of their surface, the presence of clay, dust, other harmful admixtures and the chemical – mineralogical composition of the aggregates.

Clay and dust-like particles due to highly developed surface substantially increase the water requirement of concrete mixtures; they envelop grains of aggregates and diminish their radhesion to cement stone. Besides that, the very fine dust-like particles (< 0.08 mm) reduce frost resistance of concrete.

The permissible content of dust-like and clay particles is specified depending on the aggregate type and concrete works. For ordinary natural sand it should not exceed 3 %,ground up – 4 %, for fractional natural and manufactured sands – 2 % and 3%correspondingly. Special limitations for dust-like and clay admixtures contents are specified for sand, used in the production concrete for hydraulic structures, culvert aqueducts, transport structures. For example, content of dust-like and clay admixtures in sand should not exceed 2% for concrete in the variable water level zone of hydraulic structures, above-water concrete – 3 %, underwater concrete and concrete in the internal zone – 5 %.

The inclusion of mica, sulfurous and sulfate compounds, iron oxides and hydroxides, minerals which contain the amorphous types of silica, organic admixtures and others like that are harmful aggregate admixtures.

Sand fineness is characterized by the fineness modulus M_{fin}, which means the sum of complete residues (A_i, %), after screening the sand on standard sieves, divided by 100:

$$M_{fin} = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}. \quad (6.1)$$

A *complete residue* is the sum of partial residues on the current sieve and on larger sieves, which are included in the screening set. A *partial residue* is the ratio of mass of sand on this sieve to the mass of the screened sample.

Description of sands according to fineness is represented in table 6.1.

Table 6.1.

Sands description according to fineness

Sand groups	Fineness modulus, %	A complete residue is on sieve No. 0.63 (by mass), %
Raised fineness	Over 3 to 3.5	Over 65 to 75
Coarse	Over 2.5 to 3	Over 45 to 65
Middle	Over 2 to 2.5	Over 30 to 50
Fine	Over 1.5 to 2	Over 10 to 30
Ultrafine	Over 1 to 1.5	To 10

Fine sands cause the excess of cement content, especially for the high strength concrete. Using the sands with M_{fin} = 1.5...2 in concrete with ultimate compressive strength 20 MPa and higher is accepted only at the proper technical and economic substantiation.

Along with sand fineness (fig.6.1), its voidage or intergrain space volume (P) has an important value, defined as follows:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \cdot 100\,\%, \quad (6.2)$$

where ρ_0 – bulk density, ρ – absolute density of sand.

Voidage depends on the ratio of different grain fineness that is the grain distribution of sand.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.3. Крупний заповнювач бетону
Coarse aggregate of concrete

На долю крупного заповнювача (гравію або щебеню), що утворює жорсткий каркас бетону, припадає приблизно 50 % від усієї його маси.

Гравій – зернистий матеріал, утворений в результаті вивітрювання щільних гірських порід. Крупність зерен гравію коливається від 5 до 70 мм. Для гравію характерні окатана форма зерен і в більшості випадків підвищений вміст пилуватих частинок та зерен слабких порід.

Щебінь – продукт дроблення гірських порід. Щебінь одержують також з гравію, валунів, доменних, сталеплавильних та інших шлаків.

Якість крупного заповнювача, як і піску, визначається крупністю, зерновим складом (рис. 6.2), формою, поверхнею зерен та вмістом домішок. Суттєве значення мають петрографічні особливості, міцність вихідної породи, водостійкість та морозостійкість.

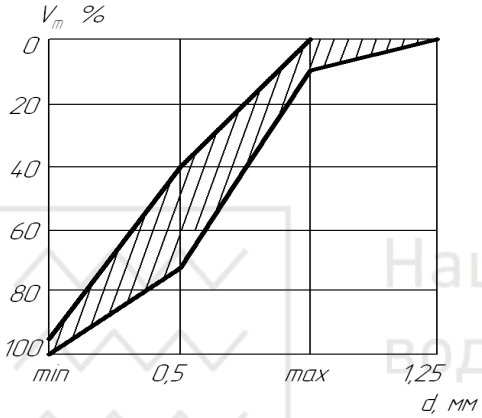

Рис. 6.2. Рекомендований зерновий склад крупного заповнювача.
Fig.6.2. Recommended grain distribution of coarse aggregates

Максимальний розмір крупного заповнювача не повинен перевищувати 1/4 мінімального перерізу конструкції. В залізобетонних конструкціях крупність заповнювача приймають меншою 2/3 відстані між стержнями арматури.

Для забезпечення оптимального зернового складу щебінь або гравій поділяють на окремі фракції, які потім змішують у рекомендованих співвідношеннях (табл. 6.2). Як правило, використовують фракції 5...10, 10...20, 20...40, 40...70 мм. В бетоні гідротехнічних та інших масивних споруд допускається використовувати щебінь та гравій крупністю до 150 мм і більше.

Однією із важливих вимог до крупного заповнювача є міцність зерен. Для важкого бетону може використовуватися щебінь із вивержених порід марки не нижче М800, метаморфічних порід – марки не нижче М600 та осадових порід – марки не нижче М300. Міцність щебеню з природнього каміння повинна бути суттєво вищою міцності бетону.

Таблиця 6.2

Рекомендований вміст фракцій в крупному заповнювачі, %

Найбільша крупність зерен, мм	Фракція заповнювача, мм				
	5...10	10...20	20...40	40...70	70... 120
20	25...40	60...75	—	—	—
40	15...25	20...55	40...65	—	—
70	10...20	15...25	20...35	35...55	—
120	5...10	10...20	15...25	20...30	30...40

За формою зерен щебінь поділяється на три групи: кубоподібний з вмістом пластинчастих (лещадних) та голкуватих зерен не більше 15%, покращений – 25%, та звичайний – 35%. Вміст зерен пластинчастої та голкуватої форм може бути і понад 35%, але за умови забезпечення заданої легкоукладальності бетонної суміші та щільності бетону без перевитрати цементу.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Допустимий вміст пилоподібних та глинистих частинок в крупному заповнювачі з вивержених та метаморфічних порід не повинен перевищувати 1%, з осадових порід марок М200...М400 – 3%, з осадових порід більшої міцності – 2%.

Морозостійкість заповнювачів повинна забезпечувати необхідну морозостійкість бетону.

Approximately 50% of all of concrete mass is made up of coarse aggregate (gravel or crushed stone), which forms the stiff framework of concrete.

Gravel is a grain material, formed as a result of weathering of dense rocks. Coarseness of the gravel grains ranges from 5 to 70 mm. Round shaped grains and in most cases high content of dust–like particles and grains of weak rocks are often found in the gravel.

Crushed stone is a product of rock crushing. The crushed stone is obtained also from gravel, boulders and blast–furnace, steel–smelting and other slags.

Quality of the coarse aggregate, as well as sand, is determined by coarseness and grain distribution (fig. 6.2), shape, grains surface and admixture contents. The petrographic peculiarities, strength of the initial rock, water– and frost-resistance have a substantial effect on the quality.

The maximal size of the coarse aggregate should not exceed 1/4 of the minimum cross-sectional area of the structure. The coarseness of the aggregate is normally less than 2/3 of distances between the reinforcing bars in the reinforced concrete structures.

The crushed stone or gravel is divided into separate fractions, mixed up in the recommended correlations to provide an optimum grain distribution (table 6.2). Fractions 5...10, 10...20, 20...40, 40...70 mm are used as a rule. Crushed stone and gravel with coarseness up to 150 mm and more are used in the manufacture of the concrete for hydraulic and other massive structures.

Table 6.2

Recommended content of fractions in coarse aggregate, %

Maximum coarsenes of grains, mm	Aggregate fraction, mm				
	5...10	10...20	20...40	40...70	70... 120
20	25...40	60...75	—	—	—
40	15...25	20...55	40...65	—	—
70	10...20	15...25	20...35	35...55	—
120	5...10	10...20	15...25	20...30	30...40

One of the important requirements is the strength of the coarse aggregate. The crushed stone can be made of igneous rocks with ultimate strength of more than 80 MPa, metamorphic rocks – more than 60 MPa and sedimentary rocks with more than 30 MPa for heavy-weight concrete. Crushed stone made of natural stone should have strength substantially higher than the concrete strength.

Crushed stone, according to the grains shape, is divided into three groups: cube-shaped with content of plate-like (flaky) and needle grains not more than 15%, improved – 25%, and ordinary – 35%. The content of plate-like and needle-shaped grains can exceed 35%, but on conditions that assigned workability of concrete mixture and density of concrete without the excess of cement content are provided.

The content of dust-like and clay particles, allowed in coarse aggregate from igneous and metamorphic rock, should not exceed 1 %, for sedimentary rocks with strength 20…40MPa – 3%, and from sedimentary rocks of higher strength – 2%.

The frost resistance of concrete is highly influenced by the frost resistance of the aggregate.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.4. Пористі заповнювачі
Porous aggregates

До пористих належать заповнювачі з густиною зерен до 2 г/см^3. Їх використовують для отримання легких бетонів та розчинів, а також тепло– та звукоізоляційних засипок. Пористі заповнювачі поділяють на природні, які одержують у вигляді піску та щебеню із пористих порід, та штучні. До штучних пористих неорганічних заповнювачів відносять *керамзит* та його різновиди (шунгизитовий гравій, глинозольний керамзит), які отримують випалюванням із спучуванням гранул із глинистих порід, шунгизитовмісних сланців, трепелів, золошлакової суміші або золи–віднесення теплових електростанцій; *аглопорит* – продукт спікання пісчано-глинистих порід, золи, відходів вуглезбагачення; гранульований шлак та *шлакова пемза* – продукт грануляції або поризації розплаву шлаків металургійного та хімічного виробництв; *перліт* та *вермікуліт* , котрі отримують спучуванням при випалюванні зерен вулканічних порід та гідратованих слюд.

Органічні пористі заповнювачі одержують з відходів переробки деревини та іншої рослинної сировини, а також полімерів.

Пористі гравій та щебінь мають насипну густину в межах 250...1200, пористий пісок – 100...1400 кг/м^3.

Для крупних пористих заповнювачів встановлюють також марки за міцністю, що визначаються при здавлюванні їх у циліндрі. Морозостійкість крупних пористих заповнювачів повинна бути не менше 15 циклів, максимально допустима втрата маси після випробування допускається не більше 8 %.

Для пористих заповнювачів, як і для щільних, нормується зерновий склад і вміст шкідливих домішок. Крім того, встановлюються вимоги до коефіцієнту форми зерен, водопоглинання, вологості, стійкості проти розпаду та ін.

Вибір пористих заповнювачів регламентується в залежності від їх призначення та вимог до міцності та щільності бетону.

Aggregates with grains density up to 2 g/cm^3 are porous. They are utilized for obtaining lightweight concrete and mortars, and also thermal – and sound-proof composites. Porous aggregates are divided into natural aggregates, obtained in the form of sand and crushed stone from porous rocks and artificial ones. The artificial inorganic aggregates such as *claydite* and its varieties (haydite gravel, clay–ash claydite) are obtained by burning with expansions of granules from clay rocks, haydite slates, tripoli powder, ash-slag mixture or fly ash from the thermal power-stations. Others include: *aggloporite* which is a product of caking of sand-clay rocks, ashes, wastes of coal–cleaning industry; *granulated slag* and *slag pumice* – a product of granulation or porization during melting of metallurgical and chemical industries slags; *perlite* and *vermiculite* – obtained by expansion at the burning-out of effusive rock and hydrated mica grains.

Organic porous aggregates are obtained by the processing of wood and other vegetable raw materials and also foaming polymer products.

The porous gravel and crushed stone have a bulk density of 250...1200 kg/m^3 whilst porous sand has a density ranging from 100...1400 kg/m^3.

The grades are also set for the coarse porous aggregates, which are determined by squashing in a cylinder. A frost resistance of the coarse porous aggregate should be not less than 15 cycles of freezing and thawing, and the maximum possible loss of mass after testing allowed does not exceed 8 %.

For porous, as well as for dense aggregates, grain distribution and content of harmful admixtures is specified. In addition, requirements for the coefficient of grain form, water absorption, humidity, disintegration resistance and other are set.

The selection of porous aggregates is regulated depending on their function and requirements for the strength and density of concrete.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.5. Добавки до бетонів. Класифікація
Additives for concrete. Classification

До *добавок для бетонів* належать неорганічні та органічні речовини або їх суміші (комплекси), за рахунок введення яких регулюються властивості бетонних сумішей та бетонів. За основним ефектом дії добавки поділяють на наступні види:

- що регулюють реологічні властивості, тужавлення та пористість бетонних сумішей, тверднення бетону;
- що надають бетону спеціальних властивостей;
- що регулюють одночасно різні властивості бетонних сумішей та бетонів (поліфункціональної дії);
- мінеральні порошки – замінювачі цементу.

Найменування деяких розповсюджених добавок перших трьох груп з вказівкою їх кількості, що вводиться, наведено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Деякі види добавок для бетонів

Вид добавок	Найменування добавок	К-сть в розрахунку на суху речовину % (за масою) до цементу	Ефект
Пластифікуючі та суперпласти-фікуючі	Нафталін-формальдегідний суперпластифікатор	0,5...1	Підвищення рухомості бетонної суміші або зниження водопотреби
	Лінгосульфонати технічні	0,1...0,3	
	Лінгосульфонати технічні, модифіковані лугами	0,1...0,3	
	Пластифікатор форміатно-спиртовий	0,2...0,8	
Ілластифікуюче-повітря-залучуючі	Милонафт	0,01...0,2	
	Синтетична піноутворююча добавка	0,05...0,1	
Повітрявтягу-вальні	Смола нейтралізована повітрявтягувальна	0,005...0,035	Підвищення морозостійкості та корозійної стійкості бетону
	Смола деревинна омилена	0,005...0,035	
	Сульфанол	0,05...0,035	
Прискорювачі твердіння	Нітрат кальцію	0,3...1	Прискорення процесів гідратації та твердіння, забезпечення твердіння на морозі
	Сульфат натрію	0,3...0,8	
Протиморозні	Поташ	3...12	
	Нітрат кальцію	3...12	
	Сечовина	3...12	
Сповільнювачі тужавлення	Цукрова патока	0,1...0,2	Підвищення життєздатності бетонної суміші
Інгібітори корозії сталі	Нітрит натрію Нітрит-нітрат кальцію	0,5...3 0,5...3	Підвищення довговічності залізобетонних конструкцій

The inorganic and organic substances or their mixtures (complexes), introduced to concrete mixture to regulate the properties of the concrete, are descried as *admixtures*. Depending on the basic effect, admixtures are divided into the followings groups:

Національний університет
водного господарства
та природокористування

• those, which regulate reological properties, setting and porosity of concrete mixtures, concrete hardening;

• those, which give special properties to the concrete;

• those, which regulate simultaneously different properties of concrete mixtures and concrete;

• mineral powders - cement substitutes.

The names of some commonly used admixtures of the first three groups and the amounts recommended for use are shown in table 6.3.

Table 6.3

Some types of concrete admixtures

Type of the admixtures	Name of the admixtures	Content, % by cement weight	Effect
Plasticizers and superplasticizers	Naphtalene-formaldehyde superplasticizer	0,5...1	Increasing slump of the concrete mixture or reduction of water content.
	Technical lignosulphonates	0,1...0,3	
	Technical lignosulphonates, modified by alkaline	0,1...0,3	
	Plasticizer formiatespirit	0,2...0,8	
Air-entraining and plasticizing	Naphthenate soap	0,01...0,2	
	Synthetic foam-forming admixture	0,05...0,1	
Air-entraining	Neutralized air-entraining resin	0,005...0,035	Increasing of concrete frost-resistance and corrosive resistance
	Ligneous saponated resin	0,005...0,035	
	Sulfanole	0,05...0,035	
Hardening accelerators	Calcium nitrate	0,3...1	Acceleration of hydration and the hardening processes, ensure hardening in the cold
	Sodium sulfate	0,3...0,8	
Antifreeze	Potash	3...12	
	Calcium nitrate	3...12	
	Carbamide	3...12	
Setting time retarding	Sugar treacle	0,1...0,2	Increasing the setting time of concrete mixture
Steel corrosion inhibitors	Sodium nitrite Calcium nitrite-nitrate	0,5...3 0,5...3	Inhibits the corrosion process. Improves durability of reinforced concrete structures.

6.6. Хімічні добавки в бетони
Chemical additives for concrete

Основні напрямки вдосконалення технології бетону з використанням *хімічних добавок* пов'язані зі зниженням витрат праці при виконанні робіт на заводах збірного залізобетону та у монолітному будівництві, значним скороченням долі важких ручних операцій, підвищенням якості бетону, його міцності, морозостійкості, водонепроникності та корозійної стійкості, економією цементу. З допомогою добавок вдається змінювати та регулювати умови та строки твердіння бетону, надавати йому нові властивості, наприклад бактерицидність, гідрофобність, здатність твердіти на морозі тощо.

Найбільш розповсюдженими добавками, що застосовуються в технології бетону є *пластифікуючі добавки* та *суперпластифікатори*. Використання суперпластифікаторів дозволяє знижувати трудомісткість формування залізобетонних виробів в 2...4 рази та при

Національний університет
водного господарства
та природокористування

бетонуванні монолітних конструкцій, в ряді випадків повністю виключити вібрацію або замінити її короткочасним струшуванням, скоротити витрати палива та електроенергії, економити до 25% і більше цементу.

Великі можливості регулювання водопотреби бетонної суміші за допомогою суперпластифікаторів і значного зниження водоцементного відношення забезпечують одержання високоміцних бетонів.

Поряд з індивідуальними все більшого розповсюдження отримують комплексні добавки з більш універсальним ефектом. Наприклад, застосування комплексних добавок, що містять пластифікатори та прискорювачі твердіння, дозволяє поряд з покращенням реологічних властивостей бетонної суміші прискорити твердіння бетону при тепловій обробці. Комплексні добавки дають можливість ослабити або усунути негативні і часто підсилити позитивні особливості кожного з компонентів, покращити загальний позитивний ефект.

Використання деяких хімічних добавок потребує врахування їх можливої негативної дії (прискорене тужавлення бетонної суміші, корозія арматури, обладнання та оснастки; утворення висолів; зниження стійкості конструкцій під дією блукаючих струмів; розвиток таких видів корозії бетону як взаємодія реакційноздатного кремнезему заповнювачів з лугами та ін.)- Наприклад, добавки, що містять хлористі солі, можна використовувати як прискорювачі твердіння лише в обмеженій кількості (не більше 2% від маси цементу) у залізобетонних конструкціях з ненапружуваною арматурою діаметром понад 5 мм. При виготовленні залізобетонних конструкцій, призначених для електрифікованого транспорту та промислових підприємств, які використовують постійний електричний струм, не дозволяється використовувати добавки солей–електролітів.

The use of *chemical admixtures* result in the reduction of labor contents on precast concrete plants and in monolithic construction, where are attained considerable reduction of part of the difficult manual operations, improving concrete quality, its strength, frost resistance, water impermeability, corrosive resistance, and saving cement. By adding admixtures it is possible to change and regulate the hydration rate and time of concrete hardening, to give it new properties, for example, bactericidalness, hydrophobicity, ability to harden on the frost and others.

The *plasticizers* and *superplasticizers*, are the most common admixtures, used in the concrete technology. The use of superplasticizers allows reduction of the labor contents at reinforced-concrete elements casting by 2...4 times. In a number of cases it is possible to fully eliminate vibration or to replace it with only brief shaking. This cuts down fuel and electric power expenses, and saves up to 25% and more of the cement.

The large reduction in the water content of superplasticized concrete mixture whilst maintaining constant cement content, results in the production of a high-strength concrete. Along with individual admixtures, complex admixtures also exist with more universal effects and more widespread use. For example, application of complex admixtures, containing plasticizers and hardening accelerators, permits both an improvement of the flow characteristics of concrete mixtures and acceleration of the concrete hardening process without thermal treatment. The complex admixtures give an opportunity to eliminate or reduce the negative properties whilst enhancing the positive features of each of the components, to improve the overall positive effect.

Application of some chemical admixtures requires taking into consideration their possible negative action (setting acceleration of concrete mixture, reinforcement corrosion, equipment and accessories; formation of the saline efforescence; the decline of structural stability under the action of ground current; development of deterioration due to interaction of reactive silica of aggregates with alkalines, etc). For example, admixtures, containing chloride salts, can be used as hardening accelerators only in a limit amount (not more then 2% by weigth of cement) for reinforced-concrete structures with nonprestressed reinforcement with the diameter over 5 mm. It is not allowed to use admixtures of salt-electrolytes for manufacturing reinforced-concrete structures, intended for the electrified transport and industrial enterprises, which use direct electric current.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.7. Дисперсні мінеральні добавки
Dispersible mineral additives

Дисперсні мінеральні добавки (наповнювачі) поділяють на активні та інертні. Інертні добавки отримують тонким подрібненням пісків, вапняків, доломітів та інших порід, яким не притаманна гідравлічна активність. До активних мінеральних добавок (діатомітів, трепелів, опоки, зол, гранульованих доменних шлаків та ін.), що вводяться до бетонної суміші, висуваються ті ж вимоги, що й при отриманні портландцементу, пуцоланового та шлакопортландцементу. За тонкістю помелу вони повинні бути близькими до цементу. При використанні мінеральних добавок небажаним є збільшення водопотреби бетонної суміші.

Однією з ефективних добавок, що вводяться до бетону замість частини портландцементу, є *зола-винесення* ТЕС. Доля її може досягати 30% маси в'яжучого.

В залежності від області використання золу поділяють на види: I – для залізобетонних конструкцій та виробів; II – для бетонних конструкцій та виробів; III – для конструкцій гідротехнічних споруд.Вимоги до хімічного складу золи наведені в табл.6.4.

Таблиця 6.4

Вимоги до золи-винесення ТЕС як добавки до бетону

Показники	Значення показника для золи виду та класу		
	I	II	III
Вміст $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$, % за масою, не менше, для золи:			
Антрацитової та кам'яновугільної	70	Не нормується	70
буровугільної	50	Те ж	50
Вміст сірчастих та сірчанокислих сполук у перерахуванні на SO_3 % за масою, не більше	3	3,5	3
Вміст вільного оксиду кальцію CaO, % за масою, не більше	3	5	2
Вміст оксиду магнію MgO, % за масою не більше, для золи:			
антрацитової	15	20	5
кам'яновугільної	7	10	5
буровугільної	5	5	3
Вологість, % за масою, не більше	3	3	3

У бетонній суміші зола виконує роль не тільки активної мінеральної добавки, що збільшує кількість в'яжучого, але й мікронаповнювача, який покращує гранулометрію піску та активно впливає на процеси структуроутворення бетону. При використанні золи ТЕС допускається зниження мінімальної норми витрати цементу для неармованих виробів до 150 кг/м^3, а для армованих залізобетонних – до 180 кг/м^3. Сумарна витрата цементу та золи при цьому повинна бути відповідно не менше 200 та 220 кг/м^3.

Введення золи особливо ефективне при одночасному введенні до бетонних сумішей пластифікуючих добавок.

Використання добавок суперпластифікаторів дозволило значно збільшити технічний ефект, якого досягають при введенні наповнювачів. Сумісне застосування високодисперсних кремнеземистих речовин, таких як мікрокремнезем, і суперпластифікаторів є одним з найбільш ефективних шляхів зменшення витрат цементу та отримання надміцних довговічних залізобетонних конструкцій.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Dispersible mineral admixtures (filling agents) are divided into active and inert. Inert admixtures are obtained by fine grinding of sands, limestones, dolomites and other rocks not possessing inherent hydraulic activity. For active mineral admixtures (diatomites, tripoli powders, ashes, granulated blast-furnace slags and other) which are normally introduced to the concrete mixture, the same requirements are set, as at obtaining of Portland cement, Portland-pozzolan cement and blast-furnace cement. The mineral admixtures should possess similar fineness as the Portland cement. Increasing the concrete mixture water content is undesirable, if mineral additives are to be used.

Fly ash from heat engine generating stations is one of effective admixtures, which are introduced to concrete to replace part of the Portland cement. Its can be used to replace up to 30 % of the cement mass.

The ash is divided into categories, depending on the area of usage: I – for reinforced-concrete structures and elements; II – for the concrete structures and elements; III – for the structures of hydraulic constructions. The requirements, which are requested according to the ash chemistry, are shown in the table 6.4.

Table 6.4

Requirements for fly ash from power generating stations used as concrete admixture

Indexes	The index value of ash kind		
	I	II	III
Content of SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3, % to the mass, not less than, for ash:			
anthracite and coal	70	Not specified	70
brown coal	50	The same	50
Content of sulfur and sulfuric-acid compounds in recalculation on SO_3 % to the mass, not more than	3	3,5	3
Content of free calcium oxide CaO, % by the mass, not more than	3	5	2
Content of magnesium oxide MgO, % by the mass, not more than for ash:			
Anthracite	15	20	5
coal	7	10	5
Brown coal	5	5	3
Humidity % by mass, not more than	3	3	3

The ash acts not only as an active mineral admixture in the concrete mixture, which increases binder content, but also as a microfilling agent, which improves the sand grain distribution and actively influences the processes of structure–formation in the concrete. Diminishing of minimum cement content for the non-reinforced elements to 150 kg/m^3, and for reinforced concrete elements – to 180 kg/m^3 is possible, if the fly ash is used. Total cement and ash content can be accordingly not less than 200 and 220 kg/m^3.

Combined adding of fly ash and plasticizer additives into concrete mixtures is especially effective. Joint use of the high dispersed silica substances such as microsilica and the superplasticizers is one of the most effective ways of cement content diminishing and obtaining high–strength and durable reinforced–concrete structures.

6.8. Технологія бетонних сумішей
Concrete mixtures technology

Під *бетонною сумішшю* розуміють ретельно перемішану суміш в'яжучого, води, заповнювачів та добавок, взятих у необхідній пропорції. Бетонні суміші виготовляють на бетонозмішувальних вузлах або заводах залізобетонних виробів.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

При невеликих відстанях від заводу до будівельних об'єктів бетонна суміш може бути виготовлена в автобетонозмішувачах в процесі транспортування або безпосередньо на об'єкті з сухої суміші цементу із заповнювачами.

Процес виробництва бетонної суміші складається з слідуючих технологічних операцій: підготовки матеріалів, дозування, змішування (рис. 6.3).

Підготовка матеріалів для бетонної суміші включає очищення заповнювачів від шкідливих домішок та розподіл їх на фракції, що виконується зазвичай на дробильно-сортувальних заводах. При зимовому бетонуванні використовують підігрівання заповнювачів та води. При бетонуванні масивних гідротехнічних споруд для зниження тепловиділення може виконуватися охолодження заповнювачів води.

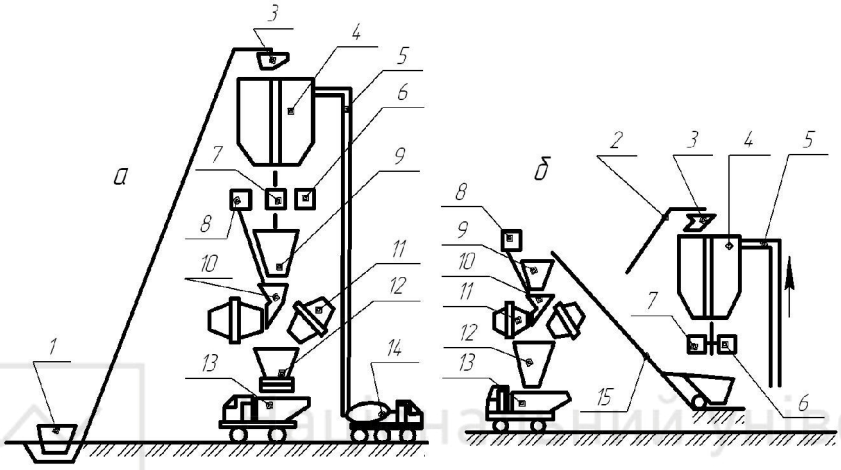

Рис.6.3. Технологічні схеми бетонозмішувальних установок:
а – одноступенева; б – двохступенева; 1 – конвеєр заповнювачів; 2 – конвеєр подачі заповнювачів у витратні бункери; 3,9,10 – поворотна направляюча і розподільна воронки; 4 – витратні бункери; 5 – труба пневмоподачі цементу; 6 – дозатор цементу; 7 – дозатор заповнювачів; 8 – дозатор води; 11 – змішувач; 12 – бункер; 13 – автобетоновоз; 14 – автоцементовоз; 15 – шнековий підйомник

Fig. 6.3. Technological scemes of concrete mixing plants:
a – single-stage; b – two staged; 1 – conveyer of aggregates; 2 – aggregate delivery conveyor to the measuring hoppers; 3,9,10 – slewing, bowl and distributive funnels; 4 – measuring hoppers; 5- cement pneumatic pipeline; 6 – cement batcher; 7 – aggregate batcher ; 8 – water batcher; 11 – mixer; 12 – hopper; 13 – truck mixer; 14 – cement truck; 15 – auger elevator

Якість бетонної суміші залежить від точності дозування компонентів. Дозування сипких матеріалів виконують за масою. Пористі заповнювачі дозують за об'ємом з корекцією за масою. Похибка дозування цементу, води та добавок не повинна пе-ревищувати ± 2%, заповнювачів ± 2,5%. На бетонозмішувальних вузлах використовують порційні або безперервні дозатори з ручним, напівавтоматичним або автоматичним управлінням. Дозатори з ручним управлінням використовують тільки на установках малої потужності.

Основною стадією при виробництві бетонної суміші є перемішування, від ретельності якого залежать міцність та однорідність бетону. Залежно від способу перемішування бетонозмішувачі бувають двох основних типів: вільного падіння та примусового перемішування.

Бетонозмішувачі вільного падіння (*гравітаційні)* мають барабани у вигляді циліндра або двох конусів, поєднаних основами. Перемішування відбувається за рахунок захоплення суміші лопатями при обертанні барабану з наступним її вільним падінням.

Для перемішування жорстких бетонних сумішей, а також сумішей на пористих заповнювачах більш ефективними є *змішувачі примусового перемішування*. В них однорідність бетону підвищується за рахунок обертання лопатей у нерухомому барабані, або у барабані, що обертається у протилежному напрямку.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Бетонозмішувальні установки та заводи бувають циклічної (періодичної) та безперервної дії. Найбільш розповсюдженими є установки циклічної дії, які включають операції, що періодично повторюються: завантаження вихідними матеріалами, змішування та вивантаження готової суміші. На бетонних заводах безперервної дії процеси дозування, перемішування та видачі суміші протікають без перерв.

Carefully mixed mixture of binder, water, aggregates and additives, introduced in required proportion is known as *concrete mixture*. Concrete mixtures are made in concrete mixing units or plants of reinforced concrete elements.

Concrete mixture can be made in truck mixers in the process of transporting to small distances from a factory to the building sites or directly in-situ from dry cement mixture with aggregates.

The process of concrete mixture production consists of the followings technological operations: materials preparations, dosage, and mixing (fig. 6.3).

The materials preparation for concrete mixture includes aggregates cleaning from harmful admixtures and segregation on fractions, which is executed usially on the grinding-sorting factories. The aggregates and water may be heated in the winter concreting or may be cooled to reduce the heat generation in massive hydraulic constructions.

The quality of the concrete mixture depend on the accuracy of dosage of the components. The dosage of bulk materials is executed according to the mass. Porous aggregates are dosed according to volume with a mass correction. The error of cement, water and admixtures dosage should not exceed ± 2%, aggregates ± 2,5%. The portioning and continuous batchers with a manual, semi-automatic or automatic control are used on the concrete mixing units. Batchers with a manual control are used only at units of the small capacity.

The main operation during concrete mixture production is the mixing, on which the strength and homogeneity of concrete depend. Depending on the method of mixing, there are two basic types of concrete mixers: free falling and forced mixing.

The *free falling (gravity) types of concrete mixers* have drums as cylinder or two cones, combined with the bases. Mixing takes place due to fascination of mixture by the blades as the drum rotates with its free falling content.

The *forced types of mixers* are the most effective for mixing stiff concrete mixtures, and also for porous aggregate-based mixtures. The concrete homogeneity increases due to the rotation of the blade in the stationary drum, or to drum rotating in the opposite direction.

The concrete mixing plants and factories are batch (batch-type) and continuous action. The plants of batch action are the most widespread; they include operations which repeat periodically: loading of charging feed, mixing and unloading of the prepared mixture. The processes of dosage, mixing and delivery of mixture flow without breaks in concrete plants of continious action.

6.9. Легкоукладальність бетонних сумішей
Workability of concrete mixtures

Легкоукладальність бетонної суміші – здатність бетонної суміші заповнювати форму або опалубку та ущільнюватися під впливом механічних зусиль або власної ваги.

Показником легкоукладальності є осадка чи розплив стандартного конусу (конусу Абрамса) (рис. 6.4), а для жорстких сумішей – час, необхідний для перетворення під дією вібрування конуса з бетонної суміші в рівновеликий циліндр (спосіб Вебе).

Рухомість та жорсткість бетонних сумішей призначаються залежно від особливостей конструкцій, густоти армування, способу транспортування та ущільнення. Для тонкостінних насичених арматурою виробів потрібна більша рухомість суміші, ніж для масивних малоармованих конструкцій. При використанні сучасних способів ущільнення, особливо в

Національний університет
водного господарства
та природокористування
заводських умовах з'являється можливість підвищити жорсткість бетонних сумішей, що веде до економії цементу і покращує ряд будівельних властивостей бетону.

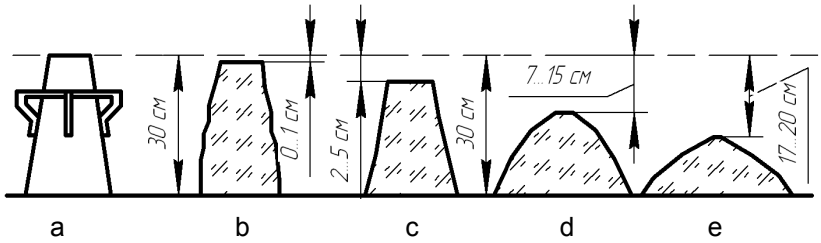

Рис.6.4. Класифікація бетонних сумішей по осадці конуса:
а– конус; в– бетонна суміш жорсткої консистенції; с– малорухома; d– рухома; е– лита
Fig.6.4. Classification of concrete mixtures by a slump:
a – cone; b – concrete mixture stiff consistency; c – low–slump; d – flow; e – cast

Залежно від легкоукладальності бетонні суміші поділяють на класи відповідно до ЕН 206 – 1: 2000 (табл.6.5)

Таблиця 6.5

Класи за легкоукладальністю бетонних сумішей

Клас	Час за Vебе,с	Клас	Осадка конуса, мм
V_0	>31	S_1	10…40
V_1	30…21	S_2	50…90
V_2	20…11	S_3	100…150
V_3	10…6	S_4	160…210
V_4	5…3	S_5	>220

Бетонні суміші також поділяють за ступенем ущільнення і розпливом конусу Абрамса (табл.6.6)

Таблиця 6.6

Класи бетонних сумішей за ступенем ущільнення і розпливом

Клас	Ступінь ущільнення	Клас	Розплив бетонної суміші, мм
C_0	>1.46	F_1	>340
C_1	1.45…1.26	F_2	350…410
C_2	1.25…1.11	F_3	420…480
C_3	1.10…1.04	F_4	490…550
		F_5	560…620
		F_6	>620

Поряд з необхідною легкоукладальністю бетонних сумішей важливо забезпечити їх однорідність, яка вимірюється ступенем розшарування сумішей при зберіганні та транспортуванні. *Розшаровуваність* бетонних сумішей розвивається в результаті седиментаційних явищ внаслідок різної густини компонентів бетону. Застосування суміші, що розшаровується, веде до нерівномірного розподілу в бетоні заповнювачів та цементного каменю та погіршенню властивостей бетону. Зменшення розшарування спостерігається при зниженні водовмісту, введенні дисперсних мінеральних добавок, поверхнево-активних речовин.

Workability concrete mixture - the ability of the concrete mixture to fill of a form or formwork and compacted under the influence of mechanical efforts or own weight. The indicator of workability is slump of standard cone (cone of Abrams), and for stiff mixtures – the time required for conversion under the influence of vibrating of the cone with concrete mixture in isometric cylinder (Vebe test).

Depending on workability concrete mixes are divided into classes according to EN 206 - 1: 2000 (table 6.5)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Table 6.5

The workability classes of concrete mixtures

Class	Vebe, secs	Class	Slump, mm
V_0	>31	S_1	10…40
V_1	30…21	S_2	50…90
V_2	20…11	S_3	100…150
V_3	10…6	S_4	160…210
V_4	5…3	S_5	>220

Also, concrete mixtures can be divided by degree of compaction and spread (flow test) (table 6.6).

Table 6.6

Compaction and spread concrete mixtures, classes

Class	Degree of compaction	Class	Spread of the concrete, mm
C_0	>1.46	F_1	>340
C_1	1.45…1.26	F_2	350…410
C_2	1.25…1.11	F_3	420…480
C_3	1.10…1.04	F_4	490…550
		F_5	560…620
		F_6	>620

Fluidity and stiffness of concrete mixtures are assigned depending on the particular structures, thickness reinforcement, method of transportation and compacting For thin saturated reinforcement products need more fluid mixture than for massive structures. With the use of modern methods of compacting, especially in the factory conditions is possible to increase of the stiffness concrete mixtures, leading to saving of the cement and improving a number of building properties of concrete.

Along with the necessary concrete workability it is important to ensure their homogeneity, measured by the degree of *segregation* of mixtures during storage and transportation. Segregation of concrete mixture is caused due to sedimentation phenomena of the different density concrete components. The use of the segregated mixture leads to uneven distribution of aggregates and cement stone and deterioration of the concrete peoperties. Reducing segregation is observed at lower content of water, addition of the disperse mineral additives and SAS.

6.10. Водовміст бетонної суміші
Water content of concrete mixtures

Одним з найважливіших факторів, що визначає показники легкоукладальності, є *водовміст* бетонної суміші (рис. 6.5). Водовміст бетонної суміші, необхідний для досягнення потрібної легкоукладальності, залежить від типу та кількості цементу, питомої поверхні та пустотності заповнювачів, форми та характеру їх поверхні, співвідношення дрібного та крупного заповнювача, тривалості витримки суміші до її укладання, виду та вмісту пластифікуючих добавок та ін.

Збільшення нормальної густоти цементів приблизно на 1 % викликає підвищення водопотреби бетонної суміші на 1,5...3 %. Бетони на цементах з підвищеною нормальною густотою при незмінному водовмісті мають меншу осадку конусу та більшу жорсткість.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

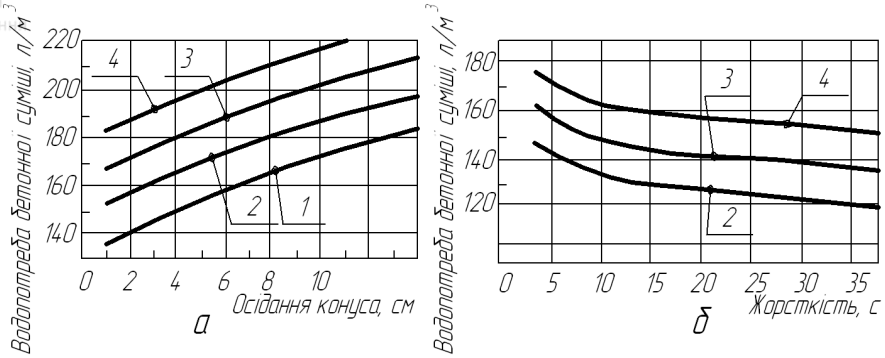

Рис. 6.5. Графік водопотреби рухомої (а) і жорсткої (б) бетонної суміші, виготовленої з використанням портландцементу, піску середньої крупності і гравію найбільшої крупності: 1 – 80 мм; 2 – 40 мм; 3 – 20 мм; 4 – 10 мм.
Fig. 6.5. Graph of water demand of flow (a) and stiff (b) concrete mixtures, produced with application of Portland cement, middle-grained sand and gravel of maximum coarseness: 1 – 80 mm: 2 – 40 mm: 3 – 20 mm: 4 – 10 mm

Зміна витрати цементу при незмінному водовмісті до Ц/В=1/1,68 · $К_{н.г}$ ($К_{н.г}$ – нормальна густота цементного тіста в долях одиниці) не впливає відчутно на легкоукладальність. Це положення називають *правилом постійності водовмісту*, оскільки воно передбачає, що зі збільшенням витрати цементу до деякої межі при незмінному співвідношенні заповнювачів водопотреба суміші майже не змінюється (рис. 6.6). Зі збільшенням частки піску, поверхні заповнювачів, їх пустотності, а також вмісту в них пилу та глини потрібна більша кількість цементного тіста. Якщо ж вона залишиться постійною, то рухомість бетонної суміші знижується. Використання щебеню замість гравію також веде до збільшення жорсткості бетонної суміші.

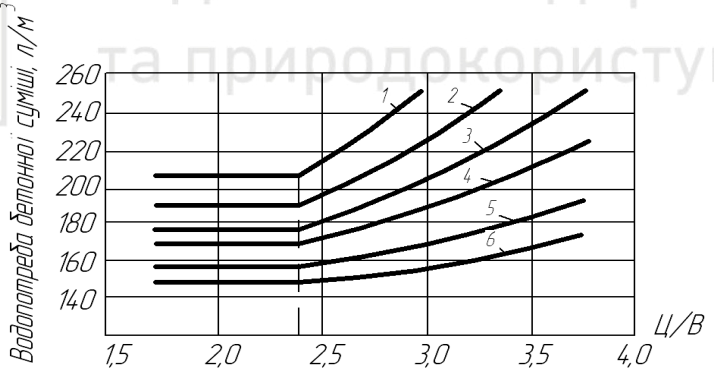

Рис.6.6. Вплив Ц/В на водопотребу бетонної суміші: 1…3 – суміші з осадкою конуса 10; 5 та 2 см; 4…6 – суміші з жорсткістю відповідно 30; 60 та 100 с (щебінь 5…20 мм, пісок середньої крупності, цемент з нормальною густотою 26…27%)
Fig. 6.6. Influence of C/W on the water content of concrete mixture: 1…3 – mixtures with slump 10; 5 and 2 cm; 4…6 – mixtures with stiffness (by Vebe) accordingly 30; 60 and 100 sec (crushed stone 5…20 mm, middle grained sand, cement with normal consistency 26…27%)

The *water content* is one of the major factors that determine the indexes of workability of concrete mixture (fig. 6.5). The water content, required for achievement of specified workability of the concrete mixture, depends on the type and amount of cement, specific surface and the aggregates porosity, shape and character of their surface. It also depends on the ratio of fine and coarse aggregates, curing conditions and duration before placing, kind and content of plasticisizing admixtures and etc.

Increasing of the cement normal consistency by 1 % causes an increase in concrete mixture water content of approximately 1.5 to 3%. Thus, concrete with increased cement normal consistency at constant water content has lower slump and higher stiffness.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Change in the cement content at constant water content to C/W =1/(1.68$K_{n.c}$) ($K_{n.c}$ is normal consistency of cement paste determined with the Vicat apparatus) does not influence significantly the workability. This statement is called the *rule of water content constancy*, as it shows that at increasing the cement content to some limit with unchanging aggregates ratio the water content of the mixture does not change (fig. 6.6). A greater amount of cement paste is required with the increase of the sand content, surface of aggregates, their porosity, and also the content of dust and clays in them. If the cement content remains constant, the workability of the concrete mixture will become reduced. Using crushed stone instead of gravel also leads to an increase of the stiffness of the concrete mixture.

6.11. Ущільнення і формування бетонних виробів вібраційними методами
Compacting and forming of concrete products by vibration methods

Укладання бетонної суміші здійснюється в форми з попередньо встановленими арматурою та закладними деталями.

Якість укладки визначається ефективністю ущільнення матеріалу по всьому об'єму, запобіганням розшаровування. Зменшення щільності бетону на 1% веде до зниження його міцності приблизно на 5%. Коефіцієнт ущільнення Кущ повинен бути не меншим 0,97...0,98, а для бетону підвищеної щільності не менше 0,99:

$$K_{ущ} = \frac{\rho_{o.ф}}{\rho_0}\ , \qquad (6.2)$$

де $\rho_{o.ф}$ – фактична середня густина ущільненої бетонної суміші; ρ_0 – розрахункова середня густина.

Ущільнення бетонних сумішей можна здійснювати вібруванням, вакуумуванням, пневматичним бетонуванням (торкретуванням), а також прокатуванням, пресуванням, центрифугуванням та ін.

Найбільш розповсюдженим та ефективним способом ущільнення є *вібрування*. При цьому способі ущільнення використовуються вібрації з частотою від 10 до 50 Гц. Для монолітних конструкцій використовують два види вібрування - глибинне та поверхневе. *Глибинне вібрування* засноване на зануренні до суміші робочого органу вібратора, його використовують для ущільнення бетонних сумішей з осадкою конусу понад 1 см. *Поверхневе вібрування* рекомендується для ущільнення бетонних покрить доріг, підлог і т. д. При поверхневому вібруванні добре ущільнюється шар глибиною 20...30 см.

На заводах збірного залізобетону вироби, як правило, формують на спеціальних віброплощадках. При формуванні виробів у нерухомих формах використовують поверхневі, глибинні та навісні вібратори. Останні прикріплюють до форми.

При виготовленні виробів складної конфігурації використовують *віброштампування*, яке полягає в ущільненні виробів вібратором певного профілю. Прогресивним способом формування є *силове вібропрокатування* – поєднання вібрування рухомого шару бетону на стрічці з тиском на бетон вібровалків прокатного стану.

Ефективність вібрування жорстких бетонних сумішей підвищується при одночасній дії невеликого тиску (вібрації з привантаженням) – до $(1...3)\times 10^3$ Па на відкриту поверхню виробу.

На якість ущільнення впливають режимні показники вібрування, інтенсивність та тривалість коливань, а також спосіб і час їх прикладення. Зі збільшенням інтенсивності до оптимального значення зростають коефіцієнт ущільнення та міцність бетону, але при перевищенні оптимального значення можливе розшарування суміші.

Placement of concrete is carried out in forms following the preliminary placement of reinforcement and embedded items.

The quality of concrete placement is determined by the efficiency of compaction of all the volume of material and preventing segregation. A 1% decrease in the density of concrete causes a

Національний університет
водного господарства
та природокористування

reduction in its strength of approximately at 5%. The compaction ratio(factor) K_c should be not less than 0.97...0.98, and for high density concrete,- not less than 0.99:

$$K_c = \frac{\rho_{o.a}}{\rho_{o.c}}, \qquad (6.2)$$

$\rho_{o.a.}$– actual average density of compacted concrete mixture; $\rho_{o.c}$– calculated average density.

The compaction of concrete mixtures can be carried out by vibration, degassing, pneumatic concreting (shortcreting), and also by rolling, pressing, centrifugation and etc.

Vibration is the most widespread and effective method of compaction. The vibration frequency 10… 50 Hz is used for concrete compaction. The two types of vibration are used for cast-in-situ structures – internal and surface vibration. An *internal vibration* is based on the immersion of the executive device of the vibrator into the mixture and is utilized for the compaction of concrete mixtures with slump values of over 1 cm. *Surface vibration* is recommended for the compaction of concrete coverings roads, slabs etc. Concrete layers within a depth of 20...30 cm are well consolidated by surface vibration.

At precast plants reinforced concrete elements are formed, as a rule, at the special vibroareas. The surface, internal and external vibrators are used for elements cast in stationary forms. The last(external) vibrators are normally attached to the form.

Vibrostamping is applied for production of elements with complicated configuration. The compaction is achieved by vibrators of certain shape. The progressive method of forming is the powered *vibrorolling method* – which is a combination of vibration of mobile layer of concrete on a stripe with pressure, applied to the concrete by the vibromills of a rolling mill.

The efficiency of the vibration of the stiff concrete mixtures is increased by the simultaneous action of small pressure (vibrations with cantledge) – of up to $(1...3) \times 10^3$ Pa at the open surface of the element.

The operating conditions of vibration, intensity and duration of fluctuations, as well as the method and time of their application, influence the compaction quality. Increasing vibration up to the optimal magnitude of compaction increases the concrete strength, but segregation of the concrete mixture is possible, if the optimal magnitude is exceeded.

6.12. Невібраційні методи ущільнення бетонних сумішей
Vibration-free methods of concrete mixtures compaction

Ефективним способом ущільнення тонкостінних конструкцій виготовлених з сумішей з високим водовмістом є *вакуумування*. При вакуумуванні за допомогою щитів та вкладишів, які мають вакуумпорожнину, з бетону відсмоктується 10...20% загальної кількості води, що покращує його якість.

Для формування труб, опор, паль та інших конструкцій трубчастого перерізу використовується *центрифугування*, при якому розподіл та ущільнення бетонної суміші відбувається під дією відцентрових сил, які розвиваються у формах, що обертаються.

При використанні дрібнозернистих жорстких бетонних сумішей ефективним способом ущільнення є *пресування*, з допомогою якого можна отримати бетони високої міцності та довговічності. Різні способи пресування (вібропресування, радіальне та осьове пресування) використовуються, наприклад, при виготовленні бетонних труб.

Використання суперпластифікаторів дозволяє виготовляти при помірному водовмісті бетонні суміші, використання яких дає можливість відмовитися від віброущільнення та здійснювати гравітаційне заповнення опалубки. Литі суміші необхідні для виготовлення сильноармованих залізобетонних конструкцій, коли якісне ущільнення бетонної суміші вібруванням здійснити важко.

У гідротехнічному та інших галузях будівництва при бетонуванні відкосів каналів, гребель, екранів та облицювання тунелів використовуються пневматичні способи

Національний університет
водного господарства
та природокористування
бетонування – *торкретування* та *шприц-бетонування*, засновані на виштовхуванні під тиском бетонної суміші та нанесення її з динамічним зусиллям на поверхню.

Торкрет-бетон не містить крупного заповнювача, раціональні склади його знаходяться в межах від 1:2 до 1:4. Його використовують для ремонту, посилення та відновлення різноманітних конструкцій, омонолічування збірного залізобетону, для бетонування тонкостінних несучих конструкцій різної форми. Шприц-бетон (набризг-бетон) містить крупний заповнювач і дозволяє створювати шар більшої товщини (20...30 см).

Для нанесення на поверхню торкрет–бетону та шприц-бетону використовують цемент-гармати, пневмо-нагнітачі та пневмоукладувачі.

Effective method of compaction of thin-walled structures made from mixtures with high water content is *vacuumization*. During vacuum compaction by the shields and bushes, which have the vacuum chamber, it sucks off 10...20% of the total amount of water from the concrete that improves its quality.

The *centrifugation* is utilized for pipe forming, bearing supports, piles and other structures of tubular profile, at which distributing and compaction of concrete mixture takes place under the action of centrifugal forces, developing in the revolving forms.

A further effective method of compaction is *pressing* with the help of which it is possible to get concrete of high strength and durability by using of fine-grained stiff concrete mixtures The different methods of pressing (vibropressing, radial and axial pressing) are used, for example, for making concrete pipes.

The use of superplasticizers allows the production at moderate water content of concrete mixtures, which eliminates vibrocompaction and ensures the gravity filling of molds. The cast mixes are required for the production of heavily reinforced concrete structures, when high–quality compaction of concrete mixture by vibration is difficult to realize.

The pneumatic methods of concreting – *shortcreting* and *jetcreting* are applied in hydraulic engineering and other industries of construction for concreting of channel slopes, dikes, screens and tunnel facing. They are based on repulsion of concrete mixture under the pressure and applying to the surface of the concrete with dynamic forces.

The shortcrete does not contain coarse aggregate; its rational compositions range from 1:2 to 1:4. It is used for repairs, strengthening and reconstruction of various structures, grouting of precast reinforced concrete, and for concreting of thin-walled bearing structures of different shapes. The jetcrete contains a coarse aggregate and allows the creation of a thicker layer (20...30 cm).

The cement guns, pneumatic delivers and pneumatic rackers are used for application on the surface of shortcrete and jetcrete.

6.13. Структура бетону
Structure of concrete

Мікроструктура бетону відображує будову цементного каменю. Цементний камінь являє собою конгломерат продуктів гідратації цементу, включень негідратованих зерен клінкеру, добавок та бульбашок повітря. Пори в цементному камені представлені у вигляді сполучених один з одним каналів капілярів, роз'єднаних продуктами гідратації цементу (цементним гелем). За походженням пори поділяють на пори гелю та капілярні пори.

Капілярні пори, утворені надлишковою механічно пов'язаною водою, погіршують основні властивості бетону, особливо морозостійкість. Капілярна пористість зменшується по мірі зниження водоцементного відношення, витрати води та збільшення тривалості гідратації.

Поряд з капілярними негативний вплив на властивості бетону мають пори та пустоти, які є результатом поганого ущільнення. Загальний об'єм пор в цементному камені становить 25...40 % від загального об'єму, при цьому основна їх частка припадає на капілярні пори. Зі

Національний університет
водного господарства
та природокористування

збільшенням тривалості твердіння зменшується загальна пористість та об'єм макрокапілярів, що веде до покращення властивостей бетону, його міцності, проникності та довговічності.

Важкі та легкі бетони включають каркас заповнювачів, що активно впливають на їх властивості. Легкі бетони за будовою відрізняються від важких наявністю додаткових пор у зернах заповнювачів.

Можна виділити три групи макроструктур бетону залежно від ступеня розсуву зерен заповнювачів (рис. 6.7).

Для структури з *базальною цементацією* зерна заповнювачів не утворюють контактів між собою і "плавають"у цементуючій масі. Властивості матеріалу при такій макроструктурі обумовлені переважно властивостями матриці. Заповнювачі, що діють як концентратори напружень, можуть погіршувати властивості конгломерату. В міру насичення структури зернами заповнювача утворюється щільний каркас, склеєний тонким прошарком зв'язуючого. Таку структуру називають *поровою*. Вона сприятлива як з позицій витрат в'яжучого, так і надання бетонові поліпшених технічних властивостей. *Контактна структура* характеризується максимальним насиченням бетону заповнювачами, коли кількості в'яжучого недостатньо для заповнення міжзернових порожнин.

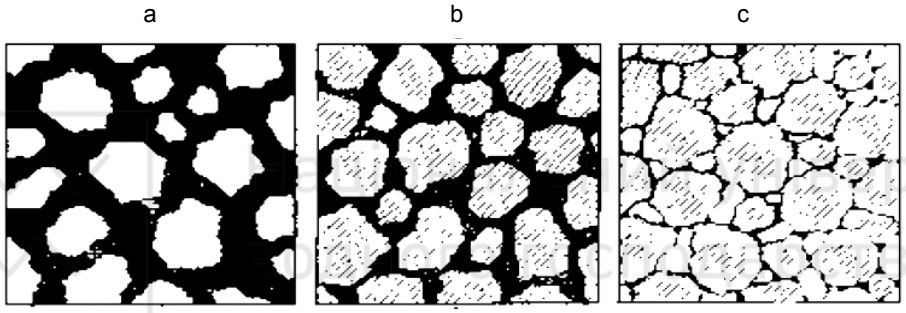

Рис. 6.7. Схеми структур бетону: a – з базальною цементацією; b – порова; c – контактна
Fig.6.7. Schemes of structures of concrete: a - the basal cementation; b - porous; c - contact

Основні властивості бетону залежать від зчеплення цементного каменю з заповнювачами. Взаємодія цементного каменю з заповнювачами може бути механічною, фізико-хімічною, хімічною та змішаною. Механічне зчеплення досягається наявністю на поверхні зерен заповнювача мікрорельєфу, фізико-хімічне - обумовлено адгезійними властивостями заповнювача, хімічне - його хімічною активністтю по відношенню до продуктів гідратації цементу.

The *concrete microstructure* represents cement stone structure. Cement stone by itself is a conglomerate of cement hydration products, inclusions of the unhydrated grains of clinker, additives and air bubbles. Pores in the cement stone are presented as connected with each other canals of capillaries, disconnected by the products of cement hydration (by cement gel). The pores, according to the origin, are divided into the gel pores and capillary pores.

Capillary pores, formed by the excessive mechanically bounded water, impair the basic concrete properties, especially frost resistance. Capillary porosity diminishes as the water cement ratio and water content declines and increases with hydration time.

Along with capillary pores, pores and voids, resulting from poor compaction, have negative influence on concrete properties. The total pore volume of the cement stone is 25...40 % of the total volume of the cement stone, and the capillary pores forms a major part. With the increasing of hardening duration, the general porosity and volume of macrocapillaries diminishes. This leads to the improvement of the concrete properties, such as strength, permeability and long-term durability.

Heavy-weight and light-weight concretes, include aggregate framework, which actively influence their properties. Structure of light-weight concrete differs from heavy-weight one by the presence of additional pores in the grains of aggregates.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

There are three groups of macrostructures of concrete, depending on the degree of sliding of grains of aggregates (fig. 6.7).

For the structure with *basal cementation* aggregates grains do not form contacts between them and "swim" in the cementing mass. Properties of the material with this macrostructure are due to matrix properties – i.e. cement stone. The aggregates, acting as stress concentrators, can degrade properties of conglomerate. With the degree of saturation of the structure with aggregates' grains there forms dense frame, glued with a thin layer of the binding agent. Such structure is *porous*. It is favorable from the point of the binder's quantity, as well as by giving the concrete improved technical properties. The *contact structure* is characterized by maximum saturation of concrete with aggregates, when the amount of binder is insufficient to fill the inter-grain cavities.

Basic properties of concrete depend on adhesion of cement stone with aggregates. The interaction of cement stone with aggregates can be mechanical, physical-chemical, chemical and mixed. Mechanical adhesion is achieved by the presence on the surface of the aggregates grains of microrelief, physical-chemical – by adhesive properties of the aggregate, chemical – by its chemical activity in relation to the cement hydration products.

6.14. Міцність бетону
Concrete strength

Основною властивістю бетону як конструкційного матеріалу є *міцність*. Показником міцності бетону, що нормується, є його клас, тобто міцність (в МПа), яка приймається з гарантованою забезпеченістю. Встановлена, як правило, забезпеченість міцності 0,95 означає, що границя міцності бетону, яка відповідає чисельному значенню класу, досягається не менше ніж у 95 випадків із 100.

Класи за міцністю на стиск для важкого і легкого бетону приведені в табл.6.7.

Таблиця 6.7

Класи за міцністю на стиск для важкого і легкого бетонів

Важкий бетон		Легкий бетон	
Необхідна мінімальна кубикова міцність, МПа	Клас бетону за міцністю на стиск	Необхідна мінімальна кубикова міцність, МПа	Клас бетону за міцністю на стиск
10	C8/10	9	LC8/9
15	C12/15	13	LC12/13
20	C16/20	18	LC16/18
25	C20/25	22	LC20/22
25	C20/25	22	LC20/22
30	C25/30	28	LC25/28
35	C28/35	33	LC30/33
37	C30/37	38	LC35/38
40	C32/40	44	LC40/44
45	C35/45	50	LC45/50
50	C40/50	55	LC50/55
55	C45/55	60	LC55/60
60	C50/60	66	LC60/66
67	C55/67	77	LC70/77
75	C60/75	88	LC80/88
85	C70/85		
95	C80/95		
105	C90/105		
115	C100/115		

Національний університет
водного господарства
та природокористування

На практиці при виготовленні бетону його міцністні показники початково визначають як середні результати випробувань окремих зразків. За чисельним значенням середньої міцності бетону з урахуванням коефіцієнта варіації (мінливості) визначають його клас за міцністю.

Між класом бетону (С) та середньою міцністю партії $\overline{R}$, що контролюється, існує залежність:

$$C = \overline{R}(1 - 1{,}64\, C_v) \,, \tag{6.3}$$

де Cv – коефіцієнт варіації міцності бетону.

Коефіцієнт варіації міцності бетону знаходять за формулою:

$$C_v = \frac{S}{\overline{R}} \,, \tag{6.4}$$

де S – середньо- квадратичне відхилення для партії бетону.

При високій культурі виробництва та стабільних технологічних параметрах коефіцієнт варіації міцності бетону досягає 6...8%, при незадовільному рівні технології – 20...25%. Нормування міцності бетон за класами дозволяє забезпечити необхідну надійність конструкцій незалежно від коефіцієнту варіації. Разом з тим зменшення коефіцієнту варіації, як слідує з формули (6.4), дозволяє зменшити необхідну середню міцність, що в свою чергу веде до зниження необхідної витрати цементу.

Для переходу від класу бетону до середньої міцності при нормативному коефіцієнті варіації 13,5% (який приймається при проектуванні конструкцій з важкого та легкого бетонів) можна використовувати формулу $\overline{R} = C/0{,}778$, де С – чисельне значення класу бетону.

Інтервал часу (вік бетону), через який визначається клас, залежить від виду бетону та ряду виробничих умов. Його приймають, як правило, рівним 28 діб нормального твердіння, тобто при температурі (20 ± 2)°С та відносній вологості повітря не нижче 90 %. В разі необхідності вік бетону може бути збільшений до 90 або 180 діб, що сприяє економії цементу. При розрахунку залізобетонних конструкцій поряд з кубиковою міцністю необхідно знати *призмову міцність*, яку визначають, стискаючи призми розміром $20 \times 20 \times 80$ см. Відношення кубикової міцності бетону до призмової не є сталою величиною, воно коливається в інтервалі 0,7...0,8.

The main property of concrete as a structural material is *strength*. The basic index of concrete strength which is specified is its *strength class*, (in MPa) which is accepted with the assured probability. As a rule the accepted probability of strength set is 0.95. This means that the ultimate strength of concrete, which meets the requirements of the numerical strength class, is achieved at not less than in 95 cases from 100.

Compressive strength classes for heavyweight and lightweight concrete are listed in table 6.7.

In conditions of high quality control, the coefficient of variation of concrete strength varies between 6...8%, but for poor quality control(–characteristic of insufficient level of technology), C_v varies between 20...25%. The standardization of concrete strength on a classes basis allows the provision of the required design reliability regardless of the coefficient of variation. At the same time, a diminished coefficient of variation decreases the required average strength which in some cases results in a reduction of the required cement content (see formula 6.4).

For a transition from the concrete class to the average strength at the normative coefficient of variation 13.5% (this is accepted as rule at the structural design on the heavy-weight and lightweight concrete) it is possible to use the formula of $\overline{R} = C/0{,}778$, where C is the numerical value of concrete class.

Time interval (age of concrete) after which class is determined, depends on the type of concrete and range of production conditions. This time interval is accepted, as a rule, equal 28 days of normal hardening, at a temperature of (20 ± 2)°C and relative humidity of air not below 90 %. If

Національний університет
водного господарства
та природокористування

it is required age of concrete can be increased to 90 or 180 days that leads to the economy of cement. At the calculation of reinforced-concrete structures along with to cube strength it is required to know *prism strength* which is determined by the test of prism with the sizes 20× 20× 80 cm. The ratio between cube strength of concrete and prism strength is in the range of 0.7...0.8.

Table 6.7

Compressive strength classes for heavyweight and lightweight concrete

Heavyweight concrete		Lightweight concrete	
Required, i.e. inimum (characteristic) cube strength, MPa	Specified compressive strength class	Required, i.e. inimum (characteristic) cube strength, MPa	Specified compressive strength class
10	C8/10	9	LC8/9
15	C12/15	13	LC12/13
20	C16/20	18	LC16/18
25	C20/25	22	LC20/22
30	C25/30	28	LC25/28
35	C28/35	33	LC30/33
37	C30/37	38	LC35/38
40	C32/40	44	LC40/44
45	C35/45	50	LC45/50
50	C40/50	55	LC50/55
55	C45/55	60	LC55/60
60	C50/60	66	LC60/66
67	C55/67	77	LC70/77
75	C60/75	88	LC80/87
85	C70/85		
95	C80/95		
105	C90/105		
115	C100/115		

6.15. Неруйнівні методи визначення міцності бетону
Non-destructive methods for control of concrete strength

Існують різноманітні *неруйнівні методи контролю міцності бетону* безпосередньо у виробах та конструкціях (рис. 6.8). Впровадження неруйнівних методів викликано необхідністю врахування виробничих факторів: відхилень від заданого складу бетону, умов транспортування, укладання, твердіння та ін. Важливою перевагою неруйнівних методів є оперативність та простота контролю міцності.

Механічні методи неруйнівного контролю засновані на принципах пружнього відскоку або вдавлювання. При цьому міцність бетону визначається за пружністю, яка характеризується величиною відскоку тіла (прилади Шмідта та ін.), або твердості, виміряної за діаметром відтиску (прилади Фізделя, Кашкарова, Губбера та ін.). Механічні методи дозволяють визначити міцність поверхневого шару і дають високу похибку при неоднорідності бетону у перерізі.

Серед фізичних методів неруйнівного контролю міцності бетону розповсюдження набув імпульсний метод, заснований на вимірюванні швидкості розповсюдження ультразвукових коливань у матеріалі. При постійних складах бетону та умовах твердіння зміна швидкості розповсюдження ультразвукових коливань вказує на певну зміну міцності.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

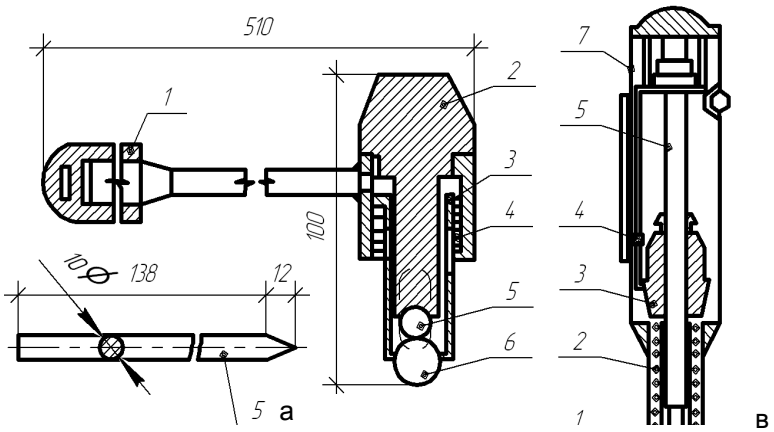

Рис. 6.8. Прилади для неруйнівного контролю міцності бетону:
а – еталонний молоток; 1 – гумова ручка на металічниій рукоятці; 2 – корпус; 3 – стакан; 4 – пружини; 5 – еталонний стержень; 6 – стальна кулька; b – прилад для випробування бетону методом пластичної деформації; 1 – ударник; 2– ударна пружина; 3 – бойок; 4 – покажчик; 5 – шкала; 6 – напрямна пружина; 7 – корпус
Fig. 6.8. Devices for non-destructive methods of concrete strength control:
a – standard hammer:1 – rubber stick on a steel handle; 2 – enclosure; 3 – spring cup; 4 – spring; 5 – standard bar; 6 – steel ball; b – device for the testing of concrete by the method of plastic deformation; 1 – shock-worker; 2 – shock spring; 3 – peen; 4 – pointer; 5 – scale; 6 – sending spring; 7 – enclosure

There are various *non-destructive methods of control of concrete strength* directly in element and structures (fig. 6.8). Using of non-destructive methods is caused by the necessity of taking into account production factors: deviations from the set concrete composition, conditions of transporting, casting, hardening and etc. An important advantage of non-destructive methods is the immediacy and simplicity of the strength control.

The mechanical methods of non-destructive control are based on the principles of esilient rebound or indentation. Thus concrete strength is determined by resiliency which is characteristics of rebound striking bodies (devices of Shmidt and other) or hardness, measured by the diameter of print (devices of Fizdel, Kashkarov, Gubber and other). The mechanical methods allow defining the strength of surface layer; they give a high error for concrete inhomogeneity in a sectional view.

The impulse method, based on measuring of distribution speed of ultrasonic vibrations in material is spread among the physical methods of non-destructive assessment of concrete strength. The change of speed spreading of ultrasonic vibrations indicates the certain strength changing at the permanent compositions of concrete and the hardening conditions.

6.16. Закон водоцементного відношення
Law of water-cement ratio

Відомо ряд факторів, що впливають на міцність бетону, але головним серед них є активність цементу та водоцементне відношення (рис 6.9). Залежність міцності бетону на стиск $R_б$ від активності цементу ($R_ц$) та водоцементного відношення (В/Ц) можна представити формулою:

$$R_б = \frac{A' R_ц}{(В/Ц)^m}. \qquad (6.5)$$

де A' і m– коефіцієнти.

Ця залежність виражає основний закон міцності бетону – *закон водоцементного відношення*, суть якого полягає в тому, що при постійних матеріалах, технології виготовлення та умовах твердіння міцність бетону залежить, в основному, від водоцементного відношення.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

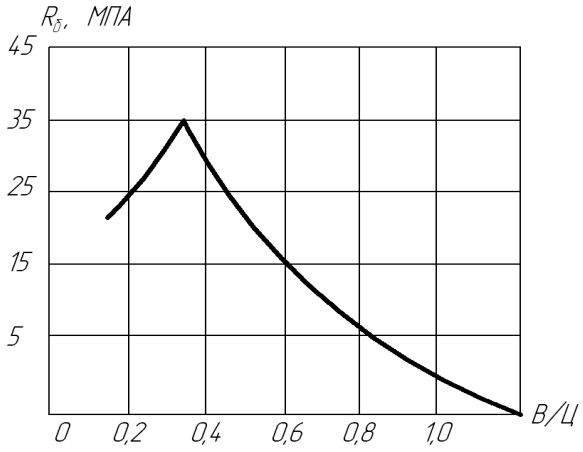

Рис. 6.9. Залежність міцності бетону $R_б$ від В/Ц
Fig. 6.9. Relationship between concrete strength Rc and W/C

Стосовно до важкого бетону для розрахунків широко використовується формула:

$$R_б = AR_ц\left(Ц / B \pm 0{,}5\right), \qquad (6.6)$$

де А – коефіцієнт.

Формула (6.6) передбачає, що в певних інтервалах міцність бетону пропорційна величині, оберненою до В/Ц, тобто цементно-водним відношенням (Ц/В прямолінійною залежністю. У формулах (6.5, 6.6) коефіцієнти А' та А залежать від якості вихідних матеріалів.

Закон водоцементного відношення справедливий при порівняно близьких умовах, в противному разі розрахункова та фактична міцність можуть суттєво різнитися, що пояснюється впливом неврахованих факторів.

В легких бетонах цементний камінь та зерна заповнювачів різняться за міцністю та деформативністю в меншій мірі, ніж у важких бетонах. В зв'язку з цим на їх міцність суттєво впливає міцність пористого заповнювача.

The cement strength and water-cement ratio are the main ones among the known factors which influence the concrete strength.

Dependence between compressive strength concrete (R_c), strength of cement (R_{cem}) and *water– cement ratio* (W/C) can be represented by formula:

$$R_c = \frac{A^{/} R_{cem}}{(W/C)^m}. \qquad (6.5)$$

where A' and m– coefficients.

This dependence expresses the basic law of the concrete strength – *law of water- cement ratio*, essence of which consists in the fact that for the same materials, production technique and hardening conditions, the concrete strength depends basically on a water-cement ratio (fig. 6.9).

The next formula is widely used for calculations in relation to a heavy-weight concrete:

$$R_c = AR_{cem}\left(C/W \pm 0{,}5\right). \qquad (6.6)$$

The formula (6.6) shows, that in certain interval the concrete strength is proportional value inversely related to the W/C, i.e a cement-water ratio (C/W) and is associated with it rectilinear dependence. In the two formulae (6.5, 6.6) coefficients A' and A depend on the quality of the initial materials.

The law water-cement ratio is valid for a relatively similar conditions.

It is important to note that the calculated and factual strength can substantially differ, because of the influence of other factors not considered here.

In lightweight concrete cement stone and grains of aggregates differ in strength and deformability by a lesser measure, than in heavy-weight concrete. That is why the strength of porous aggregates influences substantially the concrete strength.

6.17. Тверднення бетону і вплив температурного фактору
Hardening of concrete and influence of temperature factor

Для орієнтовного прогнозування збільшення міцності бетону протягом часу можна використовувати логарифмічну залежність:

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$R_б^n = R_б^{28} \frac{lg\ n}{lg\ 28}\ , \qquad (6.7)$$

де $R_б^n$ – границя міцності бетону на стиск у віці n діб (n > 3); $R_б^{28}$ – 28- добова міцність бетону.

Збільшення міцності бетону на цементі певного хіміко-мінералогічного складу протягом часу визначається температурновологісними умовами твердіння (рис. 6.10).

Підвищення температури при твердінні прискорює хімічні реакції гідратації, що позитивно впливає на зростання міцності бетону. Різке прискорення процесів твердіння бетонів настає при температурах 70...95° С і особливо при 175...200° С. Однак при нестачі води в бетоні вплив підвищених температур сповільнює процес гідратації, знижує міцність бетонів. При повному випаровуванні води процес твердіння припиняється. Позитивний вплив підвищених температур на швидкість твердіння бетонів послужило основою розробки і широкого застосування в технології залізобетонних конструкцій способів *тепловологісної обробки*. Бетон нагрівають за допомогою пари, електроенергії, інфрачервоних променів та ін. При температурах понад 100°С тепловологісну обробку проводять в автоклавах і спеціальних герметичних формах.

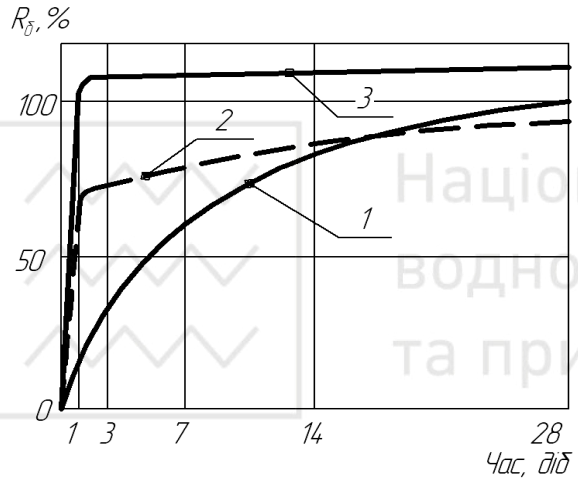

Рис. 6.10. Зростання міцності бетону:
1 – в нормальних умовах твердіння;
2 – пропареного при атмосферному тиску і температурі 85° С; 3 – запареного в автоклаві при тиску пари 0,8 МПа і температурі 175 °С
Fig. 6.10. The concrete strength increasing:
1 – in the normal conditions of hardening;
2 – steamed at atmospheric pressure and temperature of 85°C; 3 – steamed in an autoclave at pressure of steam of 0.8 MPa and temperature 175° C

Для одержання довговічного бетону важливо звести до мінімуму його деформації при температурному впливі. Залишкові деформації мають місце при недостатньому попередньому витримуванні бетону до теплової обробки, підвищеній швидкості підйому температури та її зниження після відключення подачі пари.

For approximate prognostication of the concrete strength increase with time, it is possible to use the logarithmic dependence:

$$R_c^n = R_c^{28} \frac{lg\ n}{lg\ 28}, \qquad (6.7)$$

where R_c^n – the ultimate concrete compressive strength at age n days (n > 3); R_c^{28} – 28 days concrete strength.

The increase in the concrete strength based on cement of certain chemical-mineralogical composition as a function of time is determined of the temperature-humidity conditions of hardening (fig. 6.10).

The increase in temperature at hardening speeds up the chemical reactions of hydration, which positively affects the growth of concrete strength. Sharp acceleration in the processes of hardening of concretes occurs at temperatures of 70…95° C and especially 170…200°C. However, if there is not enough water in concrete, the impact of higher temperatures slows down the process of hydration, reduces strength of concretes. With full evaporation of water, the hardening process terminates. The positive influence of higher temperatures on the rate of hardening of concrete formed the basis of the development and wide application in the technology of reinforced concrete structures of *heat–and–moisture processing*. Concrete is heated with steam, electricity, infrared rays, etc. At temperatures higher than 100° C heat–and-moisture processing is conducted in autoclaves and special sealed forms.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

To obtain durable concrete it is important to minimize its deformations during temperature influence. Residual deformations occur at insufficient preliminary curing of concrete before heat processing, high speed of temperature rise and its reduction after disconnecting the steam.

6.18. Екзотермія бетону
Exotherm of concrete

Твердіння бетону супроводжується виділенням теплоти внаслідок протікання екзотермічних процесів гідратації цементу. Фактори, що впливають на інтенсивність твердіння, відбиваються і на *тепловиділенні (екзотермії)* бетону. Найважливішим фактором, що впливає на тепловиділення, є мінералогічний склад цементу. За інтенсивністю розвитку тепловиділення основні мінерали, що входять до складу цементу, розташовуються в ряд: $C_3A > C_3S > C_4AF > C_2S$ (рис. 6.11).

Тепловий ефект гідратації C_3A майже вдвічі вищий, ніж C_3S і у 5 разів вищий ніж C_2S. Тепловиділення бетону збільшується при підвищенні витрати цементу, тонкості його подрібнення, при підвищення температури, а також в присутності прискорювачів твердіння; знижується – при введенні до цементу або бетонної суміші мінеральних добавок (шлаків, зол ТЕС та ін.) та ПАР.

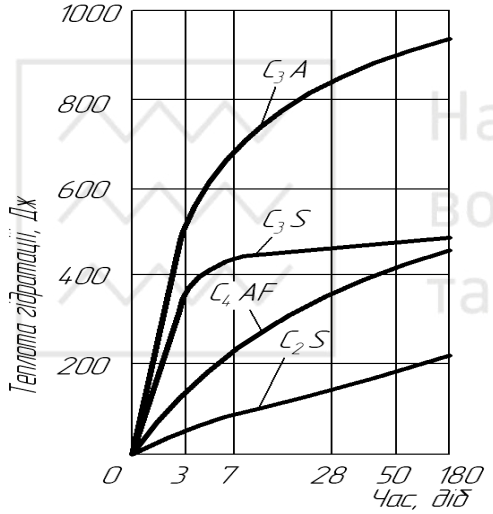

Рис. 6.11. Тепловиділення при гідратації клінкерних мінералів
Fig. 6.11. The heat generation during the hydration of clinker minerals

Позитивна роль тепловиділення бетону проявляється при зимовому бетонуванні, а також тепловій обробці з метою прискорення твердіння.

Для масивних споруд – гребель, фундаментів під турбогенератори та ін. тепловиділення бетону відіграє негативну роль. Воно викликає значне підвищення температури (до 50° С і вище) у ядрі масиву, розвиток термічних напруг та тріщиноутворення. Зниження саморозігріву бетону в масивних спорудах досягається використанням низькотермічних цементів з тепловиділенням у 3–добовому віці не більше 230 Дж/г. Ефективним є зниження температури бетонної суміші. Використовують також охолодження бетону водою, що циркулює по трубах.

The concrete hardening is accompanied with heat release as a result of the exothermic processes of the cement hydration. The factors which influence the hardening intensity, affect also the *heat generation (exothermal reaction)* of concrete. The mineralogical composition of cement is the major factor, which influence the heat generation. For the main minerals, contained in normal cement, the order of the intensity of heat generation is as follows: $C_3A > C_3S > C_4AF > C_2S$ (fig. 6.11).

The thermal effect of hydration of C_3A is almost twice higher than C_3S and in 5 times higher than C_2S. The heat generation of concrete is increased with increase in the cement content, grinding fineness, increasing temperature, and also by the presence of hardening accelerators. Heat generation reduces by the introduction of mineral admixtures (slag, ashes of thermal power stations and other) and surface-active substances (SAS) to the cement or concrete mixture.

The positive role of the heat generation of concrete shows up during winter concreting, and also heat treatment with the purpose of accelerating the hardening process.

The heat generation of concrete plays a negative role in massive structures – dams, foundations under generating units and etc. It causes a considerable increase in temperature (up to

Національний університет
водного господарства
та природокористування

50°C and higher) in the core of the massive concrete. This results in the development of thermal stresses and cracking. A reduction in the self–heating of concrete in massive constructions is achieved by the use of low-heat cements with the heat generation in 3–day's age not more than 230 J/g. The reduction of concrete mixture temperature is effective. Concrete cooling by water, which circulates in pipes, is also used.

6.19. Способи зимового бетонування
Methods of winter concreting

При від'ємній температурі твердіння бетону відбувається повільно (рис. 6.12), або не протікає взагалі, що обумовлено замерзанням вільної води та припиненням процесу гідратації цементу. Утворення в бетоні льоду супроводжується підвищенням тиску, що порушує його структуру. При відтаюванні твердіння поновлюється, однак внаслідок погіршення структури знижуються міцність та інші властивості бетону.

Зимове бетонування, як правило, виконують способом термосу або електропрогріву. Використовується також спосіб паропрогріву і так звані "холодні бетони". У деяких випадках, наприклад, при укладанні бетону в блоки гідротехнічних споруд при температурі нижче мінус 20°C використовують тепляки та шатри.

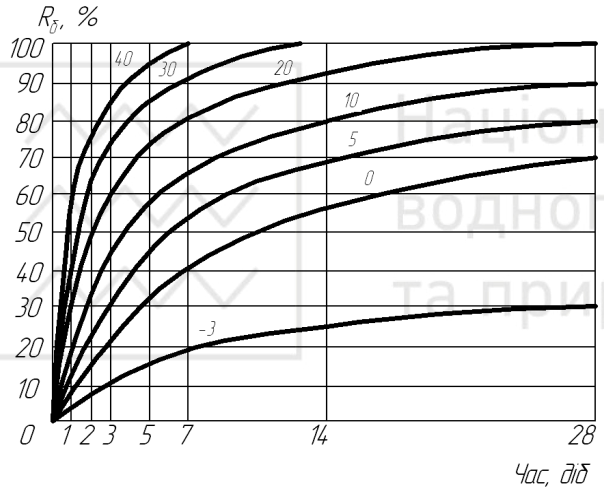

Рис. 6.12. Зростання міцності бетону при температурах від -3 до 40^0 C
Fig. 6.12. Concrete strength increasing at temperatures from -3 to 40^0 C

Спосіб термосу застосовується при бетонуванні масивних конструкцій і полягає у твердінні за рахунок теплоти, що виділяється при гідратації цементу, та при використанні підігрітих компонентів. Поверхню бетону захищають теплоізоляційними матеріалами.

Паропрогрів здійснюють в парових сорочках або камерах, а також при пропусканні пари крізь труби, закладені в бетоні.

При електронагріванні твердіння бетону йде за рахунок теплоти, що виділяється в тілі бетону при пропусканні струму крізь металеві електроди, або в результаті теплопередачі від нагрітого повітря. Для підігрівання бетону використовується змінний струм нормальної частоти. Постійний струм викликає електроліз і тому не використовується.

"Холодні бетони" мають здатність твердіти при від'ємній температурі завдяки введенню хімічних добавок, які знижують температуру замерзання води затворення. Як протиморозні добавки використовують хлористі та амонійні солі, нітрит натрію, аміачну воду, поташ тощо.

At negative temperatures hardening of concrete takes place slowly (fig. 6.12), or does not flow generally, because of free water freezing and stopping the process of cement hydration. Ice formation in concrete is accompanied by increasing of pressure, which destroys its structure. After thawing the hydration process resumes, however, the strength and other properties of concrete reduce mainly as a result of the delayed structural development.

Winter concreting, as a rule, is executed by the thermos method and method of electrical warming. The method of steaming treatment is also used and so-called "cold concrete". The enclosures and large tents are used in some cases, for example, for laying concrete in the blocks of hydraulic buildings at a temperature below minus 20°C.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The *thermos method* is used for concreting during construction of massive structures. It consists in hardening of concrete due to the heat, which is released during cement hydration. The concrete surface is protected by heat insulating materials.

The *steam- heating* is affected in steam jackets or chambers, and also by the steam running through the pipes, embedded in the concrete. As a result of *electrical heating* the concrete hardening is affected also due to the heat, which is introduced in the body of concrete by passing current through metallic electrodes, or as a result of heat-transfer from the heated air by electrical warming. An alternating current of normal frequency is used for preheating the concrete. Direct current causes electrolysis and that's why it is not used.

"Cold concretes" have an ability to harden at subzero temperatures due to introduction of chemical admixtures, which reduce the freezing temperature of the mixing water. As antifreeze admixtures are used hydrochloric and ammonium salts, sodium nitrite, ammonium water, potash etc.

6.20. Морозостійкість бетону
Frost resistance of concrete

Під *морозостійкістю бетону* розуміють його здатність витримувати певну кількість циклів позмінного заморожування та відтаювання в насиченому водою стані при зниженні міцності не більше 5%. Залежно від кількості циклів заморожування та відтаювання, яку витримують зразки, встановлюються марки за морозостійкістю для важкого бетону F50, F100, F150, F200, F300, F400, F500, а для легких F25 та F35 та вище.

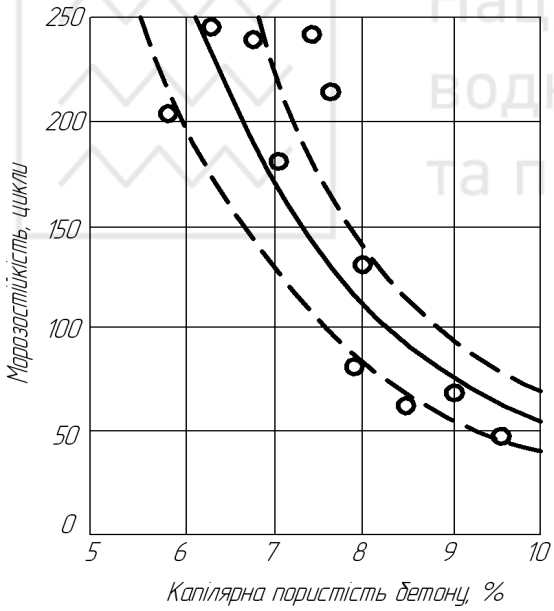

Рис. 6.13. Залежність морозостійкості бетону від капілярної пористості
Fig. 6.13. Dependence of frost resistance of concrete on its capillary porosity

Морозостійкість бетону завжди підвищується при зменшенні відносного об'єму капілярних пор та збільшенні об'єму замкнених пор, заповнених повітрям.

Для одержання бетонів з високими щільністю та морозостійкістю необхідно знижувати водоцементне відношення та витрату води, що визначають капілярну пористість (рис. 6.13). При нормальному твердінні бетону для забезпечення його високої морозостійкості рекомендується, щоб В/Ц не перевищувало 0,5, а витрати води були не більшими 160 л/м^3.

Поряд із зниженням капілярної пористості має значення правильний вибір цементу та заповнювачів. Позитивно відбивається на морозостійкості бетону використання цементу зі зниженим вмістом трикальцієвого алюмінату (C_3A <8 %) та підвищеним вмістом мінералів-силікатів при перевазі трикальцієвого силікату. Введення активних мінеральних добавок до цементу в підвищеній кількості веде до помітного зниження морозостійкості.

Для підвищення морозостійкості бетонів широко використовуються добавки ПАР. Вони дозволяють знизити водоцементне відношення та забезпечити утворення дрібних повітряних пор, до яких відтискається з капілярів вода, що замерзає, а також покращують кристалічну структуру цементного каменю.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The *freeze-thaw resistance* of concrete is the its ability to withstand a certain number of cycles of alternate freezing and thawing in the saturated water state without the substantial strength diminishing (no more 5%).

There are some grades, set according to frost resistance, depending on the amount of cycles of freezing and thawing, which is established by standards. The grades for heavy-weight concrete are:– F50, F100, F150, F200, F300, F400, F500 and higher and for lightweight – F25 and F35 and higher.

The durability of concrete to freeze-thaw action is always enhanced by diminishing the relative volume of capillary pores and increasing the volume of closed air – filled pores.

Thus improvement in durability to frost resistance can be assured by reducing the water-cement ratio and the total water content, which are the main factors that determine capillary porosity of concrete.(fig. 6.13). For good frost resistance of the concrete, it is recommended, that W/C should not exceed 0.5, and content of water not more than 160 l/m^3.

The correct selection of cement and aggregates are equally important. The use of cement with minimum content of tricalcium aluminate (C_3A <8 %) have a positive affect on the freeze-thaw durability of concrete. The introduction of increased amount of active mineral admixtures into cement leads to noticeable decline of freeze-thaw durability

Surface-active substances are widely used to increase the freeze-thaw resistance of concrete. They allow a reduction in the water-cement ratio and provide a fine air pore formation, to which the frozen water is pushed back from capillaries, and also improve the crystalline structure of the cement stone.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.21. Водонепроникність бетону
Water impermeability of concrete

Для конструкцій та споруд, що працюють під дією певного тиску води, важливим показником якості бетону є його *водонепроникність*, яка характеризується найбільшим тиском, при якому не спостерігається фільтрація води крізь зразки. Марки за водонепроникністю призначаються залежно від напірного градієнту (відношення максимального напору води до товщини конструкції) та характеру служби конструкції. При напірному градієнті до 5 рекомендується марка W4; від 5 до 10 –W6; від 10 до 12 – W8; 12 та більше – W12.

Основними шляхами фільтрації води є капілярні пори та особливо седиментаційні капіляри, утворені в результаті розшаровування бетонної суміші.

Висока водонепроникність досягається зниженням В/Ц, застосуванням розширних, пластифікованих та гідрофобізованих цементів, пуцоланового та шлакопортландцементу. При достатній вологості середовища водонепроникність суттєво збільшується зі збільшенням тривалості твердіння за рахунок зменшення об'єму відкритих пор при гідратації цементу. Водонепроникність та водопоглинання бетону є показниками його щільності, з якою пов'язана стійкість бетону до різних агресивних дій оточуючого середовища (табл. 6.7).

Таблиця 6.7

Показники щільності бетону

Вид бетону за щільністю	Умовне позначення	Марка за водонепроникністю	Водопоглинання, % за масою	В/Ц не більше
Нормальний	Н	4	5,7...4,8	0,6
Підвищено щільний	П	6	4,7...4,3	0,55
Особливо щільний	О	8	≤ 4,2	0,45

Water impermeability is characterized by the maximum pressure at which there is no water filtration through the specimens. It is an important index of concrete quality for building structures,

Національний університет
водного господарства
та природокористування

which work under the action of water certain pressure. The extent (grades) of water impermeability are assessed based on the pressure gradient (ratio between maximal water pressure and the thickness of construction) the type of constructions and their functions. At a pressure gradient of 5, a grade of W4 is recommended; from 5 to 10 - W6; from 10 to 12 - W8; 12 and more than - W12.

Water filtration into the concrete matrix occurs mostly through the capillary pores and especially sediment capillaries, formed as a result of stratification of concrete mixture.

High water impermeability is achieved by reducing the W/C, by application of expanding, plasticized, and hydrophobic cements. Application of pozzolanic and blast-furnace cement will also improve impermeability characteristics of concrete. The ambient relative humidity also affect the permeability of concrete. Water impermeability is substantially increased due to reduction in the volume of opened pores during cement hydration. The water impermeability and water absorption of concrete are the indexes of its density, with which the resistance of concrete to different aggressive actions of circumambience is related (table 6.7).

Table 6.7

Indexes of concrete density

The concrete types according to the density compactness	Water impermeability	Water absorption, % by weight	W/C no more
Ordinary dense	W4	5,7...4,8	0,6
High dense	W6	4,7...4,3	0,55
Especially dense	W8	≤ 4,2	0,45

6.22. Деформативні властивості бетону
Deformation properties of concrete

Тріщиностійкість бетону значною мірою пов'язана з його деформативними властивостями. Деформації бетону виникають як в результаті твердіння (усадка та набухання), так і під дією зовнішніх сил.

Усадка бетону відбувається внаслідок випаровування води при висушуванні. Вона коливається, як правило, від 0,2 до 0,4 мм/м у річному віці та зростає із збільшенням В/Ц, витрати цементу, при введенні активних мінеральних добавок. Усадка бетону змінюється приблизно пропорційно логарифму часу і особливо швидко збільшується в перші 28 діб (рис 6.14). Деформації бетону при твердінні суттєво знижуються при введенні стальної арматури. Усадкові деформації в бетоні ведуть до утворення тріщин та порушення монолітності споруд. Особливо це відбивається на тонкостінних конструкціях з попередньо напруженого залізобетону.

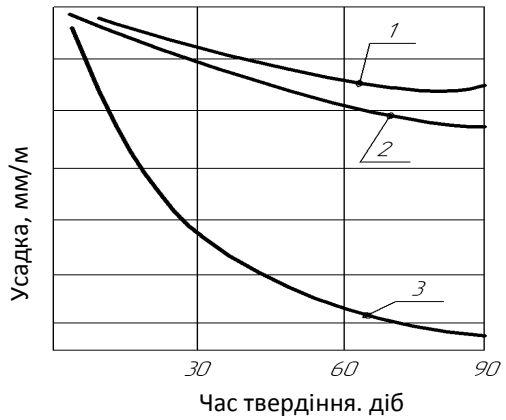

Рис. 6.14. Криві усадки: 1 – бетону; 2– розчину; 3– цементного каменю
Fig. 6.14. The shrinkage curves: 1– concrete; 2– mortar; 3– cement stone

Одним з критеріїв тріщиностійкості бетону є його *умовна розтяжність*:

$$\varepsilon_y = \frac{R_{розк}}{E_{дин}}, \qquad (6.8)$$

де $R_{розк}$ – границя міцності на розтяг, визначена методом розколювання; $E_{дин}$ – динамічний модуль пружності.

Під дією на бетон протягом тривалого часу постійного навантаження розвиваються необоротні *деформації повзучості*. Повзучість бетону збільшується при навантаженні конструкцій в ранньому віці, підвищенні водоцементного відношення, витрати цементу, вологості бетону та тривалості прикладення наванта-ження. Вона

Національний університет
водного господарства
та природокористування

залежить від виду цементу та його мінералогічного складу, а також від механічних властивостей та витрати заповню-вачів. Бетони на високоміцному малоалюмінатному портландце-менті характеризуються меншою повзучістю.

В залізобетонних конструкціях повзучість викликає підвищені прогини та втрати попереднього напруження арматури. В той самий час в масивних конструкціях деформації повзучості можуть компенсувати напруження розтягу, що розвиваються внаслідок екзотермії та усадки цементного каменю.

The *crack–resistance of concrete*, to a great extent, is related to its deformation properties. Deformation of concrete occurs both as a result of hardening (shrinkage and swelling) and under the action of external forces.

Concrete shrinkage takes place as a result of water evaporating from the pores during drying. It ranges, as a rule, from 0.2 to 0.4 mm/m in annual age and increases with increasing W/C, cement content, at introduction of active mineral additives. Concrete shrinkage changes are approximately proportional to the logarithm of time and exhibits fast increases especially in the first 28 days (fig. 6.14).

Concrete deformations essentially decrease on introduction of steel reinforcement. The shrinking deformations in concrete lead to crack formation, which may lead to a violation of the solidity of constructions. Especially it affects on the thin-walled structures from the prestressed reinforced concrete.

One of the criteria of crack-resistance of concrete is its *conditional extensibility*:

$$\varepsilon_{c.e.} = \frac{R_t}{E_{dyn}}, \qquad (6.8)$$

where R_t – ultimate tensile strength; E_{dyn} – dynamic modulus of elasticity.

The action on the concrete for a long time constant strain leads to irreversible *creep deformation*. The creep of concrete is affected by loading of structures in early age, increasing of water-cement ratio, cement content, humidity of concrete and duration of imposed loading. It depends on the type of cement and it mineralogical composition, and also on the mechanical properties and content of the aggregates used. Concrete made with high-strength low – aluminate Portland cement is characterized by a lower creep.

The creep of concrete causes significant bends and losses of previous tension in the reinforced–concrete structures. At the same time, creep deformation can compensate the tension, which increases as a result of exothermic processes and shrinkage of the cement stone in massive constructions.

6.23. Корозія бетону
Corrosion of concrete

Фізико-хімічні та хімічні корозійні процеси під дією різних середовищ, що діють на конструкції з бетону та залізобетону, відповідають головним чином трьом видам корозії.

Корозія першого виду обумовлена розчиненням деяких компонентів цементного каменя і в першу чергу гідроксиду кальцію - продукту гідролізу трикальцієвого силікату (*корозія вилуговування*). Вона йде інтенсивно у м'яких водах, особливо при фільтрації води крізь бетон. При вилуговуванні $Ca(OH)_2$ поряд із зменшенням щільності та порушенням структури цементного каменя починається розпад інших гідратів, стійких лише при певній концентрації $Ca(OH)_2$.

Корозія другого виду заснована на обмінних хімічних реакціях взаємодії між цементним каменем та агресивним водним розчином з утворенням легкорозчинних солей або аморфних продуктів, що вимиваються і не мають в'яжучих властивостей. До цього виду можна віднести кислотну, вуглекислу та магнезіальну корозії.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Корозія третього виду також викликана реакціями обміну речовин, розчинених у воді з компонентами цементного каменя, однак їх продуктами є малорозчинні солі, кристалізація яких відбувається у порах та капілярах із збільшенням об'єму. Типовим прикладом корозії цього виду є *сульфатна корозія*. Її викликають іони SO_4^{2-}, джерелом яких є сульфати кальцію, магнію та натрію. Різновидами сульфатної корозії є *сульфоалюмінатна* та *гіпсова корозія*.

Корозію бетону викликає також взаємодія лугів цементу з активним кремнеземом, що міститься в таких мінералах, як опал, халцедон та ін., котрі зустрічаються у заповнювачах бетону. Шкідливі напруження при цьому є наслідком утворення лужних силікатів.

З'ясування причин та механізму корозії цементного каменя дозволяє вибрати спосіб підвищення його стійкості. У всіх випадках позитивним є підвищення щільності бетону за рахунок зменшення вмісту води та водоцементного відношення бетонної суміші, а також введення пластифікуючих, полімерних та інших добавок. Більш стійкими до корозії вилуговування та сульфатної корозії є цементи, що містять активні мінеральні добавки, які зв'язують $Ca(OH)_2$ в малорозчинні сполуки, а також сульфатостійкі цементи з нормованим вмістом три кальцієвого алюмінату.

Physical-chemical and chemical corrosive processes under the action of different environments, which operate on concrete and reinforced concrete structures, may be divided into three types.

Corrosion of the first type is conditioned by the dissolution of some components of cement stone and mainly the hydroxide of calcium – the product of hydrolysis of tricalcium silicate (*corrosion of leaching*). It goes intensively in soft waters, especially during filtration of water through a concrete. At leaching of $Ca(OH)_2$ disintegration of other hydrates, steady only at the certain concentration of $Ca(OH)_2$ begins and take place reducing of density and violation of structure of cement stone.

Corrosion of the second type is based on the exchange chemical reactions of interaction between components of cement stone and aggressive water solution with formation of easily soluble salts, which are eluted, or amorphous products without binder characteristics. Acid, including carbonic acid and magnesia corrosions are the kinds of this type of corrosion.

Corrosion of the third type is also caused by the reactions of exchange of matters, dissolved in water with the components of cement stone, however, their products are poorly soluble salts, crystallization of which takes place in pores and capillaries with the volume increase. The typical example of corrosion of this type is *sulfate corrosion*. It is caused by the ions of SO_4^{2-}, the source of which are calcium, magnesium and sodium sulfates. The varieties of sulfate corrosion are *sulphoaluminate* and *gypsum corrosion*.

Corrosion of concrete stone can be also caused by interacting of alkalis of cement with active silica, which are contained in such minerals, as an opal, chalcedony and other, which are met in the concrete aggregates. Harmful tensions are the results of jelatinous alkaline silicates formation.

Finding-out of reasons and mechanism of corrosion of concrete allows to choose the method of increase of its resistance. An increasing of concrete density due to diminishing of water content and water-cement ratio of concrete mix, and also adding of plasticizers, polymeric and other additives is positive in all of cases. More resistant to the corrosion of leaching and sulfate corrosion are sulfate-resistant cements with specified amount of tricalcium aluminate and also cements that contain active mineral additives, which bound $Ca(OH)_2$ in slightly soluble compounds.

6.24. Проектування складів бетону. Основні завдання і методи
Desing of concrete mixtures. Main tasks

Найважливішим завданням технології бетону є визначення оптимального складу бетонів. Під *оптимальним складом бетону*, як правило, розуміють витрату матеріалів на І $м^3$ бетонної суміші, що забезпечує необхідні властивості бетону при найменшій витраті цементу.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Склад бетону для сухих матеріалів називають *номінальним (лабораторним)*, для матеріалів з визначеною вологістю - *робочим.* Як правило, спочатку знаходять номінальний склад, а потім перераховують його з врахуванням вологості заповнювачів на робочий склад.

В умовах виробництва розрахунок складу бетону зводиться до визначення витрати матеріалів на заміс бетонозмішувача. Об'єм замісу ($V_{б.с}$) менше сумарного об'єму сипких компонентів внаслідок заповнення цементно-піщаним розчином пустот між зернами крупного заповнювача

$$V_{б.с} = \beta\left(V_Ц + V_П + V_Щ\right), \tag{6.9}$$

де β – коефіцієнт виходу бетонної суміші, для важкого бетону дорівнює 0,55...0,75; $V_Ц, V_П, V_Щ$ – відповідно об'єми цементу, піску та крупного заповнювача.

Проектування складу бетону може виконуватися експериментальним або розрахунково-експериментальним методами. До завдання на проектування складу важкого бетону повинні бути включені: необхідні значення рухомості або жорсткості бетонної суміші, клас або марка бетону за міцністю. При необхідності нормуються також марки бетону за морозостійкістю та водонепроникністю, вводиться обмеження за щільністю та ін.

Експериментальні методи проектування складу бетону доцільні при великих обсягах бетонних робіт та неоднорідності матеріалів.

Розрахунково-експериментальні методи прискорюють підбір складів за рахунок використання емпіричних формул, накопичених графічних та табличних даних. Однак, перед рекомендацією розрахованого складу виробництву, він повинен бути експериментально відкоригований за необхідними показниками.

З розрахунково-експериментальних методів визначення складу бетону найбільшого розповсюдження набув *метод абсолютних об'ємів*.

One of main task of concrete technology is the determination of the optimum composition of concrete. The *optimum composition of concrete*, as a rule, the content of materials per 1 m^3 of concrete mixture, which provides the required properties of concrete at the least expense of cement, is understood.

The composition of concrete for dry materials is called *nominal(laboratory)* and the materials with certain humidity is described as *working* one. The nominal composition is found at first, as a rule, and then the working composition is computed, taking into account the aggregate humidity.

For concrete production the calculation of the concrete composition is reduced to determination of the materials content for the batch of concrete mixer. A volume of batch (V_b) is a less than the total volume of separate friable materials as a result of filling the voidage between grains of coarse aggregate:

$$V_b = \beta\left(V_c + V_s + V_{c.a}\right), \tag{6.9}$$

where β – coefficient of concrete yield, for a heavy-weight concrete equals 0.55...0.75; $V_c, V_s, V_{c.a}$ – accordingly volumes of cement, sand and coarse aggregate.

Proportioning of the concrete mixtures can be realized by experimental or calculation–experimental methods. For proportioning heavy–weight concrete the required slump or stiffness of concrete and also class of concrete strength are specified. If it is required the grades of concrete are also specified according to the frost resistance and water impermeability and so on.

The *experimental methods* of concrete mixtures proportioning are expedient at the large volumes of concrete works and heterogeneity of the materials.

Calculation–experimental methods accelerate the mixtures proportioning due to the empirical formulas, accumulated graphic and tabular information used. But the expected composition should be experimentally corrected on required indexes before the recommendation to apply it to production.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The *method of absolute volumes* is the most common among the calculation–experimental methods of determination of concrete composition.

6.25. Визначення цементно–водного (Ц/В) або водоцементного (В/Ц) відношення
Determination of the cement-water (C/W) or the water-cement (W/C) ratio

Розрахунок складу важкого бетону починається з визначення необхідного Ц/В або В/Ц.

Орієнтовно необхідне Ц/В або В/Ц можна знайти за формулою:

$$R_б = AR_Ц\left(Ц / В - 0{,}5\right), \qquad (6.10)$$

де $R_б$ – міцність бетону у віці 28 діб; *Ц/В* – цементно-водне відношення; A – коефіцієнт, який залежить від якості матеріалів.

Формула (6.10) вказує на прямолінійну залежність між міцністю бетону, активністю цементу та цементно-водним відношенням. Вона є справедливою для Ц/В < 2,5. При Ц/В > 2,5 ($R_б < 2AR_Ц$) можна користуватися формулою:

$$R_б = A_1 R_Ц\left(Ц / В + 0{,}5\right) \qquad (6.11)$$

Залежно від якості матеріалів приймають наступні значення коефіцієнтів:

Матеріали	A	A_1
Високої якості	0,65	0,45
Рядові	0,6	0,4
Задовільної якості	0,55	0,37

Національний університет
водного господарства
та природокористування

При дії на споруди морської та прісної води, а також в інших випадках, коли нормується щільність бетону, вводяться обмеження на В/Ц (табл. 6.8). Зазвичай приймають для бетону нормальної щільності В/Ц ≤ 0,6; підвищеної щільності В/Ц ≤ 0,55 та особливо щільних В/Ц ≤ 0,45.

Таблиця 6.8

Обмеження на В/Ц при дії морської та прісної води

Умови використання бетону	В/Ц для бетону немасивних залізобетонних конструкцій		В/Ц для зовнішньої зони масивних гравітаційних споруд	
	У морській воді	У прісній воді	У морській воді	У прісній воді
В зоні змінного рівня води при кліматичних умовах:				
особливо суворих	0,42	0,47	0,45	0,48
суворих	0,45	0,50	0,47	0,52
помірних	0,50	0,55	0,55	0,56
В частинах споруд, які постійно знаходяться під водою:				
напірних	0,55	0,58	0,56	0,58
безнапірних	0,6	0,62	0,62	0,62

The calculation of composition of heavy-weight concrete begins with determination of the required C/W or W/C.

Approximately required C/W can be found from the following formula:

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$R_c = A\ R_{cem}\left(C/W - 0{,}5\right), \qquad (6.10)$$

where: R_c – concrete strength at 28 days; C/W – cement-water ratio; A – coefficient, which depends on the quality of materials.

The formula (6.10) indicates the rectilinear dependence between the concrete strength, cement strength and cement–water ratio. It is just for C/W ≤ 2,5. At C/W > 2,5 ($R_c < 2AR_{cem}$) the next formula can be used:

$$R_c = A_1 R_{cem}\left(C/W + 0{,}5\right), \qquad (6.11)$$

Depending on the material quality the next values of coefficients can be used:

Materials	A	A_1
High quality	0,65	0,45
Ordinary quality	0,6	0,4
Satisfactory quality	0,55	0,37

Water–cement ratio should be limited at the action of salt and fresh water on structures and also in other cases, when the concrete density is specified (table 6.9).

Table 6.9

The W/C limitations at the action of salt and fresh water

Condition of exposure	W/C for the non-massive concrete structures		W/C for the external zone of massive concrete structures	
	Salt water	Fresh water	Salt water	Fresh water
Area of variable water level a climatic conditions:				
Especially severe	0,42	0,47	0,45	0,48
Severe	0,45	0,50	0,47	0,52
Mild	0,50	0,55	0,55	0,56
Parts of structures which are constantly under water				
pressure	0,55	0,58	0,56	0,58
non-pressure	0,6	0,62	0,62	0,62

For concrete of ordinary density W/C as rule is can be no more than 0.6; high dense – no more than 0.55 and for specially dense concrete – no more than 0.45.

6.26. Розрахунок витрат основних компонентів бетонної суміші
Calculation of main components content in the concrete mixture

Після визначення водоцементного (цементно-водного) відношення знаходять необхідну кількість води для досягнення заданої рухомості або жорсткості бетонної суміші. При цьому, як правило, використовують графічні (рис. 6.5) або табличні дані з врахуванням поправок на вид цементу та крупного заповнювача, а також на водопотребу піску.

Знаючи витрати води та водоцементне відношення, можна визначити витрату цементу:

$$Ц = В/(В/Ц) \text{ або } Ц = В\cdot(Ц/В)\ . \qquad (6.12)$$

Для отримання нерозшарованої бетонної суміші витрата цементу повинна бути не нижчою від деяких мінімальних значень. Для неармованого бетону мінімальна типова норма витрати цементу приймається не менше 200 кг/м^3. Допускається зниження витрати цементу до 150 кг/м^3 при використанні як мінеральної добавки золи ТЕС.Для забезпечення мінімальної витрати в'яжучого ефективно вводити і інші дисперсні мінеральні добавки.

Витрати піску і крупного заповнювача знаходять шляхом розв'язання системи двох рівнянь:

Національний університет водного господарства та природокористування

$$\begin{cases} \dfrac{Ц}{\rho_ц} + \dfrac{П}{\rho_П} + \dfrac{Щ}{\rho_Щ} = 1000 \\ \dfrac{Ц}{\rho_Ц} + \dfrac{П}{\rho_П} + B = \alpha V^n_Щ \dfrac{Щ}{\rho_{н.щ}} \end{cases}, \tag{6.13}$$

де *Ц, П, Щ, В* – витрати відповідно цементу, піску, щебеню (гравію) та води; $\rho_Ц$, $\rho_П$, $\rho_Щ$ – густини відповідно цементу, піску та крупного заповнювача; $\rho_{н.щ}$ – насипна густина крупного заповнювача; $V^n_Щ$ – пустотність крупного заповнювача $V^n_щ = (\rho_щ - \rho_{н.щ})/\rho_щ$; α – коефіцієнт розсунення зерен крупного заповнювача цементно-піщаним розчином.

Коефіцієнт розсунення α характеризує надлишок розчину для заповнення пустот в крупному заповнювачі і залежить для пластичних бетонних сумішей від витрати цементу, водоцементного відношення та водопотреби піску (табл. 6.9).

Таблиця 6.9

Коефіцієнт розсуву α для пластичних бетонних сумішей

Витрата цементу, кг/м^3	Значення α при В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	—	—	1,26	1,32	1,38
300	—	1,3	1,36	1,42	—
350	1,32	1,38	1,44	—	—
400	1,4	1,45	—	—	—

Примітки: 1. Таблицю складено для пісків з водопотребою $В_п$ = 7 %. При збільшенні $В_п$ на кожний процент α зменшується на 0,03, а при зменшенні $В_п$ зростає відповідно на 0,03.

2. Для жорстких бетонних сумішей (Ц < 400 кг/м^3) α = 1,05...1,15.

Перше рівняння в системі (6.13) складено виходячи з припущення, що 1 м^3 бетонної суміші (1000 л) дорівнює сумі абсолютних об'ємів чотирьох компонентів. З другого рівняння витікає, що об'єм цементно-піщаного розчину в бетоні повинен відповідати об'єму пустот між зернами крупного заповнювача з врахуванням певного коефіцієнту розсуву.

При розв'язанні системи рівнянь (6.13) можна отримати розрахункові формули для визначення витрати щебню (гравію) і піску:

$$Щ = \frac{1000}{V^n_Щ \dfrac{\alpha}{\rho_{н.щ}} + \dfrac{1}{\rho_Щ}}, \tag{6.14}$$

$$П = \left[1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_ц} + \frac{Щ}{\rho_щ} + B\right)\right]\rho_п \ . \tag{6.15}$$

After selecting the water-cement (cement – water)ratio, the required amount of water can be determined to achieve the specified slump or stiffness of concrete mixture. Usually for water content determination graphic (fig. 6.5) or tabular data is used, taking into account the influence of the cement type and coarse aggregate and also the water demand of sand.

If the content of water and water-cement ratio are known, it is possible to define the cement content (C) as follows:

$$C = W/(W/C) \text{ or } C = W \cdot (C/W). \tag{6.12}$$

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The cement content should be not less than some minimum values to prepare the homogeneous concrete mixture. The minimum sample rate of cement content is accepted to be not less than 200 kg/m^3 for non-reinforced concrete. The reduction of cement content is assumed to 150 kg/m^3 for the use of fly ash additive. It is effective to add also other dispersible mineral additives to provide the minimal binder content.

The contents of sand and coarse aggregate can be found by solving the following system of two equations:

$$\begin{cases} \dfrac{C}{\rho_{cem}} + \dfrac{S}{\rho_s} + \dfrac{C.S}{\rho_{c.s}} + W = 1000 \\ \dfrac{C}{\rho_{cem}} + \dfrac{S}{\rho_s} + W = \alpha V_{c.s}^{v} \dfrac{C.S}{\rho_{c.s}^{b}} \end{cases} \tag{6.13}$$

where: *C, S, C.S, W* – accordingly contents of cement, sand, crushed stone (gravel) and water; ρ_{cem}, ρ_s, $\rho_{c.s}$ – absolute densities of cement, sand and coarse aggregate; $\rho_{c.s}^{b}$ –bulk density of the coarse aggregate; $V_{c,s}^{v}$ – voidage of the crushed stone (gravel) $V_{c.s}^{v} = (\rho_{c,s} - \rho_{c,s}^{b}) / \rho_{c.s}$; α – coefficient of the coarse aggregate grains extendable by the cement-sand mortar.

Coefficient α characterizes the mortar surplus for filling the voids between the coarse aggregate grains and for plastic concrete mixes depends on the cement content, water-cement ratio and water demand of the sand (table 6.9).

Table 6.9

Coefficient α for plastic concrete mixes

Cement	Value of α depending on W/C				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	—	—	1,26	1,32	1,38
300	—	1,3	1,36	1,42	—
350	1,32	1,38	1,44	—	—
400	1,4	1,45	—	—	—

Notes: 1. The values given in table are true for sands with water demand of 7 %. By increasing the sand water demand for every percent α diminishes by 0.03, and by diminishing the sand water demand increases accordingly by 0,03. 2. For non-plastic (stiff) concrete mixture (C < 400 kg/m^3) α = 1.05...1.15.

The first equation in system (6.13) state that 1 m^3 of concrete mixture (1000 litres) equals the sum of the absolute volumes of four components (cement, sand, crushed stone or gravel and water). From the second equation it follows that the volume of cement – sand mortar in a concrete should fill the voidage between grains of coarse aggregate taking into account the specific coefficient of the extenable.

The calculation formulae for determination of crushed stone (gravel) and sand contents can be obtained by solving the system of two equations (6.13):

$$C.S = \frac{1000}{V_{c.s}^{v} \dfrac{\alpha}{\rho_{c.s}^{b}} + \dfrac{1}{\rho_{c.s}}}, \tag{6.14}$$

$$S = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_{cem}} + \frac{C.S}{\rho_{c.s}} + W \right) \right] \rho_s. \tag{6.15}$$

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.27. Дрібнозернисті та крупнопористі бетони
Fine grain and macroporous concrete

Поряд із звичайними крупнозернистими бетонами широко застосовуються *дрібнозернисті бетони* з максимальною крупністю заповнювачів не більше 10 мм. Основним різновидом дрібнозернистих бетонів *є піщаний бетон*.

Високі значення питомої поверхні заповнювачів і в деяких випадках міжзернової пустотності викликають у дрібнозернистих бетонів потребу у великій витраті цементного тіста.

Дрібнозернисті бетони мають одноріднішу будову, ніж крупнозернисті і більшу міцність на розтяг. На якісних показниках дрібнозернистого бетону суттєво відбивається зміна В/Ц, зерновий склад, форма та інші особливості піску. Зниження витрати цементу на отримання дрібнозернистих бетонів досягається покращенням зернового складу дрібного заповнювача, наприклад, за рахунок введення укрупнюючих добавок, використанням золи-винесення та інших ефективних наповнювачів та пластифікаторів. Вони використовуються для різноманітних тонкостінних конструкцій, влаштування покрить доріг тощо.

При армуванні дрібнозернистого бетону з максимальною крупністю 2,5...3 мм тканими металевими сітками отримують *армоцемент* – матеріал з високою несучою здатністю, який використовується в тонкостінних просторових конструкціях складної конфігурації.

При відсутності в складі бетонної суміші піску та обмеженій витраті цементу, достатній лише для обволікання зерен крупного заповнювача, отримують *крупнопористий бетон*. В такому безпіщаному бетоні середня густина знижується до 1500...2000 кг/м^3 при відповідному зменшенні теплопровідності до 0,64...0,93 Вт/м°С. Пориста структура безпіщаного бетону веде до зниження міцності. Класи цього бетону за міцністю на стиск В3,5...В7,5. Властивості крупнопористого бетону дозволяють застосовувати його як стіновий матеріал.

Задовільні фільтраційні характеристики крупнопористого бетону сприяють його використанню для дренажів та фільтрів, як більш раціонального та економічного, порівняно з іншими матеріалами.

Along with ordinary coarse-grained concretes are wide used the *fine–grain concretes* with maximum aggregate coarseness in construction not exceeding 10 mm. The basic and most common variety of fine grain concretes is the *sand concrete*.

High values of specific surface of aggregates and, in some cases, intergrain air space cause necessity in the increased cement paste content in the fine grain concretes.

Fine-grain concrete has more homogeneous structure and greater tensile strength than coarse grain. The change of W/C, grain composition, form and other features of sand influence substantially the quality indexes of fine grain concrete. The reduction of the cement content for the obtaining of fine grain concretes is arrived at by the improvement of the aggregate grading, for example, due to introduction of additive- enlargers, fly ash and other effective filling agents and adding of plasticizers. Fine grain concretes are used for the various thin-walled structures, arranging of road pavement.

By reinforcing fine grain concrete having a maximal fineness of 2,5...3 mm with woven metallic nets, *ferrocement* is obtained. It is a material with high bearing strength, which is used in thin-walled spatial constructions with complicated configuration.

The *macroporous concrete* is characterized by a deficiency of sand in the composition of concrete mixture and limited cement content, sufficient only for enveloping of grains of coarse aggregate. In such non-sand concrete, the average density goes down to 1500...2000 kg/m^3 and the thermal conductivity diminishes to 0.64...0.93 W/(mK). The porous structure of non-sand concrete

Національний університет
водного господарства
та природокористування

results in strength decline. The compressive strength of such concrete at 28 days ranges between 5...10 MPa. The properties of non-sand concrete allow applying it as a walling material.

Non-sand concrete possess sufficient filtrational properties to warrant its use for drainages and filters as a more rational and economic option compared with the other material.

6.28. Легкі бетони на пористих заповнювачах
Lightweight concrete on porous aggregates

Легкі бетони – бетони із середньою густиною, що не перевищує 2000 кг/м^3. За призначенням легкі бетони поділяють на *теплоізоляційні*, *конструкційно-теплоізоляційні* і *конструкційні* (табл.6.10). Розрізняють також спеціальні види легких бетонів відповідно до умов їхньої експлуатації – жаростійкі, декоративні, хімічно стійкі та ін.

Найбільше застосування в будівництві одержали конструкційно-теплоізоляційні легкі бетони. Вони використовуються для виготовлення стінових панелей, плит перекриттів та інших конструкцій у житлово-цивільному і промисловому будівництві.

Таблиця 6.10

Технічна характеристика легких бетонів

Бетони	Густина, кг/м^3	Міцність при стиску, МПа	Теплопровідність, Вт/(м·°С)	Призначення
Теплоізоляційні	300...500	0,5...2,5	0,12...0,24	Для теплової ізоляції
Конструкційно-теплоізоляційні	500...1400	2,5...10	0,17...0,40	Для огороджувальних конструкцій будівель
Конструкційні	1400...1800	15...50	0,58...0,4	Для несучих конструкцій будівель і споруд

Характерною особливістю легких бетонів є підвищена міцність на розтяг. Цьому сприяє розвинута поверхня заповнювачів, що викликає добре зчеплення з цементним каменем. Відношення міцності на розтяг до міцності на стиск для важких бетонів становить 0,05...0,1, а для легких – 0,06...0,17.

Одним із критеріїв ефективності легких бетонів є *коефіцієнт конструктивної якості* - відношення границі міцності на стиск до його середньої густини. За густиною в сухому стані в кг/м^3 для легких бетонів встановлені марки від Д200 до Д2000 (з градацією через кожні 100 кг/м^3).

Для легких бетонів характерна більша деформативність, ніж для важких. Модуль пружності, наприклад, керамзитобетону на 20...50 % менший модуля пружності важкого бетону того ж класу. Модуль пружності зменшується тим більше, чим деформативнішим є заповнювач та вищим його вміст.

Гранична розтяжність легкого бетону в 4...5 разів вища, ніж важкого, і досягає 0,03...0,4 мм/м. Підвищена розтяжність та низький модуль пружності легкого бетону сприяють його тріщиностійкості та дозволяють ефективно використовувати його в різних спорудах.

Загальна усадка легких бетонів на 15...30 % вище усадки важких бетонів. Усадкові деформації знижуються при зменшенні водовмісту та витрати цементу.

Lightweight concretes – concretes with an average density not exceeding 2000 kg / m^3. Lightweight concrete are divided for the destination into thermal insulation, constructive-insulating and constructive (tabl.6.10). There are also special types of lightweight concrete depending of the terms of their operation - refractory, decorative, chemical-resistant and so on.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Table 6.10

Technical characteristics of lightweight concrete

Concrete	Density, kg / m^3	Compressive strength, MPa	Thermal conductivity, W / (m ° C)	Appointment
Thermal insulation	300...500	0,5...2,5	0,12...0,24	For insulation
Constructive-insulating	500...1400	2,5...10	0,17...0,40	For walling buildings
Constructive	1400...1800	15...50	0,58...0,4	For load-bearing structures of buildings

The most widely using in construction, received a constructive- insulating lightweight concrete. They are used to manufacture wall panels, floor slabs and other structures in housing, civil and industrial construction.

An enhanced tensile strength is the characteristic feature of light-weight concrete. The developed surface of aggregates promotes good adhesion with the cement stone. The correlation between tensile and compressive strength for heavy-weight concrete is 0.05...0.1 and for lightweight is 0.06...0.17.

One important performance criterion of light-weight concrete is the *coefficient of structural quality* – the correlation between the ultimate concrete strength and its average density. The density in the dry condition kg/m^3 for light-weight concrete grades are set from 200 to 2000 (with gradation through each 200 kg/m).

Light-weight concrete is characterized by greater deformability than heavy-weight concrete. The modulus of elasticity, for example, of claydite concrete is about 20...50 % smaller than the modulus of elasticity of heavy-weight concrete of the same class. As the modulus of elasticity diminishes the more deformative is the aggregate and the higher its content is.

The maximum extensibility of light-weight concrete is 4...5 times higher than for heavy-weight concrete, and is about 0,03...0,4 mm/m. The increased extensibility and low modulus of elasticity of light-weight concrete promotes crack-resistance and allows its effective use in different buildings.

General shrinkage of light-weight concrete is on15...30 % higher than the shrinkage of heavy-weight concrete. The shrinking deformations reduce with diminishing water and cement contents.

6.29. Ніздрюваті бетони
Cellular concretes

Різновидом легких бетонів є *ніздрюваті бетони* із значною кількістю (до 85 % від загального об'єму) штучно утворених пор у вигляді комірок, заповнених повітрям або іншим газом.

Розрізняють *пінобетони*, які отримують змішуванням в'яжучого, води та кремнеземистого компоненту з піною та *газобетони*, які отримують змішуванням бетонної суміші з газоутворювачем (алюмінійовою пудрою, перекисом водню).

В'яжучими для виробництва ніздрюватих бетонів можуть бути цементи, вапно, суміш вапна з цементом або золою та з меленим шлаком. Для ніздрюватих бетонів ефективно застосовувати низькоалюмінатні цементи та вапно з високою активністю (вміст CaO > 80 %).

При використанні вапняно-кремнеземистих в'яжучих ніздрюваті бетони називають *газо-* або *піносилікатами*.

Кремнеземистим компонентом служить, як правило, мелений пісок або зола ТЕС. Мелений пісок повинен містити не менше 90 % SiO_2. Порівняно з меленим піском зола має вищу гідратаційну здатність, не потребує витрат на подрібнення і дозволяє отримати бетон

Національний університет водного господарства та природокористування

меншої середньої густини. Зола повинна містити не менше 50 % скловидних та сплавлених частинок та не більше 5 % незгорілих частинок вугілля.

Для прискорення твердіння ніздрюватих бетонів застосовують автоклавний або безавтоклавний способи – автоклавах, в пропарювальних камерах, спеціальних формах з електропрогрівом. При автоклавному способі твердіння з тиском пари 0,8... 1,2 МПа забезпечуються більш високі механічні властивості бетонів (рис.6.15), так як прискорюється взаємодія в'яжучого з кремнеземистим компонентом. Твердіння в автоклавах дозволяє широко використовувати низькомарочні в'яжучі, в тому числі на основі шлакозольних матеріалів, скорочуються строки тепловологісної обробки до 10...12 годин, підвищується морозо- та тріщиностійкість ніздрюватих бетонів.

Ніздрюваті бетони, як і легкі бетони на пористих заповнювачах поділяються на теплоізоляційні ($\rho_0 \leq 500$ кг/м^3), конструктивно-теплоізоляційні (900 кг/м$^3 \geq \rho_0 > 500$ кг/м^3) і конструктивні (1200 кг/м$^3 \geq \rho_0 > 900$ кг/м^3). Ніздрюваті бетони мають міцність до 20МПа та морозостійкість в межах 15... 100 циклів заморожування та відтавання.

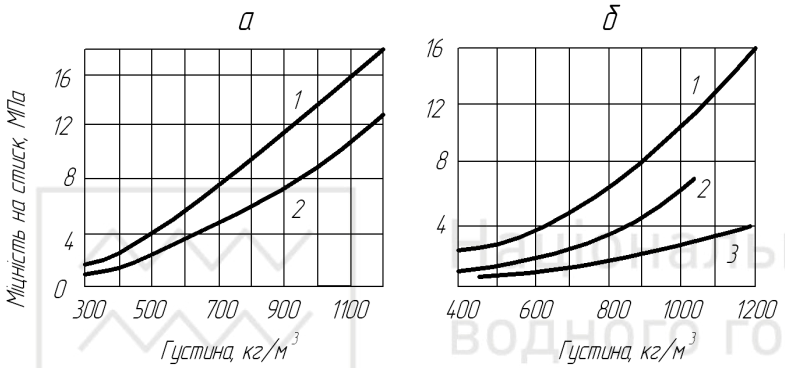

Рис. 6.15. Залежніть міцності ніздрюватих бетонів від їх густини: а – автоклавний пінобетон; 1– активність цементу 40 МПа; 2- активність цементу 30 МПа;
b – газобетон; 1 – автоклавний; 2- пропарений; 3 – нормального тверднення.
Fig. 6.15. Relationship between strength of cellular concretes and density: a – autoclave foam concrete; 1– cement strength 40 MPa; 2 – cement strength 30 MPa;
b - gas – concrete; 1 – autoclave; 2- steam-cured; 3 – normal hardened.

Для підвищення міцності ніздрюватих бетонів підбирають найбільш щільний зерновий склад кремнеземистого компоненту, застосовують швидкісні змішувачі, дисперсне армування виробів волокнистими добавками. Властивості ніздрюватих бетонів суттєво покращуються при вібраційній дії в процесі приготування суміші та при формуванні, що сприяє інтенсифікації газовиділення, утворенню дрібнопористої однорідної структури.

Використання конструкцій з ніздрюватих бетонів у вигляді панелей та дрібних стінових блоків сприяє зниженню вартості, трудоєм-ності та матеріалоємності будівництва при зведенні житлових та промислових споруд. При цьому загальна маса будинків знижується на 25...30 %.

Variety of light-weight concrete are *cellular concrete* with a large amount (up to 85 % of the total volume) of artificially formed pores as meshes, filled with air or other gas.

Foam-concrete, obtained by mixing a binder, water and silica component with foam and *gas-concrete*, obtained by mixing similar mixture with a blowing substances (aluminum powder, hydrogen peroxide)are distinguished.

Cements, lime, mixtures of lime with cement and ash or ground slag can be used as binders for the production of cellular concretes. It is effective to apply low-alumina cements and lime with high activity for cellular concretes (content of CaO > 80 %).

If lime-silica binders are used, such cellular concretes are called *gas*-or *foam silicates*.

Ground sand or fly ash from thermal power-stations are used as silica component, as a rule. The ground sand should contain not less than 90 % SiO_2. Comparatively with the ground sand, ash has higher hydration ability does not require expenses for grinding and results in the production of concrete with less average density. In general, fly–ash contains not less than 50 % of the glassy and alloyed particles and not more than 5 % non-fired particles of coal.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

For the acceleration of cellular concretes hardening, methods of thermal treatment in the autoclaves, steam-curing chambers, special moulds with electric curing are applied. Much higher mechanical properties of concrete (fig. 6.15) are achieved by the autoclave method of hardening, involving the application of a vapor pressure of 0.8...1.2 MPa. Autoclave hardening allows a wider use of low grade binders, such as those based on slag-ash materials. The duration of the thermal treatment are reduced to 10...12 hours, and properties such as frost– and crack–resistance of cellular concretes become highly improved.

Cellular concretes, are categorized as lightweight concrete with porous aggregates. They are divided into insulating ($\rho_0 \leq 500$ kg/m^3), constructively insulating (900 kg/m$^3 \geq \rho_0 > 500$ kg/m^3) and constructive (1200 kg/m$^3 \geq \rho_0 > 900$ kg/m^3). Cellular concrete has an ultimate compressive strength up to 20 MPa and frost resistance in the range of 15...100 of freezing and thawing cycles.

Silica component with dense grain composition, speed mixers, dispersible reinforcement with fibrous additives are used to increase the density and strength of cellular concretes. The properties of cellular concretes are substantially improved by the vibration action during preparation of mixtures and forming. Vibration is instrumental for intensification of gas expulsion from the matrix, and the formation of a fine–pored and homogeneous structure.

The use of structures from cellular concrete as panels and fine wall blocks promotes of in the reduction of cost, labor expenditures and materials content in the construction of domestic and industrial buildings. Thus the general mass of houses, is reduced by 25...30 %.

6.30. Гідротехнічний бетон
Hydraulic concrete

Гідротехнічний бетон застосовують для виготовлення конструкцій та зведення споруд, які постійно або періодично перебувають у воді. Залежно від розташування гідротехнічного бетону в споруді по відношенню до рівня води він розділяється на підводний (перебуває у воді постійно), зон змінного рівня води, надводний. Бетон в підземних гідротехнічних спорудах розглядають як підводний. Гідротехнічні бетони поділяються також на масивні та немасивні.

Масивні бетони використовують переважно при будівництві гребель. Вони потребують спеціальних заходів для регулювання температурних напруг, що виникають при виділенні теплоти в бетоні.

Вимоги до гідротехнічних бетонів ставляться диференційовано з урахуванням зонального розподілу бетону в конструкціях (табл. 6.10). Особливо жорстким є комплекс вимог для зони змінного рівня води та надводних зон зовнішніх частин масивних споруд.

Таблиця 6.10

Вимоги до гідротехнічного бетону за зонами

Вимоги, що висуваються до бетону	Масивні споруди						Немасивні споруди		
	Зовнішня зона			Внутрішня зона					
	Зони відносного рівня води								
	Підводна	Змінного рівня	Надводна	Підводна	Змінного рівня	Надводна	Підводна	Змінного рівня	Надводна
Водостійкість	+	+	+	+	+	—	+	+	+
Водонепроникність	+	+	+	+	+	—	+	+	+
Морозостійкість	—	+	+	—	—	—	—	+	+
Низьке тепловиділення	+	+	+	+	+	+	—	—	—

Примітка: "+" означає, наявність відповідної вимоги.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Для бетону сучасних гідротехнічних споруд основними показниками міцності є значення міцності на стиск та розтяг. Границя міцності бетону визначається у віці 28, 60 або 180 діб залежно від строків будівництва. Для забезпечення необхідної тріщиностійкості нормуються показники граничної розтяжності, усадки та набухання бетону. Гранична розтяжність гідротехнічного бетону на зразках 180-добового віку повинна бути не меншою $5 \cdot 10^{-5}$ для бетону внутрішніх зон і не меншою $7 \cdot 10^{-5}$ для бетону зовнішніх зон споруди. Вона покращується з підвищенням міцності бетону, застосуванням цементів без мінеральних добавок, введенням ПАР та полімерів до бетонної суміші.

Лінійна усадка зразків гідротехнічного бетону при відносній вологості 60% та температурі 18°С у віці 28 діб не повинна перевищувати 0,3 мм/м, а у віці 180 діб - 0,7 мм/м порівняно з їх початковою довжиною.

Для гідротехнічних бетонів найважливішими властивостями, що впливають на довговічність, є морозостійкість, водонепроникність, стійкість до хімічної корозії у водному середовищі.

На гідротехнічні бетонні споруди також агресивно впливають образивна дія наносів, зважених у воді, а також кавітація.

Hydraulic concrete is the type on concrete, used for construction of structures, which constantly or periodically are in contact with water. Depending on the location of the hydraulic concrete in structures and on the waterline, the concrete can be categorized as: underwater (stays in the water constantly), variable water level, above-water. The concrete in underground hydraulic structures is classified as underwater. The hydraulic concretes are also divided into massive and non-massive.

Massive concretes are mainly used for construction of dams. Such structures need special measures for adjustment of temperature stresses that arise during heat evolution concrete.

Requirements for hydraulic concretes are differentially specified taking into account the zonal location of concrete in structures (table 6.10). This complex requirement for the concrete of variable water level and external surface of massive structures is particularly strict.

Table 6.10

The requirements for hydraulic concrete according to location

Requirements for the concrete	Massive structures						Non-massive structures		
	External area			Internal area					
	Areas of relative water level								
	Under water	Variable leve	Above-water	Under water	Variable level	Above-water	Under water	Variable level	Above-water
Waterproofness	+	+	+	+	+	—	+	+	+
Water resistance	+	+	+	+	+	—	+	+	+
Frost resistance	—	+	+	—	—	—	—	+	+
Low heat generation	+	+	+	+	+	+	—	—	—

Compressive and tensile strength are the basic indexes of strength for concrete, used on modern hydraulic structures. The ultimate strength of concrete is determined at the age of 28, 60 or 180 days depending on the terms of construction. The indexes of maximum tensile strength, shrinkage and swelling of concrete are specified to provide the required crack-resistance. The maximum tensility of hydraulic concrete, obtained for specimens after 180-day's, must be not less than $5 \cdot 10^{-5}$ for concrete in internal areas and not less than $7 \cdot 10^{-5}$ for the concrete on external areas of buildings. It is improved with the increasing of concrete strength, application of cements without mineral additives, by introduction of surface-active additives and polymers to the concrete mixture.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Linear shrinkage of hydraulic concrete at a relative humidity of 60% and 18°C, at 28 days should not exceed 0.3 mm/m. At 180 days shrinkage should not exceed 0.7 mm/m comparatively with their initial length.

Frost resistance, water impermeability and resistance to chemical corrosion in a water environment are the major properties which influence the durability of hydraulic concretes. The abrasive action of suspended sediments in water and cavitation also aggressively influence the performance of hydraulic concrete.

6.31. Дорожній бетон
Road concrete

Дорожній бетон відрізняється від звичайного високою міцністю на розтяг при згині, підвищеною деформативністю, морозостійкістю. Залежно від призначення дорожній бетон поділяють на бетон для одно- та двошарових покрить, а також для основ вдосконалених покрить. Границя міцності на стиск дорожнього бетону знаходиться в межах 15...50 МПа, на розтяг при згині – 1.5...5.5.МПа.

Вимоги до дорожнього бетону зумовлені складними умовами його служби в покриттях: діями статичних та динамічних транспортних навантажень, змінної вологості та температури тощо.

Міцність та морозостійкість бетону призначають залежно від категорії дороги, шару покриття та кліматичних умов служби.

Для дорожніх бетонів застосовують спеціальний дорожній портландцемент, а також пластифікований, гідрофобізований і сульфатостійкі цементи. Вміст трьохкальцієвого алюмінату в цементі допускається не більше 10 %. Початок тужавлення цементу повинен наставати не раніше ніж через 2 години після його замішування. Для підвищення якості бетонної суміші та стійкості бетону проти сумісної агресивної дії розчинів хлористих солей та морозу до бетонної суміші під час приготування вводять поверхнево-активні добавки.

При випробуванні щебеню та гравію поряд з визначенням міцності матеріал перевіряють на стираність в барабані.

В умовах дорожнього будівництва високу якість бетонних покрить забезпечують правильним доглядом за твердничим бетоном. При цьому ефективно застосування різних плівкоутворюючих матеріалів.

Road concrete differs from ordinary one by the high bending tensile and compressive strength, enhanced deformability and frost resistance. Depending on the destination road concrete is divided into concrete for one- and two-layer pavements and also for bases of improved pavements. The ultimate compressive strength of road concrete is in the range of 15…50 MPa and bending tensile strength is 1.5…5.5 MPa.

The requirements for road concrete are predefined by the severity of its service conditions: by the actions of static and dynamic transport loadings, and by the variability of humidity, temperature etc.

The strength and frost resistance of concrete are specified depending on the category of road, layer of pavement and climatic conditions in service.

Special road portland cement, as well as plasticized, hydrofobic and sulphate-resistant cements are applied in the manufacture of road concrete. The content of the tricalcium aluminate in the used cement is limited to not more than 10 %. The initial setting time of cement should not earlier than 2 hours. Surface-active substances can be added to improve the properties of the concrete mixtures and resistance of concrete against the simultaneous aggressive action of chloride salt solutions and frost action.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

In addition to strength determination, the abrasion of the used crushed stone and gravel are usually tested and checked. In road construction the high quality of concrete pavements is insured by proper curing of the concrete and by application of different film-forming materials.

6.32. Литі і самоущільнювальні бетони
Cast and self-compacting concretes

Литі бетони характеризуються рухомістю сумішей за осадкою конуса 15...22 см. Для забезпечення зв'язності литої бетонної суміші рекомендується вживати спеціальні заходи, що підвищують водоутримувальну здатність: збільшувати вміст піску в бетонній суміші до 40...50% від маси заповнювача; обмежувати значення В/Ц для запобігання водовідділення і розшарування цементного тіста; застосовувати суперпластифікатори, повітрявтягувальні або спеціальні водоутримувальні добавки (бентонітові глини, кремнегель); використовувати цементи з достатньою водоутримувальною здатністю.

Досить діючим прийомом є введення в литі бетонні суміші *золи-виносу* ТЕС. Використання золи-виносу дозволяє одержати литі бетони при такій же витраті цементу, що і при виробництві помірно рухливих сумішей.

Ефективність використання литих бетонних сумішей у будівництві значно підвищується із застосуванням суперпластифікаторів. Застосування таких добавок дозволяє одержати литі бетони зі зниженою витратою води і забезпечити необхідну водоутримувальну здатність, швидке тверднення, збереження рухливості протягом 40...50 хв. і більше.

Високотехнологічним різновидом бетонів є *самоущільнювані бетони*, тобто бетони на основі сумішей, здатних без вібрації заповнювати форми та опалубку при підвищеній однорідності і відсутності схильності до утворення мікротріщин. Такі бетонні суміші характеризуються рухомістю за осадкою конуса більше 22 см. Виготовлення самоущільнюваних бетонів можливе при застосуванні найбільш ефективних суперпластифікаторів.

Головні переваги литих і самоущільнюваних бетонів полягають у можливості з їх допомогою знизити енерговитрати та витрати праці, поліпшити умови праці при виконанні бетонних робіт внаслідок зниження шумових і вібраційних впливів.

Cast concretes made from mixtures with slump 15…22 sm. To ensure the homogenity of cast concrete mixtures special measures are normally recommended to increase water-retaining ability: increasing sand content in concrete mixture up to 40…50% by aggregate mass; limitation water-cement ratio to prevent water bleeding and segregation of cement paste; applying superplasticizers, air-entraining or special water-retaining admixtures (bentonitic clays, silica gel); using cements with sufficient water-retaining ability.

Introduction of thermal power-station fly ash in the production of cast concrete mixtures is a comparatively effective mean. Application of fly ash allows obtaining cast concrete at the same cement content and as in a moderately flowable mixtures.

Effectiveness of cast concrete mixtures increases significantly when superplasticizers are applied. Application of such admixtures permits the production of cast concrete with reduced water content and provides the required water-retaining ability, rapid hardening and required flowability for a period of 40…50 minutes and more.

Self-compacting concrete (SCC), is a high-technology type of concrete, based on mixtures, able to fill the forms and frameworks without need for any vibration resulting in enhanced uniformity and absence of microcracks. Such concrete mixtures are characterized by the slump more than 22 cm. Production of self-compacting concrete is possible by modern and very active superplasticizers addition.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The main advantages of cast and self-compacting concrete consists in the possibility to reduce energy and labor contents, and to improve work conditions at concrete works by decreasing of noise and vibration influences.

6.33. Високоміцні бетони
High strength concretes

Високоміцні бетони – бетони з міцністю при стиску в 28–добовому віці 70…150 МПа.

Досягнення високої міцності важкого бетону на високоміцних заповнювачах можливо підвищенням щільності і міцності цементного каменю (когезійний фактор) і міцності контактної зони (адгезійний фактор). Основним напрямком досягнення високої міцності бетону є забезпечення гранично низьких водоцементних значень при досить високому ступені гідратації цементу і необхідному ущільненні бетонної суміші. При низьких значеннях В/Ц позитивно впливає на міцність бетону досягнення оптимального співвідношення між вмістом щебеню і цементно-піщаного розчину.

Традиційними способами зменшення В/Ц при постійній витраті цементу є зниження витрати води і перехід на жорсткі суміші, застосування пластифікуючих добавок, підвищення чистоти заповнювачів, перехід на заповнювачі з меншою питомою поверхнею.

Радикальним засобом зменшення В/Ц без істотного погіршення легкоукладальності бетонної суміші є введення добавок суперпластифікаторів (СП). На відміну від звичайних пластифікаторів, що знижують витрату води до 10...15%, СП дозволяють скорочувати витрату води на 20...30% і більше та відповідно збільшувати міцність бетонів (рис.6.16). Регулюванням кількості СП і В/Ц можуть бути отримані бетони з високою ранньою міцністю. При досить високій дозі добавки вона може зростати в 2...3 рази.

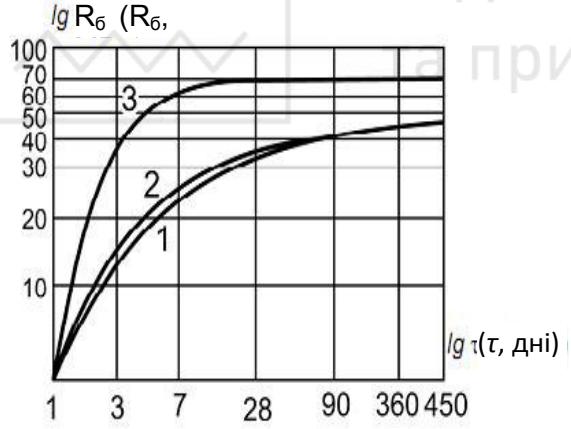

Рис. 6.16. Кінетика тверднення бетону з нафталінсульфокіс- формальдегіду суперпластифікатора (СП):
1 - без СП; 2 - СП при постійному В / Ц; 3 - СП при зменшеному В / Ц
Fig. 6.16. Kinetics of hardening of concrete with naphthalene- formaldehyde superplasticizer (SP):
1 – without SP; 2 – with SP at constant W/C; 3 – with SP at reduced W/C

Міцність бетону практично лінійно змінюється зі збільшенням активності цементу. Високоміцні бетони класів В50...В80 можна виготовляти при помірних В/Ц, застосовуючи високоміцні цементи марок М700...М800. В промисловості є досвід виготовлення таких цементів в основному за рахунок збільшення вмісту аліту в клінкері до 60...65% і підвищенні питомої поверхні цементу до 4000...4500 см^2/г. Бетони на зазначених цементах набирають через добу тверднення в природних умовах 20...40% і через три доби 50...70% марочної міцності. До ефективних в'яжучих для високоміцних бетонів відносяться *в'яжучі низької водопотреби* (ВНВ).

У композиції із суперпластифікаторами ефективне застосування високодисперсних кремнеземистих матеріалів (мікрокремнеземистих добавок).

До високоміцних бетонів можна віднести і т.зв. *високоякісні бетони* (High Performance Concrete), які мають міцність при стиску у віці 2 діб 30...50 МПа, 28 діб – 60...150 МПа, морозостійкість – F600 і більше, водонепроникність – W12 і вище, водопоглинання – менше 1...2%, стиранність не більше 0,3...0,4 г/см^2, регульовані показники деформативності.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Високоміцні бетони застосовують для несучих конструкцій монолітних каркасів висотних будівель, мостів, платформ, віброгідропресованих труб та ін.

High-strength concrete – concrete with compressive strength at 28 days age 70 ... 150 MPa.

Achievements high strength heavy concrete on high strength aggregates may be increasing density and strength of cement stone(cohesive factor) and strength of the contact zone (adhesive factor). The main direction of achieving high – strength concrete is to provide an extremely low water-cement ratio at a sufficiently high degree of hydration of cement and the required compaction of the concrete mixture. At low values of W/C a positive effect on the strength of the concrete has the optimum ratio between the content of crush stone and cement-sand mortar.

Conventional methods reduce W/C at a constant content of the cement is are reducing of the water content and transition to stiff mixtures, applying plasticizers, increasing the purity of fillers, the transition to aggregates with the smaller specific surface area.

Radical method of reducing W/C without significant deterioration of workability of the concrete mixture is to introduce additives superplasticizer (SP). Unlike conventional plasticizers, which reduce water consumption by up to 10 ... 15%, the SP give possibility to reduce water consumption by 20 ... 30% or more and, accordingly, increase the strength of concrete (fig. 6.16). At regutation the amount of SP and W/C can be obtained concrete with high early strength. At a sufficiently high dose of the additive it can increase in 2 ... 3 times.

Concrete strength varies almost linearly with increasing cement strength. High-strength concrete with compressive strength 60…100 MPa can be produced at moderate W/C , using high-strength cement. The industry has the experience of producing such cements mainly due to the increase in clinker content alite to 60…65% and increase the specific surface of the cement up to 4000…4500 cm^2/g. Concrete on these cements are gaining after day hardening at natural conditions 20 ... 40%, and after three days of 50 ... 70% 28-day strength. The effective binders for high-strength concrete include *binders with low water consumption*.

High disperse siliceous materials (microsilica additives) effective to use in composition with the superplasticizers.

For high-strength concrete can be attributed *high performance concrete*, which have a compressive strength at the age of 2 days 30…50 MPa, 28 days – 60…150 MPa, frost resistance 600 cycles or more, high water resistance, water absorption less than 1…2% friability no more 0.3…0.4 g/cm^2, deformability adjustable parameters.

6.34. Жаростійкі бетони
Heat-resistant concrete

Для футерування топок, газоходів, димових труб при будівництві теплових електростанцій, в елементах захисних стін, перекриття АЕС та інших конструкцій, що нагріваються, застосовують *жаростійкі бетони*. Звичайний важкий цементний бетон, придатний для виготовлення будівельних конструкцій, що зазнають тривалий вплив температури лише до 200° С.

За гранично допустимою температурою використання жаростійкі бетони поділяються на класи(від 300 до 1800^0 С).

В жаростійких бетонах можуть використовуватися як гідравлічні (портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистий цемент), так і повітряні (каустичний магнезит, рідке скло) мінеральні в'яжучі. Цементний камінь набуває жаротривких властивостей завдяки введенню до нього різних тонкомелених мінеральних добавок, стійких до дії високих температур та зв'язуючих вільний оксид кальцію. Такими добавками служать зола-винесення, доменний, паливний шлаки та ін. (рис 6.17).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

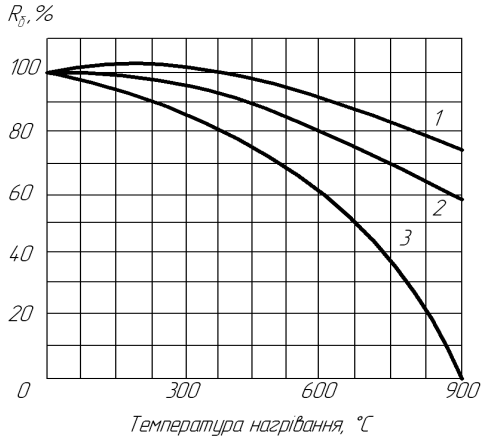

Рис. 6.17. Вплив температури на міцність цементу: 1– портландцемент 70% + трепел 30%; 2– портландцемент 70% + пемза 30%; 3 – портландцемент

Fig. 6.17. Relationship between temperature and cement strength: 1– Portland cement 70% + tripoli powder 30%; 2 – Portland cement 70% + pumice 30%; 3 – Portland cement.

Звичайні кварцевміщуючі заповнювачі зазнають поліморфного перетворення, що може викликати руйнування бетону. Нестійкими до дії високих температур є також карбонатні породи.

В бетонах, що працюють при температурах до 700° С, можуть бути використані заповнювачі з базальту, андезиту, туфів та інших вилитих вулканічних порід, які не містять вільного кварцу. Найбільшого розповсюдження як заповнювач для жаростійких бетонів до 1300° С, має шамот – продукт випалювання вогнетривких глин. Для одержання бетонів вищої вогнетривкості використовують магнезитові, хромітові, корундові та інші заповнювачі.

For the casing of fireboxes, breechings, chimneys at construction of thermal pover plants, in the elements of protective walls, structures of the atomic power plants and other structures, which are heated, *heat-resistant concrete* is applied. Ordinary heavy-weight cement concrete is suitable for making building structures which are exposed with the continuous influence of temperature only to 200°C.

The heat-resistant concretes according to the maximum possible temperature of application (from 300 to 1800^0 C) are divided into classes .

The hydraulic (Portland cement, blastfurnace cement, alumina cement) and non–hydraulic (caustic magnesite, liquid glass) mineral binders can be used in the heat-resistant concrete. Cement stone acquires the heat-resistant properties due to introduction to it of the different fine milled mineral additives, resistant to the action of high temperatures and binding the free calcium oxide. The fly ash, blastfurnace, fuel slags and other can be used as such additives (fig. 6.17).

Ordinary aggregates, which consist of the quartz, have polymorphic transformations, which can cause the destruction of concrete. Unsteady to the action of high temperatures are also carbonate rocks.

Aggregates from basalt, andesite, tuffs and other outpoured effusive rocks which do not contain free quartz can be used in concrete, which work at temperatures to 700°C. Chamotte as a product of fire-clays burning is the most spread as the aggregate for heat-resistant concretes to 1300°C. Magnesite, chromite, corundum and other aggregates are used for the obtaining of concretes with higher heat-resistance.

6.35. Декоративні бетони
Decorative concretes

Декоративні бетони застосовують ддля облицювання будинків і споруд, улаштування підлог. В'яжучими для них можуть служити як білі і кольорові, так і звичайні цементи. У якості в'яжучих застосовують також вапно, гіпс, каустичні магнезит і доломіт та ін. Одержання цементів світлих тонів здійснюють змішуванням звичайного цементу з розбілюючими добавками (крейдою, меленою вапняком, мармуром та ін.).

Заповнювачами бетонів цього виду служать щебінь і пісок, отримані подрібненням декоративних гірських порід. Поряд із щільними, застосовують природні і штучні пористі

Національний університет
водного господарства
та природокористування

матеріали з коефіцієнтом розм'якшення не менш 0,8. Як наповнювачі використовують тонкомелені кварцові піски, маршаліт, кам'яне борошно й ін.

Для одержання світлих лицювальних покриттів в декоративні бетони і розчини уводять вапнякові і доломітові заповнювачі.

Зерновий склад суміші декоративних заповнювачів залежить від бажаної фактури матеріалу. Максимальну крупність заповнювачів вибирають в залежності від товщини конструкцій або лицьового шару, вона може коливатися від 5 до 40 мм. Міцність крупного заповнювача для декоративних бетонів не повинна бути менше 40 МПа, водопоглинання – не більш 4% по масі, морозостійкість його повинна забезпечувати проектну морозостійкість бетону.

Пігменти для кольорових цементів і декоративних бетонів повинні мати високу стійкість до лугів, сонячного світла й атмосферних впливів.

Різновидом кольорових є *мозаїчні бетони*. Їх застосовують для покриття підлог, виготовлення таких будівельних деталей як сходові марші, підвіконня й ін. Мозаїчні суміші виготовляють із застосуванням крихти з твердих порід, здатних до полірування (мармуру, граніту, базальту і т.д.).

Decorative concretes are applied as finishing for walls and other elements of buildings, constructions, and flooring arrangement etc. The binders could be colored or white cements. Binders that can be applied include also ordinary cement as well as, lime, gypsum, caustic magnesite, dolomite etc. Obtaining cements of light color is possible by mixing of ordinary cement with whitening admixtures (chalk, ground limestone, marble, etc.).

Aggregates for concrete of such type are crushed stone and sand, obtained by grinding of decorative rocks. Along with dense materials natural and artificial porous materials are used with softening coefficient more than 0.8. Fine-ground quartz sand, marshalite, stone powder and others are used as fillers.

For obtaining light facing coatings limestone and dolomite aggregates are added to the decorative concrete.

Grain distribution of decorative aggregates mixture depends on the desirable texture of a material. Maximum coarseness of the aggregate is selected depending on the thickness of structure or facing layer, it can vary from 5 to 40 mm. The strength of coarse aggregate for decorative concrete should not be less than 40 MPa, water absorption less than 4% by mass, and its frost resistance should provide frost resistance of concrete.

Pigments for colored cements and decorative concrete should have high alkaline, solar and atmospheric resistance.

The kind of colored concrete is a *mosaic concrete*. It is applied for construction of floors, production of construction elements such as staircases, windowsills and others. Mosaic mixtures are produced by using broken stone able to be polished (marble, granite, basalt, etc.).

6.36. Електротехнічні бетони
Electrotechnical concrete

Електротехнічні бетони – це спеціальні бетони з заданими електричними властивостями. Такі бетони можуть бути використані для отримання виробів різноманітних розмірів і складної форми, здатних сприймати механічні й електричні навантаження. Електротехнічні бетони розділяють на дві групи – ізоляційні і електропровідні.

Електроізоляційні бетони мають високий питомий електричний опір, з малим значенням діелектричних втрат, високою діелектричною проникністю, електричною міцністю.

Електроізоляційні бетони застосовуються для виготовлення струмообмежуючих реакторів, траверс ліній електропередачі й інших високовольтних ізолюючих конструкцій.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Найбільш простим способом отримання бетону з поліпшеними діелектричними властивостями є зменшення його зволожуваності шляхом підвищення щільності. Зі збільшенням витрати цементу в бетоні до певної межі і відповідно об'ємної концентрації цементного каменю знижується й його опір. Для отримання бетонів з поліпшеними діелектричними власти-востями обов'язковою умовою є використання заповнювачів, що мають мінімальну пористість .

Зниження електропровідності бетону в умовах природної вологості досягається введенням гідрофобізуючих і полімерних добавок. Найбільш надійна стабілізація електроізолюючих властивостей бетону забезпечується об'ємним просоченням його у висушеному стані гідроізоляційними матеріалами (рис 6.18).

Електропровідний бетон відрізняється за складом від звичайного наявністю дисперсного провідникового компонента, що повинен мати необхідну електропровідність, температуростійкість, здатність протистояти оксидним процесам при виготовленні і нагріванні. Нагрівальні вироби з електропровідного бетону повинні мати стабільні термомеханічні властивості при температурі до 100...200^{0}С. Використовують різні технології виробництва виробів і конструкцій з електропровідного бетону, що засновані як на пластичному формуванні, так і статичному або динамічному пресуванні жорстких сумішей.

Наявність електропровідного компонента в бетоні визначає можливість його застосування для виготовлення електронагрівачів житлових, цивільних, сільськогосподарських будинків, антистатичних підлог, екранів від електромагнітних випромінювань, захисних екранів від рентгенівського і гамма-випромінювань, катодних заземлювачів.

Electrotechnical concretes are special concretes with specified electrical properties. Such concretes can be used for production of elements of different dimensions and complicated shape, able to carry mechanical and electrical loads. Electrotechnical concretes are divided into two groups – electrical insulating and electricocon-ductive.

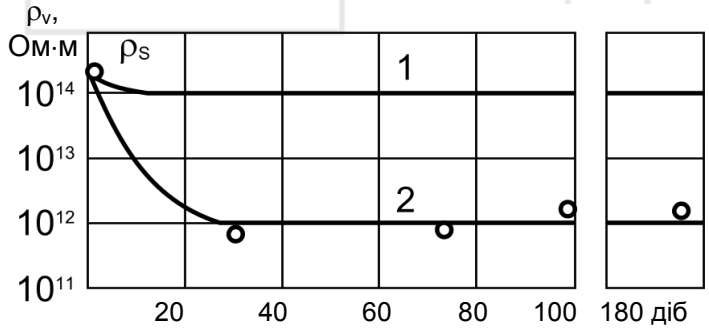

Рис.6.18. Зміна питомого об'ємного електричного опору піщаного бетону, просоченого петролатумом: 1 - повітряно-сухе середовище; 2 – середовище з підвищеною вологістю і температурою
Fig. 6.18. Change of volume electrical resistivity of sand concrete impregnated by petrolatum: 1 – dry air conditions; 2 –raised humidity and temperature.

Electrical insulating concrete has high specific electrical resistance, with low value of dielectric losses, high dielectric permeability, and electrical strength. It is applied for the manufacturing of current-limiting reactors, traverses of power lines and other high-voltage insulating structures.

The simplest method of obtaining concrete with improved dielectric properties is reduction of its humidification by density increasing. When cement content and correspondingly volumetric concentration of cement stone in concrete increase up to certain degree then its electrical resistivity reduces. For obtaining concrete with improved dielectric properties application of aggregates with minimal porosity is a required condition.

Reduction in concrete electroconductance under conditions of natural humidity is reached by introduction of waterproofing and polymer admixtures. The most reliable stabilization of electroinsulating properties of concrete is provided by volumetric impregnation it in dryed state by dampproofing materials(fig.6.18).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Electroconductive concrete differs from the ordinary one by the presence of disperse conducting component that should have required electroconductance, temperature stability, ability to resist the oxide processes during manufacturing and heating. Heating elements made of electroconductive concrete should have stable thermomechanical properties at the temperature up to 100...200 ^{o}C. There are different technologies, used for elements and structures manufacturing of electroconductive concrete, which are based both on plastic molding and static or dynamic pressing of stiff mixtures.

The availability of electroconductive component in concrete determines the possibility of its application for production of electric heating units for domestic, civil, agricultural buildings, antistatic floor, protective screens for electromagnetic radiation protection, X-radiation and gamma radiation, cathode grounding elements etc.

6.37. Особливо важкі і гідратні бетони
Extra-heave-weight and hydrated concrete

З усіх радіоактивних випромінювань найбільшою проникаючою здатністю відрізняються γ–випромінювання і нейтрони. Здатність матеріалу поглинати γ-випромінювання пропорційне його густині. Для послаблення потоку нейтронів у матеріалі, навпаки, повинні бути присутнім елементи з малою атомною масою, як, наприклад, водень. Бетон є ефективним матеріалом для біологічного захисту ядерних реакторів, оскільки в ньому вдало сполучуються при порівняно низькій вартості висока щільність і певний вміст водню в хімічно зв'язаній воді. Для зменшення товщини захисних екранів при зведенні атомних електростанцій і на підприємствах з виробництва ізотопів поряд зі звичайними застосовують *особливо важкі бетони* із середньою густиною від 2500 до 7000 кг/м^3 і *гідратні бетони* з високим вмістом хімічно зв'язаної води. З цією метою використовують важкі природні або штучні заповнювачі: магнетитові, гематитові або лимонітові залізні руди, барит, металевий скрап, свинцевий дріб і ін

Для одержання гідратних бетонів ефективними є лімоніт, серпентиніт і інші матеріали, що відрізняються поряд з високою густиною і значним вмістом хімічно зв'язаної води.

У якості в'яжучих в особливо важких і гідратних бетонах застосовують портланд– і шлакопортландцементи. Можливе застосування цементів спеціального призначення, що забезпечують при твердінні підвищений вміст гідросульфоалюмінату, який зв'язує значну кількість води. У гідратних бетонах можна використовувати, зокрема, глиноземистий і гіпсоглиноземистий цементи, що зв'язують більшу кількість води, ніж портландцемент. Для поліпшення захисних властивостей у гідратні бетони вводять добавки, що підвищують вміст водню – карбід, бор, хлорид літію й інші добавки, до складу яких входять легкі елементи.

The most penetrating among all radiations are gamma-radiation and neutrons. Ability of material to absorb gamma–radiation is proportional to its density. Elements with low atomic mass, e.g., hydrogen, must be present conversely in materials for neutrons flow absorption. Concrete is an effective material for biological protection of nuclear reactors, because in it successfully combined the high density and certain content of hydrogen in chemically bound water at comparatively low cost. For the reduction of the thickness of protective screens during the erection of atomic power stations and at the isotopes-producing enterprises along with ordinary *extra–heavy-weight concrete* with average density from 2500 to 7000 kg/m^3 and *hydrated concrete* with high content of chemically bound water are applied. For this purpose, heavy–weight natural or artificial aggregates: magnetite, hematite or limonite iron ores, barite, metallic scrap, lead fraction are applied.

Limonite, serpentinite, and other materials with high density and significant content of chemically bound water are effective for obtaining of hydrated concrete.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

As binders there are applied Portland cements and blast-furnace cements in extra-heavy-weight and hydrated concrete. It is possible to use cements of special purpose, which provide at hardening an increased content of hydrosulfuraluminate, binding large amount of water. Particularly in hydrated concrete it is permitted to apply alumina and gypsum-alumina cements, which bind more amount of water than ordinary Portland cement. For improving protective properties admixtures are introduced into hydrated concrete, which increase hydrogen content and also boron, lithium chloride and other substances, containing light elements.

6.38. Радіаційностійкі бетони
Radiation resistant concretes

При потоках нейтронів високої інтенсивності, характерних для деяких реакторів на швидких нейтронах, може виникнути необхідність у використанні *радіаційностійких бетонів*.

У результаті впливу іонізуючого випромінювання в структурі бетону можуть відбуватися якісні зміни, характер і глибина яких залежать від властивостей бетону, виду вихідних матеріалів і дози опромінення. При визначенні радіаційної стійкості матеріалів враховуються щільність потоку часток, інтенсивність та поглинена доза випромінювання.

При опроміненні бетону характерним є зниження щільності і збільшення лінійних розмірів зерен заповнювачів. Можливий також перехід мінералів із кристалічного в аморфний стан, що також супроводжується деформаціями розширення. В міру опромінення відбувається утворення і нагромадження різних дефектів кристалічних граток мінералів, що складають заповнювачі. Найбільші зміни при радіаційному впливі характерні для крупнокристалічних глибинних кислих магматичних гірських порід. Зі збільшенням вмісту в структурі гірських порід аморфних фаз і зменшенням розмірів кристалів радіаційна стійкість порід зростає.

Модуль пружності бетону в міру підвищення дози опромінення знижується внаслідок нагромадження структурних дефектів у заповнювачах і цементному камені. Встановлено, що при значних дозах опромінення границя міцності бетону на стиск знижується в 4 рази, а на розтяг більш ніж у 2 рази.

Для радіаційностійких бетонів переважно застосовують висококремнеземисті портландцементи зі зниженим вмістом алюмінатів і алюмоферитів. В умовах опромінення ефективне використання дрібнозернистих бетонів.

For neutrons flows of high intensity, characteristic for some reactors based on fast neutrons, it could be necessary to apply *radiation protective concrete*.

Qualitative changes can result in ionizing radiation to occur in a concrete structure, the character and depth of which depend on the concrete properties, type of initial materials and the radiation dosage. For determination of radiation resistance of materials, must be taken of the density of particles flux, intensity and absorbed radiation dosage.

Concrete irradiation is characterized by decreasing density and increased linear dimensions of the aggregates. Minerals transition from crystalline to amorphous state, which is supplemented by expansion deformations, is also possible. As irradiation occurs, the formation and pilling up of different defects of minerals in the crystalline lattices which compose the aggregates, also occurs. The largest changes due to radiation influence are representative for large crystal hypogene acid magmatic rocks. When the amorphous phases content in the rock structure increases and crystals sizes reduce, the radiation resistance of rocks becomes higher.

Modulus of elasticity of concrete reduces, when irradiation dosage increases because of the structural defects accumulation in the aggregates and cement stone. It was found out that at high dosages of irradiation compressive strength of concrete reduces by 4 times and the tensile strength reduces by more than 2 times.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

For radiation-resistant concrete, it is usual to apply high-silica Portland cements with low content of aluminates and alumoferrites. Under the irradiation conditions application of fine–grained concrete is effective.

6.39. Фібробетони
Fiber concretes

До *фібробетонів* або дисперсно-армованих бетонів належить група композиційних матеріалів, що включають короткі відрізки різних волокон (фібри) у цементній матриці. В якості фібри можуть служити різні типи волокон зі сталі, скла, синтетичних матеріалів, азбесту, вуглецю та ін.

Дисперсне армування цементного каменю волокнами дозволяє істотно підвищити його питому міцність особливо на розтяг і згин, тріщиностійкість, стійкість до ударних і вібраційних впливів, опір стиранню й ін. Застосування фібробетону дозволяє:

– реалізувати ефективні конструктивні рішення, наприклад, тонкостінні конструкції без стержневої або сітчастої розподільної арматури;

– знизити працевитрати на арматурні роботи і підвищити ступінь механізації й автоматизації виробництва армованих конструкцій;

– відкриває можливість застосування нових, більш продуктивних прийомів формування армованих конструкцій, наприклад, пневмонабризк, роликове формування та ін.

Найбільш поширені фібробетони на портландцементі, армовані сталевим волокном – *сталефібробетони*. Сталеве волокно звичайно представлене відрізками дроту, у тому числі з відпрацьованих канатів. Фібри можуть мати різний поперечний переріз – круглий, овальний й ін. діаметр від 0,2 до 1,6 мм і довжину від 10 до 160 мм. Поверхня фібр може бути профільована, оброблена травленням і, як виключення, гладкою. Кількість фібр, що вводяться в бетон, у більшості випадків коливається від 0,5 до 2% по об'єму. Введення в бетон сталевих фібр у кількості 1...1,5% по об'єму збільшує його міцність на розтяг до 100%, міцність на вигин на 150...200%, міцність на стиск підвищується на 10...25%.

За рахунок більш високої тріщиностійкості сталефібробетон відрізняється підвищеною в 1,5...2 рази морозо–, жаро– і вогне-стійкістю, водонепроникністю.Зносостійкість сталефібробетону збільшується на 30...50%, а опір удару в 10...12 разів.

Composite materials, which include short segments of different fibers in the cement matrix, are classified as *fiber reinforced concretes* or dispersed-reinforced concretes. Different types of filaments from steel, glass, synthetic materials, asbestos, carbon and others can be used as fiber.

The disperse reinforcement of cement stone by fibers substantially increase its specific strength in particular with respect to the tension, bending, crack-resistance, resistance to impact and vibration influences, abrasive resistance, etc. Application of fiber reinforced concrete allows:

– the realization of effective constructive solutions, for example, thin-walled structures without the bar reinforcement or reticulated distribution rods;

– a decrease in labor expenses for the reinforcing works and to increase the degree of mechanization and automation of the production of the reinforced structures.

It also offers the possibility of applying new, more productive methods of molding the reinforced structures, for example, pneumatic sputtering, roller molding, etc.

Portland cement based fiber concrete, reinforced by steel fibers (*steel-fiber concrete*) are the most widespread. Steel fibers are usually represented by the sections of wire. Fibers can have different cross sections – round, oval and other diameter from 0.2 to 1.6 mm and length from 10 to 160 mm. The surface of fibers can be shaped; processed by etching and can be smooth.

The quantity of fibers introduced into the concrete, in the majority of the cases varies from 0.5 to 2% by volume. Introduction of steel fibers into the concrete in quantity of 1…1.5% in volume

Національний університет
водного господарства
та природокористування
increases its tensile strength to 100%, bending strength by 150…200%, and compressive strength rises to 10…25%.

Due to the higher crack-resistance of steel-fiber concrete it possesses an increased(1.5…2 times) frost, heat and fire resistance, as well as water impermeability.

The wear-resistance of steel-fibroconcrete is increased by about 50% and the impact strength by about 10…12 times.

6.40. Бетони на безклінкерних в'яжучих матеріалах
Concrete based on non-clinker binders

Гіпсові бетони виготовляють на основі всіх різновидів гіпсових в'яжучих, проте найбільш широко використовується будівельний гіпс. Залежно від виду заповнювачів густина їх становить від 800 до 1900 кг/м^3, границя міцності при використанні важких мінеральних заповнювачів 8...12, легких пористих – 3,6...7,0, органічних – 1...3 МПа.

Бетони на основі гіпсових в'яжучих можуть бути армовані волокнистими матеріалами.

З гіпсових бетонів виготовляють панелі та плити для перегородок, панелі для збірних стяжок під підлоги, вентиляційні блоки, об'ємні санітарно-технічні кабіни, стінові блоки та камені.

Тверднення бетону на основі будівельного гіпсу протягом 1...2 год дозволяє забезпечити 30...40% кінцевої міцності. Застосування сушіння прискорює набір кінцевої міцності.

Основними недоліками гіпсових бетонів є низька водостійкість, підвищені усадка і повзучість. Високу водостійкість і міцність мають бетони на основі композиційних гіпсоцементнопуцоланових і гіпсошлакоцементних в'яжучих.

Силікатні бетони – це бетони автоклавного твердіння на основі вапняно-кремнеземистих в'яжучих. Кремнеземистими комітентами можуть виступати тонкомелені кварцові піски, шлаки та ін. Співвідношення вапна та кремнеземистого компоненту становить від 30:70 до 50:50.

Найбільшого розповсюдження набули дрібнозернисті силікатні бетони, заповнювачем яких виступає кварцевий пісок.

Розрізняють силікатні бетони щільної та ніздрюватої структури з міцністю на стиск 10…40 МПа. При підвищенні активності та тонкості помелу вапняно-кремнеземистого в'яжучого міцність бетону може бути значно більшою.

Коефіцієнт розм'якшення силікатних бетонів 0,82...0,9, морозостійкість досягає 300 циклів і більше. Відносна міцність на розтяг силікатних бетонів в декілька разів вища, ніж у цементних.

З силікатних бетонів виробляють плити перекриттів, колони, ригелі, балки, огороджуючі панелі, стінові блоки та інші деталі.

Шлаколужні бетони, що виготовляють на основі відповідних в'яжучих за міцністю на стиск поділяють на класи В15...В60 і вище, за морозостійкістю F200...F500. Наявність постійного лужного середовища, що забезпечує збереження сталевої арматури та її добре зчеплення з бетоном дозволяє виготовляти міцні залізобетонні конструкції, в тому числі попередньо напружені.

Шлаколужні бетони характеризуються комплексом спеціальних властивостей – стійкістю проти впливу багатьох корозійних середовищ, здатністю твердіти при від'ємних температурах, підвищеною жаростійкістю, низьким тепловиділенням при твердінні тощо.

Можуть бути виготовлені легкі шлаколужні бетони на основі *пористих заповнювачів*, а також ніздрюваті.

Gypsum concretes are made on the basis of all kinds of gypsum binders, but most commonly used gypsum plaster. The density of gypsum concretes ranges depending on the type of the

Національний університет
водного господарства
та природокористування
aggregates from 800 to 1900 kg/m^3, ultimate strength at using heavy mineral aggregates 8...12, porous light - 3,5...7,0, organic - 1...3 MPa.

Concrete based on gypsum binders may be reinforced with fibrous materials, including otganic.

Using plaster concrete panels and slabs for partitions, panels for prefabricated treatment under floor ventilation units, volumetric sanitary cabins, wall blocks and stones, are made.

Hardening of concrete based on gypsum plaster during 1…2 hours allows to reach 30…40% final strength. The application of the drying greatly accelerates of concrete hardening.

Main disadvantagts of gypsum concrete are low water resistance, increased shrinkagl and creep. Concretes are based on composite gypsum –cement– pozzolan and gypsum–cement–slag binders have increased water resistance and strength.

Silicate concretes – concretes of autoclaved hardening based on lime-silica binding materials. Quartz sand, slag, and others silicate materials can be components of these concretes. Ratio of lime and silica component is from 30:70 to 50:50.

The most common have fine-grain silicate concrete, which contain as filler quartz sand.

There silicate concretes of dense and porous structures, with compressive strength 10…40 MPa. With an increase in activity and the fineness of lime-silica binder strength of concrete can be significanty increased.

Silicate concrete softening factor is 0.82 ... 0.9, frost-resistanse reached 300 or more cycles. The relative tensile strength of silicate concrete is several times higher than that of cement.

From producing silicate concrete floor slabs, columns, girders, beams, fencing panels, wall blocks and other details are produced.

Slag–alkaline concretes are manufactured on the basis of the slag–alkaline binders. They have compressive strength 20…60 MPa and higher, frost-resistance 200…500 cycles. An allaline environment, which ensure of the steel reinforcemtnt safety and its good adhesion with concrete allows to produce durable reinforced concrete structures including prestressed.

Slag–alkaline concretes are characterized by a set of special pro-perties – resistance to impact many corrosive environments, ability to harden at low temperatures, increased heat resistance, low exatermic. Light slag–alkaline concretes can be mage on the basis of porous aggregates.

6.41. Будівельні розчини і сухі суміші
Building mortars and dry mixtures. Overview

Будівельні розчини на відміну від бетонів не містять крупного заповнювача і укладаються тонкими шарами, як правило, на пористу основу без інтенсивної механічної дії. По ряду структурних особливостей та властивостей будівельні розчини близькі до дрібнозернистих бетонів. Порівняно невисока міцність дозволяє при виробництві розчинів успішно використовувати місцеві в'яжучі речовини та різноманітні промислові відходи (золошлакові, вапно- та гіпсовміщуючі продукти та ін.).

В будівництві застосовують, головним чином, вапняні, гіпсові, цементні та змішані (цементно-вапняні, цементно-глиняні) розчини. Цементи використовують як в'яжучі для розчинів, що експлуатуються при високій вологості. Важкі розчини мають середню густину понад 1500, а легкі менше 1500 кг/м^3. Для легких розчинів заповнювачами виступають природні або штучні пористі піски. За призначенням будівельні розчини ділять на кладочні (мурувальні), в тому числі і для монтажу крупно-панельних стін та інших конструкцій, оздоблювальні та спеціальні. Серед спеціальних розчинів в будівництві знаходять використання тампонажні, ін'єкційні, гідроізоляційні, жаростійкі, хімічно стійкі та ін.

Сучасне будівництво характеризується все більш широким застосуванням сухих будівельних сумішей – ретельно віддозованих і перемішаних в заводських умовах розчинових і бетонних сумішей, які замішуються водою на будівельному майданчику.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

При виробництві будівельних робіт ефективність сухих сумішей виявляється у високому рівні механізації, істотному скороченні термінів будівництва, зниженні трудомісткості і виробничих витрат, забезпеченні високої якості.

Сухі будівельні суміші класифікують за:

–основним призначенням (видом робіт);

–видом в'яжучого в суміші;

–ступенем модифікації суміші добавками;

–найбільш характерною властивістю в затверділому стані;

–умовами використання.

Building mortars unlike the concrete do not contain the coarse aggregates and can be placed, normally, on porous base without intensive mechanical action. The building mortars, by virtue of their range of structural features and properties, are similar to the fine-grained concrete. Comparatively low strength permits the successful use of local binder materials and various industrial wastes (ash and slag, lime and gypsum containing products, etc) in the production of mortars.

Lime, gypsum, cement and composite mortars (cement-lime, cement-clay, etc) are mainly applied in construction. Cements are used as a binder for mortars, which are exploited at high humidity. Heavy-weight mortars have an average density over 1500 and light-weight less than 1500 kg/m^3. For light–weight mortars natural or artificial porous sands can be used as aggregates.

Depending on the purpose, building mortars are divided into: masonry(intended for arrangement of brick, large panel and other walls structures), finishing and special mortars. Among the special mortars grouting, injection, waterproofed, heat-resistant, chemically proofed and others are used in building.

Modern construction is characterized by wide application of dry *building mixtures* – carefully batched and industrially mixed mortar and concrete mixtures to be prepared by adding water on a building site.

The efficiency of *dry mixtures consists* in increasing the mechanization level, essential reduction of the period of construction, reduction in labor and industrial expenses, high quality supply.

Dry building mixtures are classified by:

- basic destination (kind of works);
- type of binders in a mixtures;
- modification degree by mix admixtures;
- the most typical property after hardening;
- application conditions.

6.42. Приготування будівельних розчинів
Technology of building mortars

Будівельні розчини готують в пересувних та стаціонарних розчинозмішувальних вузлах у вигляді готових розчинових сумішей потрібної рухомості або у вигляді сухих сумішей, які замішують водою перед використанням. При виробництві сухих сумішей ефективно використовувати гідрофобізовані цементи, що забезпечують тривалий термін їх зберігання.

Технологічний процес приготування готової розчинової суміші включає підготування вихідних матеріалів (відсіювання крупних включень з піску, підігрів його в зимовий час і т.д.), дозування та ретельне перемішування.

При централізованому приготуванні розчинів широко застосовують автоматизовані розчинозмішувальні установки продуктивністю 18...20 м^3/год. На сучасних підприємствах склади та режими виготовлення розчинових сумішей, оптимальні маршрути та графіки доставки розчинів на об'єкти визначають з допомогою комп’ютерних систем.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

В розчинозмішувачах здійснюється примусове перемішуван-ня компонентів розчину в змішувальному барабані за циклічним або безперервним режимом. Продуктивність розповсюджених циклічних розчинозмішувачів становить 30...1200 л/год готового замісу. Тривалість перемішування розчину повинна забезпечу-вати отримання достатньої однорідності суміші. Для важких розчинів тривалість перемішування становить, як правило, не менше 1 хв., для легких – 2 хв.

В зимових умовах розчини готують з противоморозними добавками.

Для перевезення розчинових сумішей використовують авторозчиновози. Нанесення розчинів на поверхні конструкцій здійснюється з допомогою розчинонасосних установок.

Building mortars are prepared in movable and stationary mortar-mixing plants as the ready-mixed mortar mixtures with required plasticity or as dry mixtures, which are mixed with water before use. It is effectively to use the hydrophobic cements, which provide long-term of their storage at the production of dry mixtures.

The technological process of manufacture of the ready-made mortar mixture includes preparation of the initial materials (screening-out of the coarse impurities, warming up in winter, etc), dosage and careful mixing.

The automated mortar-mixing machines with productivity of 18-20 m^3/hour are widely applied for the centralized manufacture of mortars.

The compositions and modes of mortar mixtures making, graphics of mortars delivery on the building objects can be determined with the help of computer systems on modern plants.

The forced mixing of mortar components can be realized in mortar-mixers with cyclic or continuous mode. The productivity of widespread mortar-mixers is 30…1200 l/hour of the prepared batch. The duration of the mortar mixing should be appropriate for obtaining sufficient homogeneity of the mixture. It should be, usually, not less than 1 minute for heavy-weight mortars, for light-weight mortars – 2 minutes.

The mortars are manufactured with antifreezing admixtures in winter.

The truck mortar-mixers are used to transport the mortar mixtures. Applying of mortars on the surfaces constructions is carried out with the help of the mortar pumps.

6.43. Властивості розчинових сумішей
Properties of mortar mixtures

Основними властивостями розчинових сумішей є легкоукладальність та водоутримуюча здатність.

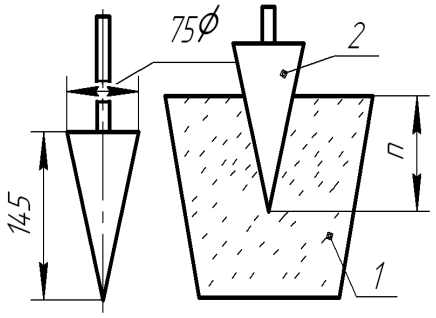

Рис. 6.19. Визначення легкоукладальності розчинових сумішей конусом: 1– суміш; 2 – конус
Fig.6.19.Determination of mortars workability by a cone: 1– mixture; 2 – cone

Легкоукладальність – здатність розчину укладатися на основі тонким однорідним шаром - характеризується глибиною занурення стандартного конусу (рис. 6.19).Вона призначається з урахуванням виду розчину, способу його подачі, вологості та пористості основи, температури повітря. Наприклад, глибину занурення розчину призначають при кладці із звичайної цегли - 9…13 см.

Забезпечення потрібної легкоукладальності розчинових сумішей без розшарування можна досягти введенням пластифікаторів та наповнювачів. Пластифікатори розчинових сумішей використовують двох видів: неорганічні (вапняне та глиняне тісто) та органічні - поверхнево-активні речовини. Механізм дії неорганічних пластифікаторів полягає в утворенні на поверхні частинок адсорбційних

Національний університет
водного господарства
та природокористування

гідратних шарів, що забезпечують ковзання зерен заповнювача, а органічних - у їх диспергуючій дії. На відміну від неорганічних органічні пластифікатори вводять до розчинових сумішей у значно меншій кількості (0,03...0,3% від маси в'яжучого).

Водоутримуюча здатність запобігає розшаруванню розчинової суміші. З цією метою зменшують водов'яжуче відношення (за рахунок правильного підбору складу), вводять тонкодисперсні мінеральні наповнювачі та пластифікуючі добавки.

У більшості випадків розчини укладають на пористу основу. При надмірно інтенсивному відсмоктуванні води основою затрудняється процес нормального твердіння цементу.

Водночас роль активної добавки, мікронаповнювача та пластифікатора у розчинах може виконувати зола-винесення. Її присутність покращує пластичність, водоутримуючу здатність та інші властивості розчинів, дозволяє суттєво знизити витрати цементу та вапна. Найбільш ефективними є тонкозернисті золи, що відбираються з останніх полів електрофільтрів.

Workability and water–retaining ability are the basic properties of mortar mixtures.

Workability describes the ease with which the mortar is placed and compacted into the moulds as a homogeneous layer. It can be measured by penetration test with a standart cone (fig. 6.19). It is required by specification to take into account the type of mortar, method of its application, humidity and porosity of base, and temperature of air. For example, the depth of mortar cone penetration specified for placing the ordinary brick is – 9…13 cm. It is possible to attain the required workability of mortar mixtures without segregation by application of plasticizers and fillers. Two types of plasticizers are used for mortar mixtures: inorganic (lime and clay paste) and organic – surface active substances. The mechanism of action of inorganic plasticizers consists in the creation of adsorption hydrate layers on the surface of the particles making them mutually repulsive, and the organing–resulting dispersive action due to adsorption of SAS. Unlike the inorganic plasticizers, the organic plasticizers are added to mortar mixtures in considerably less amount (0.03…0.3% by weight of binder).

Water – retaining capacity prevents segregation of the mortar mixtures. The use of reduced water – binder ratio (due to correct proportioning of composition); addition of fine mineral fillers and plasticizing agents can achieve this purpose.

Mortars are placed on a porous base in most cases. The process of normal cement hardening is impeded by the superfluously intensive sucking of water by base. At the same time fly ash can be used in mortars as an active admixture, microfilling agent and/or plasticizer. Its presence improves plasticity, water–retaining ability and other properties of mortars, substantially allows reducing the cement and lime content. Fine – grain fly ash that is taken away from the last fields of electrostatic collectors is the most effective.

6.44. Міцність розчинів
Strength of mortars

Міцність на стиск розчинів знаходиться в області 0.4...30 МПа. Розчини з міцністю 0.4 ...1 МПа виготовляють переважно з застосуванням вапна. Міцність розчинів визначають на зразках кубічної форми після 28 діб тверднення. При виготовленні зразків важливо враховувати реальні умови тверднення розчинів.

Міцність розчинів, як і бетонів, залежить, основним чином, від активності в'яжучого та водов'яжучого відношення. При укладанні на щільну основу міцність розчинів (R_p) розраховують за формулою

$$R_p = 0{,}25\, R_ц (Ц / В - 0{,}4), \qquad (6.16)$$

де $R_ц$ - активністьцементу, Ц/В - цементно-водне відношення.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

При відсмоктуванні води пористою основою в розчинах з різним Ц/В залишається приблизно однакова кількість води і міцність виражається в залежності від витрати в'яжучого (Ц):

$$R_p = KR_ц(Ц - 0{,}05) + 4 \ , \qquad (6.17)$$

де К – коефіцієнт якості піску: для крупного піску К=2,2; піску середньої крупності К=1,8; дрібного піску К=1,4.

Структуру розчинів модифікують добавки органічних ПАР. При цьому знижується водопоглинання та капілярне всмоктування, зростають морозостійкість та водонепроникність.

Склади будівельних розчинів підбирають за таблицями або розрахунком і в обох випадках уточнюють експериментальним шляхом стосовно до конкретних матеріалів. В табл.6.11 наведені примірні склади змішаних кладочних розчинів марок 25...100 в об'ємних частинах (цемент : вапняне тісто : пісок).

Таблиця 6.11

Склади змішаних кладочних розчинів

Марка в'яжучого	Марки розчинів за міцністю			
	25	50	75	100
400	–	1:0,9:8	1:0,5:5,5	1:0,4:4,5
300	1:1,4:10,5	1:0, 6:6	1:0,3:4	1:0,2:3,5
200	1:0,8:7	1:0,3:4	1:0, 1:2,5	–

The compressive strength of mortars is in the range of 0.4-30 MPa. Mortars with ultimate strength 0.4-1 MPa are made, mainly, of lime. The strength of mortars can be determined on cube specimens after 28 days curing. At the time of making the specimens, it is important to take into consideration the real conditions of mortar hardening.

Strength of mortars, as well as concretes, depends, mainly, on binder content and water-binder ratio. When placed on a dense base, the strength of mortars (R_m) can be calculated by the following formula:

$$R_m = 0{,}25\, R_{cem}(C/W - 0{,}4) \ , \qquad (6.16)$$

where R_{cem} – cement strength; C/W – cement-water ratio.

Regarding the water suction by the porous basis; strength of mortars can be calculated depending on binder content (C):

$$R_m = KR_{cem}(C - 0{,}05) + 4 \ , \qquad (6.17)$$

where К – sand quality coefficient: for coarse sand К = 2.2; medium–grained – К = 1.8; fine – К = 1.4.

The structure of mortars is modified by admixtures, containing organic surface-active substances. Thus water absorption and capillary suction go down, a freeze-resistance and watertightness is enhanced.

Compositions of building mortars are proportioned according to tables or calculation and in both cases are corrected by experimental data on the given initial materials. Typical compositions of the composite masonry mortars (measured in volume parts – cement: lime paste: sand, are presented in table 6.11.

Table 6.11.

Compositions of composite masonry mortars

Grades of binders by compressive strength	Grades by compressive strength of mortars			
	25	50	75	100
400	–	1:0,9:8	1:0,5:5,5	1:0,4:4,5
300	1:1,4:10,5	1:0, 6:6	1:0,3:4	1:0,2:3,5
200	1:0,8:7	1:0,3:4	1:0, 1:2,5	–

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.45. Кладочні розчини
Masonry mortars

Кладочні розчини застосовують при цегляній та кам'яній кладці, влаштуванні вирівнюючого шару при монтажі залізобетонних конструкцій, омонолічуванні колон і т. п. При зведенні стін найширше використовують змішані цементно-вапняні та цементно-глиняні розчини. Цементні розчини без неорганічних пластифікуючих добавок доцільні тільки для конструкцій, що зводяться нижче рівня ґрунтових вод. Вапняні розчини та розчини на різних вапновміщуючих в'яжучих (вапняно-шлакових, вапняно-зольних та ін.) застосовують в масовому малоповерховому будівництві. При цьому повітряне вапно використовують в розчинах для наземної кладки при відносній вологості повітря приміщень до 60%, гідравлічні вапновміщуючі в'яжучі – в розчинах, які працюють у вологих умовах. Для одержання будівельних розчинів широко застосовують портландцемент. Використовують також спеціальні *цементи для будівельних розчинів*, які вміщують в значній кількості активні мінеральні добавки або мікронаповнювачі.

Крім крупного, середнього та дрібного піску при виготовленні будівельних розчинів дозволяється застосовувати дуже дрібний пісок з модулем крупності 1...1,5. Застосування золи як добавки є раціональним при отриманні ефективних розчинів як для звичайної кам'яної кладки, так і для зведення стін з крупнорозмірних елементів. Крім золи-винесення в будівельних розчинах ефективними є добавки цементного пилу та інших активних ікронаповнювачів.

Ріст міцності кладочних розчинів в зимовий час можна забезпечити введенням ряду хімічних добавок (табл. 6.12).

Таблиця 6.12

Відносна міцність розчинів з добавками в залежності від температури твердіння

Добавка	Середньо добова температура, °С	Доза добавки до розчину, % від маси цементу	Орієнтовна міцність розчину, % від його марки при твердінні на морозі, діб		
			7	28	90
Нітрит натрію	0...-5	5	10	40	55
	-6...-9	8	5	30	40
	-10...-15	10	5	30	40
Поташ	0...-5	5	25	60	80
	-6...-15	10	20	50	65
	-16...-30	15	10	35	50
Нітрит натрію+ поташ	0...-5	2,5+2,5	20	55	75
	-6...-15	5+5	15	40	60
	-16...-30	6+6	5	35	45
Хлористий натрій + хлористий кальцій	0...-5	3+0	35	80	100
	-6...-10	3,5+1,5	25	45	70
	-11...-15	3+4,5	15	25	50

Masonry mortars are applied during brick and stone laying, arranging of leveler layer, at installation of reinforced-concrete structures, grouting columns etc. The composite cement-lime and cement-clay mortars are used mostly for wall construction. Cement mortars without inorganic plasticizing agents are expedient only for structures, which are erected below ground. Lime mortars and mortars on different lime-containing binders (lime-slag, lime-ash and other) are applied in mass low-rise building. Thus an air-hardening lime is used in mortars for the laying at a relative humidity in apartments up to 60%, and hydraulic lime-containing binders – in mortars, which perform in the moist conditions. Portland cement with ultimate strength 30…40 MPa is widely applied for the

Національний університет
водного господарства
та природокористування

different building mortars. The special *cements for building mortars*, which contain active mineral admixtures or microfillers, are also used.

Table 6.12

Approximate strength of mortar with admixtures depending on the temperature of hardening

Admixture	Average daily temperature, °C	Amount of Admixture into mortar, % by weight of cement	Approximate strength of mortar at frost hardening, % of 28-day strength of normally cured concrete		
			7 days	28 days	90 days
Sodium nitrite	0...-5	5	10	40	55
	-6...-9	8	5	30	40
	-10...-15	10	5	30	40
Potash	0...-5	5	25	60	80
	-6...-15	10	20	50	65
	-16...-30	15	10	35	50
Sodium nitrite + potash	0...-5	2,5+2,5	20	55	75
	-6...-15	5+5	15	40	60
	-16...-30	6+6	5	35	45
Sodium chloride + calcium chloride	0...-5	3+0	35	80	100
	-6...-10	3,5+1,5	25	45	70
	-11...-15	3+4,5	15	25	50

Along with the coarse, middle and fine sands it is allowed to apply very fine sand with a fineness module of 1…1.5 for production of building mortars. Application of fly ash is rational for the production of effective mortars for ordinary brickwork and also for the walls from large-size elements. The admixtures of cement kiln dust and other active microfillers are effective in building mortars besides the fly ash.

It is possible to provide masonry mortars with increased early strength in winter by application of chemical admixtures (table 6.12).

6.46. Штукатурні розчини
Plaster mortars

Штукатурне покриття складається з двох або більше шарів. Зчеплення з поверхнею основи забезпечується підготовчим шаром (набризком) товщиною не більше 5 мм по цегляних та бетонних поверхнях і 9 мм по дерев'яних. Основний шар (ґрунт) товщиною 5...7 мм служить для одержання рівної поверхні. Покращені види штукатурок включають ще накривочний шар товщиною не більше 2 мм.

Для приготування *штукатурних розчинів*, подавання їх до робочого місця та нанесення на оброблювальну поверхню служать комплекти машин – штукатурні агрегати та штукатурні станції.

Всі види штукатурних розчинів повинні мати задану рухомість (9...14 см), здатність не розшаровуватись в процесі виробництва, а також відповідати вимогам механізованого виконання робіт, забезпечувати необхідну міцність і добре зчеплення з основою.

Потрібна рухомість розчинової суміші залежить від розташування шару в штукатурному покритті. Розчини для звичайних штукатурок поділяють на цементні, вапняні, цементно-вапняні, гіпсові.

Цементні розчини застосовують для зовнішніх штукатурок, які зазнають систематичного зволоження і внутрішніх в приміщеннях з відносною вологістю повітря понад 60%. Для підвищення їх водостійкості бажано використовувати гідрофобізуючі

Національний університет
водного господарства
та природокористування
добавки, наприклад, кремнійорганічні рідини. Співвідношення цементу та піску за об'ємом приймають для набризку 1:2,5...4, ґрунту 1:2...3, накривочного шару 1:1 ...1,5.

Цементно-вапняні розчини застосовують при оштукатурюванні як фасадів будівель, так і внутрішніх приміщень. Введення вапна різко підвищує пластичність розчинів. Вміст вапняного тіста залежить від призначення шару. Для набризку додають, як правило, 0,3...0,5, для ґрунту 0,7...1, накривочного шару 1...1,5 об'ємних частин вапна. Готують цементно-вапняні розчини двома способами: складаючи суху піщано-цементну суміш, яку зволожують вапняним молоком до потрібної рухомості, або добавляючи цемент до вапняно-піщаного розчину.

Розчини на основі повітряного вапна застосовують для оштукатурювання поверхонь в приміщеннях з відносною вологістю повітря до 60%.

Гіпсові розчини застосовують в районах з переважно сухим кліматом для оштукатурювання дерев'яних та гіпсових стін та перегородок. Для механізованого нанесення штукатурних покриттів призначені сухі гіпсові штукатурні суміші. Їх виготовляють в заводських умовах з метою централізованого постачання будівельним організаціям.

Plaster coverage consists of two or more layers. Bond with the base surface is provided by preparatory layer with thick not more than 5 mm on brick and concrete surfaces and 9 mm on wood. Basic layer 5–7 mm thick is used for the plane surface making. The types of the improved plasters include also covering layer not more than 2 mm thick.

Plaster machines can be used for production of plastering mortars, their delivery to the workplace and placing on a processing surface.

All the types of *plaster mortars* should have specified flowability, ability to not disintegrate during production and also to provide the required strength and good adhesion to the base.

The required flowability of the mortar mixture depends on the location of the layer in plaster coverage.

The mortars for ordinary plasters are categorized into: cement, lime, cement-lime and gypsum.

Cement mortars are used for external plasters which are subjected to systematic moistening and internal plasters in apartments with relative humidity of air over 60%. Hydrophobising admixtures (for example, organic silicon liquids) can be used to increase water resistance. The following ratio between cement and sand is recommended: – for preparatory layer 1:2.5…4, basic layer 1:2…3, covering (decorative) layer 1:1 …1.5.

Cement-lime mortars are used for plastering of both facades of buildings and internal apartments. Application of lime sharply increases the plasticity of mortars. The content of lime paste depends on the function of the layer. The volume content of lime can be for preparatory layer, usually, 0.3…0.5; for basic layer 0.7…1; for covering (decorative) layer 1…1.5. The cement-lime mortars can be manufactured with two methods: from dry sand-cement mixture which is moistened by lime milk to the required workability; or by adding of the cement to sand-lime mortar.

The mortars, based on the air-hardening lime, are used for plastering of surfaces in apartments with relative humidity of air up to 60%.

Gypsum mortars are applied in areas, mainly dry by climate, for plastering of wooden and gypsum walls. Dry gypsum plaster mixtures are intended for the mechanized placing of plaster coverage. They are made in factory conditions with the purpose of the centralized supply to building site.

6.47. Декоративні розчини
Decorative mortars

При опорядженні зовнішніх та внутрішніх стін будівель та споруд застосовують *декоративні розчини*. В'яжучиими в декоративних розчинах є звичайні, білі та кольорові портландцементи. Колір розчинам можуть придавати також пігменти та заповнювачі з

Національний університет
водного господарства
та природокористування
природних або подрібнених матеріалів. Для надання блиску поверхні оздоблювального шару добавляють слюду або подрібнене скло.

Для декоративних штукатурок розповсюдженні вапняно-піщані, теразитові та каменеподібні декоративні розчини.

Найбільш економічними є *вапняно-піщані декоративні розчини*. Залежно від потрібного кольору до їх складу входять кварцовий, мармуровий або вапняковий пісок.

Теразитові штукатурки включають, крім в'яжучих та кварцового піску, кам'яну кришку різної крупності, і певну кількість слюди і при необхідності пігменти. Їх, як правило, готують з попередньо підібраних сухих сумішей. Обробляють теразитову штукатурку піскоструйним апаратом, цвяховими щітками, та іншими способами, після чого одержують фактуру поверхні, що імітує оброблений піщаник або туф. Фактура теразиту залежить від граничної крупності зерен заповнювача.

Каменеподібні розчини в штукатурці імітують різні гірські породи залежно від виду кам'яної кришки та способу обробки поверхні.Каменеподібні штукатурки застосовують основним чином при оздобленні фасадів та цоколів будівель.

Покращені декоративні властивості, знижену стираність, високу міцність на розтяг та згин, підвищену адгезію до різних основ мають *полімерцементні розчини*. Їх виготовляють із суміші комплексного в'яжучого (портландцемент та пластифікована полівінілацетатна дисперсія або латекс) наповнювачів, заповнювачів, пігментів та води.Полімер цементні розчини застосовують для підлог в приміщеннях з інтенсивним рухом людей і спеціальними вимогами до чистоти.

Decorative mortars are applied for the facing of external and internal walls of building and structures. The ordinary white and coloured Portland cements are used as binder in cement decorative mortars. The coloring ingredients and fillers from natural or ground up materials also can give the color to mortars. The mica or crushed glass can be added to impart the surface brilliance of decorative layer.

The lime-sand, terrazite and stone-like decorative mortars also are used for decorative plasters.

Lime- sand decorative mortars are the most economic. Quartz, marble or limestone sand is added to their composition depending on the required color.

Terrazite plasters, besides binder and quartz sand, include stone chips of different fineness and certain amount of mica and coloring agents, if it is required. They are usually manufactured from pre-proportioned dry mixtures. Terrazite plaster can be treated with the help of sandblasters, brushes and other tools for obtaining a finished surface, which imitates sandstone, tuff or other rocks. The terrazite finish depends on maximal fineness of aggregate grains.

Stone-like mortars imitate different rocks, depending on the type of stone chips and method of surface treatment. Stone-like plasters are applied mainly for finishing of facades and socles.

Polymer–cement mortars have improved decorative properties, reduced abrasion, high tensile strength, better adhesion to different bases. They are made from mixtures which consists of complex binders (Portland cement and the plasticized polyvinyl acetate dispersion or latex), fillers, aggregates, coloring agents and water. Polymer-cement mortars can be applied to the construction of floors in apartments with intensive movement of people and special requirements for the cleanness.

6.48. Спеціальні розчини
Special mortars

До спеціальних відносять розчини для гідроізоляційних, ін'єкційних, тампонажних, кислототривких, жаростійких, теплозахисних, акустичних, рентгенозахисних штукатурок та ін.

Гідроізоляційні розчини застосовують для створення гідроізоляційних покриттів залізобетонних труб та інших конструкцій, для зачеканювання та гідроізоляції швів тюбінгів

Національний університет
водного господарства
та природокористування

і т.п. З підвищенням активності цементу водонепроникність розчинів, як і бетонів, зростає майже прямолінійно. При виготовленні гідроізоляційних розчинів, призначених для служби в умовах агресивних вод, застосовують сульфатостійкі цементи. Першочерговий вплив на водопроникність розчинів має водоцементне відношення з підвищенням якого в розчині розвивається система пор та капілярів. Як правило, для гідроізоляційних розчинів В/Ц = 0,3...0,5.

Добавки для підвищення водонепроникності розчинів поділяють на мікронаповнювачі, пластифікатори, кольматуючі, полімерні та комбіновані.

Тампонажні розчини застосовують для закриття (тампонажу) водоносних тріщин та пустот в гірських породах з метою створення протифільтраційних завіс в основах напірних споруд, ущільнення та обтиску тунельних облицювань та інш.

Комплекс вимог до тампонажних розчинів забезпечують застосуванням пластифікаторів, високодисперсних цементів та цементно-глинистих сумішей, оброблених спеціальними реагентами, використанням швидкісних турбулентних змішувачів та інш.

Кислототривкі розчини отримують з суміші кислототривких заповнювачів та дисперсних наповнювачів з кремнефтористим натрієм що замішуються рідким склом.

Як заповнювачі кислототривких розчинів застосовують кварцовий пісок, а також піски, які отримують дробінням граніту, андезиту ті інших порід. Наповнювачами можуть бути тонкомелений кварцовий пісок, маршаліт та інші кремнеземисті порошкоподібні матеріали.

Звукопоглинаючі легкі розчини з середньою густиною 600...120С кг/м^3 використовують для акустичних штукатурок. Заповнювачем в таких розчинах виступають піски із зернами крупністю від 3 до 5 мм пористих матеріалів: пемзи, шлаків, спученого перліту, керамзиту та інших.

Важкі розчини середньою щільністю 2200 кг/м^3 і більше застосовують для оштукатурювання рентгенівських кабінетів та приміщень в яких ведуть роботи з радіоактивними ізотопами. Як в'яжучі матеріали в таких розчинах застосовують портландцемент або шлакопортландцемент, а заповнювачами виступають барит або інші важкі породи

Special mortars include the mortars for waterproofing, tamping, acid-proof, acoustic, X-ray-protection plasters and others.

Waterproofing mortars are applied for creation of waterproofing coverages of reinforced-concrete pipes and other structures, for dampproofing of tubings seams, etc. As the cement strength incease, the water impermeability of mortars improves. The sulphate resistant cements can be applied for the production of waterproofing mortars, intended for service in conditions of aggressive waters. The main influence on water permeability of mortars is the water-cement ratio because the system of voids and capillaries in the mortar, increase as the water-cement ration increases. As a rule, for waterproofing mortars, water-cement ratio in the range of 0.3…0.5 is recommended.

The water impermeability of mortars can be improved by the use of admixtures like: microfillers, plasticizers, polymer, etc.

Grouting mortars are used for closing (tamping) of water-bearing cracks and voids in rocks and structures. The complex of requirements for the grouting mortars are achieved by the application of plasticizers, special cements and cement-clay mixtures, processed by the special reagents, using of the high-speed turbulent mixers, etc.

Acid–proof mortars are produced from a mixture of acid-proof aggregates and dispersible fillers with the fluorsilicate sodium that are mixed with liquid glass.

Quartz sand and also sands, which are produced by crushing granite, andesite and other rocks, are used as the aggregates for acid-proof mortars. Fine-grain quartz sand, marshalite and other siliceous powder materials can be used as microfillers.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Sound absorbing light mortars with an average density of 600-1200 kg/m are used for acoustic plasters. Sand grains having a fineness between 3 to 5 mm from porous materials like pumice, slags, expanded perlite, claydite and others are used as aggregates in such mortars.

Heavy-weight mortars with an average density of 2200 kg/m3 and higher are applied for plastering of x-ray cabinets and apartments, in which the work with radioactive isotopes are carried out. Portland cement or blast furnace cement are applied as the binder materials in such mortars, as aggregates are used barite or other heavy-weight rocks.

6.49. В'яжучі і наповнювачі сухих будівельних сумішей
Binders and fillers for dry building mixtures

Для виготовлення сухих сумішей в більшості випадків використовують звичайний і білий портландцемент. Найбільш доцільне звичайно використання портландцементу без мінеральних добавок, яке забезпечує необхідну стабільність хіміко-мінералогічного складу і властивостей в'яжучого. При необхідності забезпечити прискорене твердіння сумішей застосовують цементи підвищеної дисперсності. Білий цемент використовують для виготовлення шпаклівок, декоративних штукатурок і спеціальних видів клеїв.

Для швидкотверднучих сумішей використовуваних для аварійно-ремонтних робіт, розширних композицій як в'яжуче застосовують глиноземистий цемент.

Гіпсові в'яжучі використовують як добавки в цементні суміші і як основні структуроутворюючі компоненти в шпаклювальних і інших опоряджувальних складах.

Для підвищення пластичності цементних сумішей і регулювання деяких інших властивостей в сухі суміші вводять гідратне вапно. Вологість вапна повинна бути не більше 2%, високі вимоги пред'являються до повноти гасіння і зернового складу вапна.

Полімерні в'яжучі в сухих сумішах застосовують у порошкоподібному стані.

Як наповнювачі сухих сумішей використовують кварцовий пісок, крейду, вапняк, мікрокремнезем, каолін, доломіт, легкі мінеральні матеріали.

Найбільш широка номенклатура сухих сумішей виробляється з застосуванням кварцевого піску. Небажаним є, як правило, вміст в піску глинистих (більше 0,5…1,5%) і пилоподібних домішок, які різко підвищують водопотребу сумішей і усадку, знижують міцність зчеплення покриттів з основою і чинять негативний вплив на їхню морозостійкість. У той же час деяке збільшення в піску дрібнозернистих фракцій сприяє підвищенню водоутримуючої здатності сумішей, їхньої щільності.

For manufacturing of dry mixtures in most cases ordinary and white Portland cements are used. Application of Portland cement without mineral admixtures that provides the required stability of chemical-mineralogical composition and properties of the binders is the most preferable. To provide accelerated hardening of mixtures is required to apply high dispersion cements. White cement is used for spackling manufacturing, decorative plasters and special kinds of glue.

For rapid-hardening mixtures, which are used for repair works, and also for expanding compositions, alumina cement is used as binder.

The gypsum binders are applied as the admixtures in cement mixtures and as the basic binders in spackling and other finishing compositions.

Hydrated lime can be added in cement mixtures to increase plasticity and for regulation of some other properties. Humidity of hydrated lime should be no more than 2 %, also completeness of slaking of lime must be guaranteed.

Polymer binders in dry mixtures are applied in the powdered state.

Quartz sand, chalk, limestone, microsilica, kaolin, dolomite, etc are applied as fillers for dry mixtures.

The widest nomenclature of dry mixtures is made with application of quartz sand. The content in sand clay (more than 0.5…1.5 %) and powder-like impurities, which sharply increase

Національний університет
водного господарства
та природокористування

water requirement and shrinkage, reduce strength and adhesion with the base, decrease frost-resistance is undesirable. At the same time some increase in sand of the fine-grained fractions improves the water-retaining ability of mixtures and their density.

6.50. Добавки-модифікатори сухих сумішей
Additives-modifiers of dry mixtures

Регулювання будівельно-технологічних і експлуатаційних властивостей сухих сумішей досягається введенням різноманітних хімічних добавок – модифікаторів.

Для сумішей, що наносяться тонким шаром на пористі поверхні, важливо забезпечити необхідну водоутримуючу здатність. Швидке поглинання води основою не тільки приводить до втрати матеріалом пластичності, але і є причиною недостатньої гідратації в'яжучого, зниження міцності, адгезії і морозостійкості.

Модифікування сухих сумішей для поліпшення їхньої водоутримуючої здатності, пластичності, життєздатності досягається введенням добавок на основі складних ефірів целюлози, гідроксиетил- і гідроксипропілцелюлози в кількості 0,05…0,5%.

Для підвищення водоутримуючої здатності сухих сумішей вводять також бентонітові глини – природні алюмосилікати, які характеризуються високою дисперсністю, набряканням, іонообмінною здатністю.

Більш високий рівень модифікації забезпечується шляхом введення до складу сухих сумішей *редиспергованих сополімерних порошків*, які можуть виступати як добавка або самостійне полімерне в'яжуче. Редиспергувані порошки одержують висушуванням водних дисперсій полімерів звичайно методом розпилювального сушіння.

При дозуванні редиспергованих сополімерних порошків від 0,5 до 5% значно поліпшуються технологічність сумішей, адгезія до основи, знижується водопоглинання (рис.6.20), підвищуються міцність на згин, водостійкість, морозостійкість. При дозуванні 5...7% редиспергувані порошки починають працювати як самостійні полімерні в'яжучі. Матеріали модифіковані ними набувають пластичні властивості, більш високу деформативність при навантаженнях, кращу стійкість при стиранні.

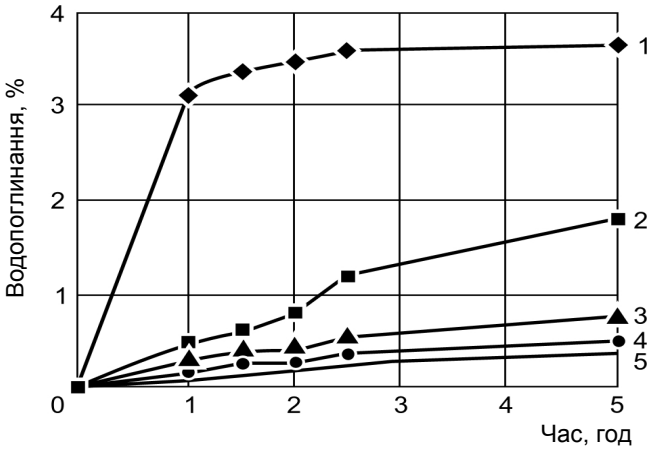

Рис. 6.20. Водопоглинання мінеральних штукатурок залежно від вмісту редиспергованого полімерного порошку: 1 – вміст порошку 0,5%; 2 – 1%; 3 – 1,5%; 4 – 2%; 5 – 5%

Fig. 6.20. Relationship between plaster water absorption and content of redispersible polymer powder: 1 – powder content 0.5%; 2 – 1%; 3 – 1.5%; 4 – 2%; 5 – 5%

Ряд хімічних добавок надають сухим сумішам підвищеної тіксотропності, мають розріджувальний ефект, регулюють строки тужавлення, прискорюють твердіння й ін.

Найбільш ефективними розріджувальними добавками є суперпластифікатори – продукти поліконденсації меламінфор-мальдегіду, полікарбоксилату, поліетиленгліколю.

Для уповільнення строків тужавлення гіпсових в'яжучих застосовують добавки (лимонна кислота й ін.), які дозволяють збільшувати час роботи з гіпсом пропорційно їхньому дозуванню (0,01…0,08% за масою).

Ефективними прискорювачами твердіння є форміати кальцію і їхні модифікації, застосовувані в кількості 1…4% від маси в'яжучого.

В комплекс спеціальних хімічних добавок входять: диспергатори, пороутворювачі, антиспінювачі, гідрофобізатори, консерванти й ін.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Regulation of technological and operational properties of dry mixtures can be realized by application of various chemical admixtures – modifiers.

For the mixtures, placed by a thin layer on porous surfaces, it is important to provide required water-retaining ability. Fast absorption of water by the base leads not only to loss of the plasticity of the material, but also to insufficient hydration of the binders, decrease of strength, adhesion and frost-resistance.

Modification of dry mixtures for improvement of their water-retaining ability, plasticity, suitability is by application of admixtures based on cellulose esters – hydroxyethyl methylcellulose and hydroxypropyl cellulose (0.05…0.5 % by weight).

To increase the water-retaining ability of dry mixtures, bentonitic clays(-natural aluminum silicates) can be added also, which are characterized by high dispersion, swelling capacity, ion-exchange ability.

Higher level of modification is achieved by adding *redispersible polymer powders* in the composition of dry mixtures, which can represent itself as the admixture or the polymer binder. Redispersible powders are obtained by drying of water dispersions of polymers usually by a spray drying method.

A dosage of redispersible polymer powders from 0.5 to 5% considerably improves adaptability of mixtures, adhesion to the base, decrease water absorption (fig. 6.20). At a dosage 5…7 % redispersible powders start to work as a polymer binder. The materials modified by them start to have elastic properties; higher resistance to load deformation; and better resistance against abrasion.

A number of chemical admixtures can be added into dry mixtures to increase thixotropy and diluting effect; regulate setting time, accelerate hardening, etc. The most effective diluents are super– and hyper plasticizers – products of polycondensation of naphthalene and melamine formaldehyde, polycarboxylate, polyethyleneglycol.

Admixtures (citric acid, etc.) which delay the setting time of gypsum binders are applied. They enable an increase in the operating time of gypsum proportional to their dosage (0.01…0.08 % by weight). Effective hardening-accelerating admixtures are calcium formiates and their modifications. Their content is 1…4 % by weight of the binder.

Dispersants, porophores, defoaming and water–repellent agents, etc. can be added into compositions as special chemical admixtures.

6.51. Залізобетон. Загальні відомості
Reinforced concrete. Overview

Більшість будівельних конструкцій працюють при дії напружень, як при стиску, так і при розтягу. Бетон має відносно низьку міцність при розтягу. Для комплексного сприймання напружень стиску і розтягу використовують *залізобетон* – композиційний матеріал, в якому раціонально співпрацюють і поєднуються бетон та стальна арматура (рис. 6.21). Спільна робота бетону і сталі в одному матеріалі можлива за рахунок їх високого зчеплення і близьких значень коефіцієнтів термічного розширення. Крім того, в лужному середовищі твердіючого бетону при утворенні достатньо щільного захисного шару стальна арматура добре захищена від корозії.

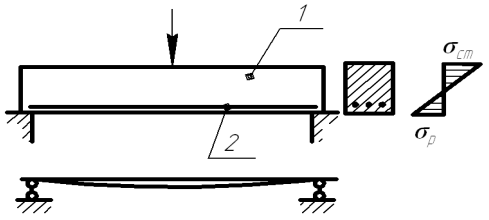

Рис.6.21. Схема роботи арматури в залізобетонному елементі: 1– бетонний елемент; 2– арматурний стержень
Fig. 6.21. Diagram of reinforcement work in a reinforced concrete element: 1- concrete element; 2- reinforcing bar

Залізобетон є основним конструкційним матеріалом сучасного будівництва. Цьому

Національний університет
водного господарства
та природокористування

сприяють його високі механічні властивості, довговічність, доступність сировинної бази, можливість виготовлення конструкцій любих форм, які відповідають самим різноманітним архітектурним та технологічним вимогам.

Залізобетонні конструкції за способом виготовлення поділяють на *монолітні* (зводять в опалубці безпосередньо на будівельному майданчику), *збірні* (монтують з виробів заводського виготовлення) та *збірно-монолітні* (поєднують збірні залізобетонні елементи і монолітний бетон або залізобетон).

Збірні залізобетонні конструкції порівняно з монолітними мають ряд переваг: спрощується організація робіт на будівельних майданчиках, оскільки основні операції з армування, укладання і твердіння бетонної суміші виконують на заводах, скорочуються строки будівництва та підвищується продуктивність праці тому, що виключаються опалубочні роботи, можливий випуск великорозмірних елементів підвищеної заводської готовності.

Досвід монолітного будівництва показує, що воно у ряді випадків має техніко-економічні переваги перед збірним: дозволяє знизити одноразові витрати на створення виробничої бази, витрати сталі, цементу та енергії. Монолітні конструкції дозволяють суттєво підвищити експлуатаційні характеристики будівель, урахувати сумісну роботу елементів, забезпечити їх високу надійність в роботі. Особливий ефект має місце при монолітному будівництві в сейсмічних районах, де економія металу досягає до 20%.

Питання про використання збірного або монолітного залізобетону розв'язується на основі техніко-економічних обґрунтувань.

Most building structures are subject to the action of compressive and/or tension stresses. Concrete has a relatively low tensile strength. For complex resistance of compressive and tensile stresses *reinforced concrete-composite* material, in which concrete and steel reinforcement are rationally combined and co-work is used (fig. 6.21). The combination of concrete and steel in one material is possible due to their high adhesion and similar values of thermal expansion coefficients. Furthermore, in the alkaline environment existing in hardened concrete, steel reinforcement is well protected against corrosion due to the formation of a dense protective concrete cover.

Reinforced concrete is the most commonly used construction material in the modern construction industry. This is due to its high strength properties, durability and availability of raw materials sources, possibility of production of structures of any forms, to meet various architectural and technological requirements.

Depending on the method of production, reinforced concrete structures are divided into *monolithic* (placed in the form directly at the construction site), *precast* (assembled from prefabricated elements) and *precast-monolithic* (combine precast reinforced concrete elements and monolithic concrete or reinforced concrete).

Precast reinforced concrete structures by comparison with monolithic have a number of advantages. These include: organization of works is simplified on site, the basic operations of reinforcing, placing and hardening of concrete mixture are performed at the plants, duration of construction is shortened and the labour productivity increases because the casting works are excluded, the output of large size elements with enhanceable manufacture readiness is possible.

Experience of monolithic construction shows that it has also technical and economic advantages over the precast ones in a number of cases. It allows reduction with respect to non-permanent charges on creation of production base, expense of steel, cement and energy. Monolithic structures allows a substantial promotion of the performance and reliability parameters of buildings. Monolithic construction plays a special role and effect in seismic areas where the metal saving reaches 20%.

The question of whether to apply precast or monolithic reinforced concrete is solved on the basis of a feasibility study.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.52. Види арматури
Types of reinforcement

Основними видами *арматурних елементів* для залізобетонних конструкцій є сітки, плоскі і просторові каркаси. Сітки виготовляють із дроту і використовують як монтажну арматуру. Плоскі каркаси виготовляють із робочих та розподільних стержнів, використовуючи їх як несучі елементи. Просторові каркаси можуть мати прямокутний, тавровий і круглий переріз, їх використовують для армування колон, балок, труб, опор і т.п. (рис. 6.22).

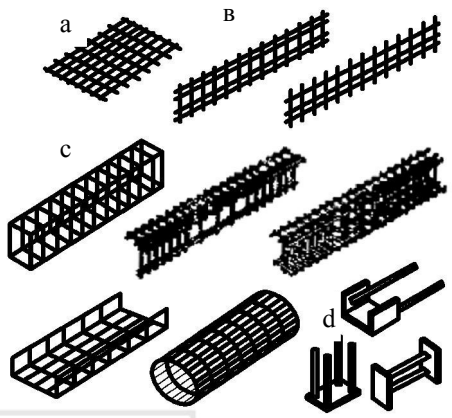

Рис. 6.22. Арматура залізобетонних виробів: a– сітка; в– плоскі каркаси; c– просторові каркаси; d– закладні деталі
Fig.6.22. Reinforcement of reinforced concrete elements: a– mesh; b– flat cages; c– spatial cages; d– embedded elements.

Попередньо-напружені збірні залізобетонні конструкції армуються окремими дротами та стержнями, дротяними пасмами і пучками, а також дротяними пакетами з різним числом струн. Вибір типу арматури, яка напружується, залежить від виду виробів і обладнання для натягування арматури.

Виготовлення арматури включає: підготовчі операції; зварку стержнів із окремих коротких прутків, розмітку та розріз стержнів на елементи необхідної довжини, згин та надання їм заданої проектної конфігурації, складання і зварювання арматурних конструкцій.

Найбільш відповідальними при виготовленні арматури є зварювальні операції. Для з'єднання арматурних стержнів при їх заготівці для забезпечення подальшої безвідходної різки застосовують контактне стикове зварювання (рис. 6.23). При виготовленні арматурних виробів розповсюджене контактне точкове зварювання (рис. 6.24).

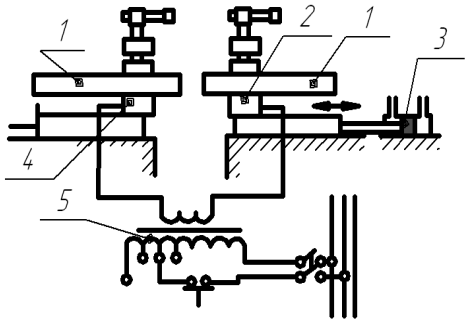

Рис.6.23. Схема стикового зварювання арматури: 1– арматурні стержні; 2– рухомий зажим; 3– механізм для зближення і зажимання стержнів; 4– нерухомий зажим; 5– трансформатор
Fig.6.23. Scheme of the butt welding of reinforcement: 1–bars; 2– mobile clamp; 3– echanism for rapprochement and clamping of bars; 4– immobile clamp; 5–transformer.

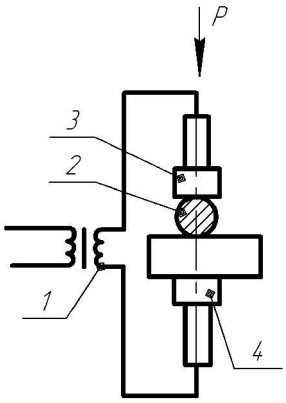

Рис. 6.24. Схема контактного точкового зварювання арматури: 1 – трансформатор; 2 – арматурні стержні; 3 – рухомий зажим; 4 – нерухомий зажим
Fig. 6.24. Scheme of the contact point welding of reinforcement: 1–transformer; 2– bars; 3– mobile clamp; 4 – immobile clamp.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Суть контактного зварювання полягає в з'єднанні металічних елементів при розігріванні їх електричним струмом і прикладанні механічного зусилля. При проходженні струму через зварювані елементи найбільше виділення теплоти відбувається на місці стика.

Для виробництва арматурних елементів і конструкцій засто-совують механізовані і автоматизовані лінії, оснащені високо- продуктивним обладнанням.

The basic types of *reinforcement elements* for reinforced concrete structures are reinforcing meshs, flat and spatial cages. Meshs are made from a wire and used as an assembling reinforcement. Flat cages are made of work and distributive bars, using them as bearings elements. Spatial cages can have a rectangular, t-shaped and round cross-section. They are used for reinforcing of columns, beams, pipes and others like that(fig. 6.22).

Prestressed precast reinforced concrete structures are reinforced by separate wires and bars, by wire strands and bundled burs, and also by wire packages with the different number of strings. A choice of prestressed reinforcement, depends on the type of products and equipment for tendon jacking.

Production of reinforcement includes: preparatory operations; welding of bars from separate short small twigs, marking and cut of bars on the elements of required length, bend and grant to them the set project configuration, drafting and welding of reinforcement products.

The most responsible processes of producing reinforcement are welding operations. The contact butt welding is applied for connection of reinforcement bars and providing of subsequent non-waste cutting (fig. 6.23). The contact point welding is widespread for producing reinforcement products (fig. 6.24).

The essence of contact welding is in connection of metallic elements when warming-up by an electric current and application of mechanical effort. The most heat release takes place at the bars joints as a result of passing current through weldable elements.

Mechanized and automated lines, equipped by highly productive equipment are applied for the production of reinforcement elements and structures.

6.53. Способи армування залізобетону
Reinforcing methods

Розрізняють звичайне та попередньо напружене армування. Звичайне армування, хоча і збільшує несучу здатність конст-рукцій, має обмежені можливості, зумовлені незначною роз-тяжністю бетону – 0,1...0,15 мм/м. При таких деформаціях на-пруження в розтягнутій арматурі невеликі і складають приб-лизно 20...25% її розрахункової міцності. Підвищення міцності бетону в незначній мірі підвищує його розтяжність. Тому вже при порівняно невеликих навантаженнях в бетоні розтягнутої зони конструкцій виникають тріщини, збільшуються прогини, в тріщини проникають волога та гази і розвивається корозія стальної арматури.

Подолання цього деформаційного бар'єру можливе за рахунок використання попередньо напружених конструкцій, вперше здійсненого на практиці в 1928 р. французьким інженером Е.Фрейсине.

Суть *попереднього напруження* полягає в обтисканні бетону натягнутою арматурою (рис. 6.25). Для того, щоб змінити знак напруження, діючого в бетоні попередньо напруженої конструкції, необхідно перш за все нейтралізувати наявне обтискання. При цьому необхідно мати на увазі, що можлива деформація бетону при стиску в 20...25 раз перевищує граничний розтяг.

Найважливішими наслідками попереднього напруження є збільшення тріщиностійкості, економія арматури та зниження маси конструкцій або їх укрупнення. Економія арматури обумовлена можливістю використання надміцної сталі, яка не може бути раціонально використана при звичайному армуванні. В останньому випадку з підвищенням

Національний університет
водного господарства
та природокористування

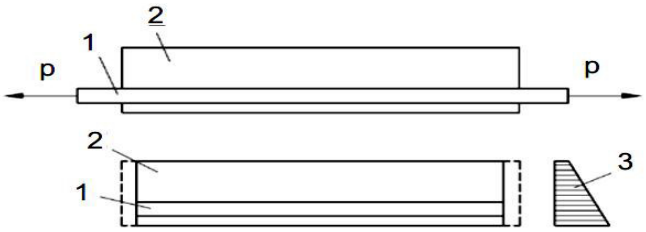

Рис. 6.25. Схема попереднього напруження арматури:
1– арматура; 2– бетонний елемент; 3– епюра напружень
Fig. 6.25. Scheme of reinforcement prestressing:
1– reinforcement; 2 – concrete element; 3 – stress diagram.

робочого напруження зростає і розтяг надміцної стальної арматури в порівнянні зі звичайною сталлю, що приводить до появи тріщин в розтягнутій зоні залізобетонного елемента та втраті ним несучої здатності.

Завдяки попередньому напруженню стало можливим виго-товити конструкції (плити, балки, ферми) для перекриття вели-ких прогонів (більше 9 м), тонкостінні просторові конструкції (оболонки двоякої кривизни, панелі-оболонки розмірами на про-гін 12, 18 і 24 м) споруд різного призначення і т.д.

З попередньо напруженого залізобетону організовано виго-товлення труб великого діаметру для напірних водопроводів, опор високовольтних ліній електропередач і ряду інших конструкцій.

There is ordinary and prestressed reinforcing. Although ordinary reinforcing increases the load-carrying ability of structures, it has some limited possibilities, predefined by insignificant stretchability of concrete – 0.1-0.15 mm/m. Stresses in the tensioned reinforcement are small at such strains and make up approximately 20–25% of its calculated strength. Increase in concrete strength increases its stretchability insignificantly. That is why cracks exist in the tension regions of concrete structures at comparatively low loadings. On formation of cracks, deflections are increased, moisture and gases get to the cracks and corrosion of the steel reinforcement becomes inevitable.

This shortcoming may be overcome through the use of prestressed structures, first carried out in practice in 1928 by the French engineer E. Freyssinet.

The essence of *prestressing* is demonstrated in the concrete compression with the tensioned reinforcement shown in (Fig. 6.25). In order to change the sign of tension, which is acting in the concrete of prestressed structure, it is required foremost to neutralize the compression of concrete. At the same time it is required to mean that possible deformation of concrete at a compression exceeds limit tension in 20…25 times.

The most important consequences of prestressing is increasing of crack resistance, reinforcement saving and decline of structures mass or their enlargement. Reinforcement saving is caused by possibility of the use of high-strength steel, which can not be rationally used for ordinary reinforcing. In the later case tension of high-strength steel reinforcement increases with the increase of working stress in comparison with ordinary steel, which results in crack appearance in the tension region of reinforced concrete element and loss of load-carrying ability by it.

Due to prestressing it is possible to produce structures (slabs, beams, trusses) for covering of large spans (more than 9 m), thin-walled spatial structures (doubly curved shells, panels-shells span-sized 12, 18 and 24 m) for structures of differing purposes, etc.

Production of large diameter pipes for penstocks, supports of high-voltage lines of electricity transmissions and a series of other structures is performed using prestressed reinforced concrete.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.54. Способи попереднього напруження арматури
Methods of reinforcement prestressing

При виробництві збірних залізобетонних виробів попереднє напруження може проводитися до затвердіння бетону і після набуття ним деякої міцності. Перший спосіб *("натягання на упори")* більш розповсюджений. Суть його полягає в тому, що укладена в форму арматура закріплюється на опорі і натягується. Звільняється від натягу арматура після заповнення форми бетонною сумішшю і твердіння бетону. При другому способі *(«натягання на бетон»)* арматура розмішується в спеціально залишеному в бетоні каналі і натягується вже після твердненння. Необхідне зчеплення натягнутої арматури з бетоном досягається за допомогою ін'єктування в канали конструкції цементного розчину. В обох випадках звільнена від натягу арматура, прагне повернутися в початкове положення, скорочується і обтискує залізобетонні елементи.

Можливий також натяг арматури, заснований на розширенні спеціального розширного цементу після набуття бетоном міцності 10...20 МПа. Арматура, яка розтягується, мас достатнє зчеплення з бетоном, обтискує його і забезпечує ефект самонапруження.

Надійне зчеплення з бетоном досягається при використанні арматури з періодичним профілем, витої арматури, а також арматури, на кінцях якої встановлюють додаткові анкерні пристрої.

Натягання арматури реалізують механічним, електротермічним, електротермомеханічним і хімічним способами. Механічне натягання арматури здійснюють гідродомкратами та іншими пристроями, електротермічне базується на використанні лінійного розширення арматури при його нагріванні електричним струмом.

Кінці видовженої арматури закріплюють в захватах (при натяганні на упори) або ж анкерами (при натяганні на бетон), внаслідок чого в ній виникає напруження.

При електротермічному натяганні арматура натягується механічним пристроєм і одночасно нагрівається електричним струмом.

Хімічний натяг здійснюється при використанні напружуючих цементів, які мають високу енергію розширення.

During the production of precast reinforced concrete elements prestressing can be conducted either before the concrete hardens or after it has acquired some strength. The first method (*pre-tension*) is more widespread. The essence of it is that the reinforcement is placed in a form, fixed and then tightened. The form is filled with concrete mixture and the reinforcement are freed of tension after the concrete has hardened. At the second method (*post-tension*), reinforcement is placed in special channels left in concrete and are tightened after the concrete hardened. The required adhesion of the tensioned reinforcement with concrete is achieved by injection of cement mortar in the channels. In both cases reinforcement, released of tension, tends to return back to its initial position, shortens and wrings out the reinforced concrete elements.

It is also possible to cause tensioning of reinforcement, due to expansion of special expanding cement after the concrete has acquired a strength of 10…20 MPa. The stretched reinforcement has sufficient adhesion with concrete, compresses it and provides the effect of self-stressing.

A reliable adhesion with concrete is obtained with corrugated bars, twisted reinforcement, and also reinforcement which have additional anchor devices set on their ends.

Stretching of reinforcement is realized by mechanical, electro- thermal, electro- thermo-mechanical and chemical methods. The mechanical stretching of reinforcement is carried out by hydraulic jacks and by other devices. Electro-thermal stretching is based on using the linear expansion of reinforcement, heated by an electric current.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The ends of the extended reinforcement fasten in grip vice (at stretching on stressing abutments) or by anchors (at stretching on a concrete), as a result there is tension in it.

Reinforcement is stretched by mechanical device and simultaneously heated by an electric current during the electro-thermal stretching.

Chemical tensioning occurs through use of expanding cements, which have high energy of expansion.

6.55. Способи виробництва залізобетонних виробів
Methods of production reinforced concrete products

Виробництво залізобетонних виробів складається із наступних основних процесів: приготування бетонної суміші; виготовлення арматурних елементів; формування виробів; твердіння бетону; звільнення виробів із форми; їх опорядження; комплектування будівельних деталей для підвищення їх заводської готовності.

Технологічні процеси здійснюються на поточних лініях в формах, які переміщуються, або ж в нерухомих формах. В першому випадку форми при виготовленні виробів переміщуються від одного спеціалізованого поста (наприклад, укладання і ущільнення бетонної суміші, натягання арматури і т.д.) до другого, в другому випадку форми на протязі всього виробничого процесу нерухомі, переміщується необхідне технологічне обладнання.

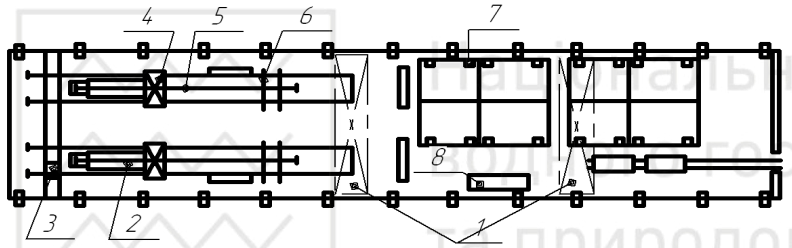

Рис.6.26. Агрегатно–потокова лінія для виробництва плит перекриття: 1 – кран мостовий; 2 – віброплощадка; 3 – бункер роздаточний; 4 – бетоновкладальник; 5 – роликовий конвеєр; 6 – установка для натягування арматури; 7– пакетувальник форм; 8 – стенд контролю та ремонту виробів

Fig. 6.26. Cycle-production line for the production of ceiling slabs: 1– overhead (traveling) crane; 2 – vibratory table; 3– distributing hopper; 4– concrete placer; 5– roller conveyer; 6– equipment for reinforcement tension; 7– packetization of forms; 8– table for control and finishing the elements.

Виготовлення виробів в формах, які переміщуються, здійснюється на поточно-агрегатних, напівконвейєрних і конвейєриих технологічних лініях,

Поточно-агрегатний спосіб виробництва (рис, 6.26) передбачає формування виробів на установках – агрегатах, які включають формовочну машину (наприклад, віброплощадку); бетоновкладальник і машину для укладки форми на пост для формування (формовка-дальник). Відформовані виробі з формами переміщують в камери твердіння, а потім розпалублюють і направляють на склад, а вивільнені форми готують до наступного циклу.

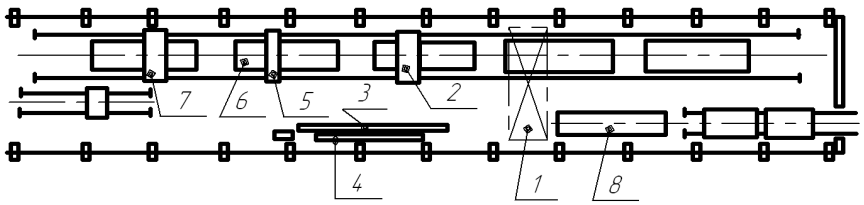

Рис. 6.27. Схема стендової лінії по виробництву комплексних плит: 1– кран мост**овий; 2,7– бетоновкладальники; 3– машина для зміц-нювання стержнів**; 4– лінія зварювання стержнів; 5– машина для вкладання пароізоляції; 6– силова форма; 8– пост нанесення гідро-ізоляції

Fig. 6.27. Scheme of casting bed line the production of complex slabs: 1- overhead (traveling) crane; 2,7– concrete packers; 3- machine for bars strengthening; 4-line of bars welding; 5-machine for insetting of vapor sealing; 6- power form; 8- post waterproofing coating.

Конвеєрний спосіб виробництва відрізняється від поточно-агрегатного поділом технологічного процесу на окремі операції і певним ритмом, інакше кажучи, однаковою тривалістю виконання операцій. Розділяють конвеєри крокової (візкової) і безперервної дії (пластинчасті та ін.).

При *стендовому способі* (рис. 6.27) вироби

Національний університет
водного господарства
та природокористування
виготовляють в нерухомих формах або на спеціально обладнаних стендах. Стен-дова технологія особливо доцільна при виготовленні крупнорозмірних і попе-редньо напружених виро-бів, її застосовують також в умовах полігонів, коли теплова обробка здійсню-ється в напольних камерах або в термоформах.

Різновидом стендо-вого є *касетний спосіб* виробництва, особливістю якого є формування виробів у вертикальному положенні в стаціонарних роз'ємних групових формах-касетах.

The production of reinforced concrete elements consists of the following basic processes: preparation of concrete mixture; production of reinforcing elements; products casting; hardening of concrete; demolding of products; their facing; completing of construction details for the increase of their factory readiness.

Technological processes are carried out on production lines in moulds, which move, or are immobile. In the first case, the moulds for manufacturing the products move from one specialized post (for example, placing and compacting of concrete mixture, reinforeement tension, etc.) to another one. In the second case, the moulds are immobile during all production process but the required technological equipment moves.

Making of products in movable moulds is carried out, using cycle-production and conveyer technological lines.

Cycle method of production (fig. 6.26) is foreseen for forming of products on hardware devices, which include forming machine (for example, vibroground); concrete packer and machine for the stacking of moulds on casting post (mould packer).

Molded elements are transferred to the hardening chambers, and then taken out and sent to a warehouse, and disengaged moulds are prepared for the next cycle.

The *continuous (conveyer) method* of production differs from the cycle method by division of technological process on separate operations and certain rhythm, otherwise speaking, by identical duration of operations. The conveyers are divided into foot-pace and continuous action.

Concrete casting bed method (fig. 6.27) products produce in immobile moulds or on the specially equipped stands. Stand technology is expedient especially at producing of large size and prestress products.

Cassette method of production is a kind of casting bed process, the feature of which is forming of products upended in stationary sectional group moulds-cassettes.

6.56. Шляхи економії цементу
Ways of cement saving

Економія цементу у виробництві бетону і залізобетону досягається усуненням його виробничих втрат, вдосконаленням проектних рішень, технологічних процесів, форм і методів організації виробництва, широким використанням відходів та вторинних продуктів промисловості.

Значна частина втрат цементу має місце через нераціональне використання цементів різних видів і марок, використання їх не по призначенню, змішування різних марок цементу, відвантаження гарячих цементів з активністю нижче марочної.

Втрати цементу зв'язані з використання неякісних заповнювачів бетонної суміші. Кожний процент забрудненості щебеню, наприклад, дорівнює додатковим витратам приблизно 1% цементу.

Значна частина втрат цементу обумовлено недосконалістю технології виробництва збірного залізобетону і бетону, використанням не відповідаючого вимогам обладнання для транспортування, розвантаження і дозування цементу, втратам при його збереженні, приготуванні та транспортуванні бетонної суміші, збільшенням міцності бетону в порівнянні з проектними показниками, зносом оснащення, випуском бракованої продукції і тому

Національний університет
водного господарства
та природокористування
подібне. Встановлено, що втрати цементу в середньому у 10 разів менші при транспортуванні його в цементовозах, ніж в простих вагонах, і у 40 разів менше, ніж у відкритому рухомому составі.

Зниженню витрат цементу за рахунок зменшення перетину залізобетонних елементів і їх маси сприяє використання надміцних бетонів і попередньо напружених конструкцій.

Значна частина втрат цементу за рахунок зменшення перетину залізобетонних елементів і їх маси сприяє використання надміцних бетонів і попередньо напружених конструкцій.

Значні резерви зниження витрат цементу зв'язані з широким використанням легких бетонів. Хоча при використанні легких бетонів замість важких в багатьох випадках необхідні збільшені витрати цементу на 1 $м^3$, однак з урахуванням зменшення перетину конструкцій витрати цементу в цілому зменшуються.

Потужним засобом зниження витрат цементу є хімічні добавки. Так, використання суперпластифікаторів дозволяє зменшити витрати цементу на 15...20% без погіршення властивостей бетону.

При використанні дрібних пісків на 5...20% витрати цементу знижують введенням укрупнювальних добавок, в тому числі класифікованого кам'яного відсіву, відходів гірничозбагачуючих комбінатів, шлаків ТЕС.

Використання в оптимальній кількості золи-виносу як добавки в бетонну суміш дозволяє економити цемент до 50...70 $кг/м^3$ і більше.

Значна економія цементу може бути досягнута при оптимізації складу бетонних сумішей, урахуванні зростання міцності бетону після теплової обробки, розширенні об'єму виготовлення конструкцій з мінусовими допусками по розмірам і за рахунок інших технологічних заходів.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The saving of cement in the production of concrete and reinforced concrete is achieved by the removal of its production losses, by improving project decisions, technological processes, forms and methods of production organization, wide utilization of industrial wastes and by-products.

Part of cement’s losses take place through the inefficient use of cements of different kinds and strength, their use for the wrong purpose, mixing of different grades of cement, shipping of hot cements with activity lower normalized.

Part of cement’s losses is due to the use of low-grade aggregates in concrete mixtures. Every percent of muddiness of the crushed stone, for example, equals additional amount approximately 1% of cement.

A significant part of cement losses are conditioned by imperfections in the technology of manufacturing of the reinforced concrete products; the use of inappropriate equipment for transporting, unloading and dosage of cement; losses due to preparation and transporting of concrete mixture, the increase of strength of concrete in comparison to specific project indexes; wear of equipment, issue of defective products. It is has been established that, on average, cement losses are 10 times less if transportation is in cement truck, than in simple carriages, and about 40 times less in open transport vehicles.

Reduction in cement content is promoted by use of high-strength concretes and precast reinforced structures, which are proven to have reduced cross-section of the elements and their mass.

Considerable saving on the cost of cement is related to wide use of lightweight concrete. The use of lightweight concrete instead of normalweight one usiaally increases the cement content per m^3. However, taking into account the reduction in cross-sectional dimensions, the overall expenses on cement is reduced.

Chemical admixtures are a most powerful means for reduction of the cement content in concrete. The use of superplasticizers allows the reduction of cement content by 15…20% without worsening the concrete properties.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

In mortars, containing fine sands, the content of cement may be reduced by 5…20% by introducing enlarger admixtures into the concrete mixture. The admixtures may be classified stone sifting out, wastes from ore mining and processing enterprises, or slag, produced as waste from power plants.

The use of fly ash in the optimum amount as an admixture in concrete mixture allows cement saving of up to 50…70 kg/m^3, and more.

A considerable saving of cement can be attained by optimization of composition of concrete mixtures, taking into account growth of concrete strength after thermal treatment, expansion of volume of products' manufacturing with negative tolerances to the sizes and due to other technological means.

6.57. Шляхи економії палива
Ways of fuel saving

Найбільш енергозатратною операцією у виробництві залізобетонних виробів є тепловологісна обробка – пропарювання. Основна причина перевитрат палива при пропарюванні – незадовільний стан пропарювальних камер та засобів контролю витрат пару. Невиробничі втрати палива знижують шляхом збільшення теплового опору пропарювальних камер, зменшення теплової ємності огорож з допомогою різних теплоізоляційних матеріалів і легких бетонів.

Більш економічними в порівнянні з ямними є вертикальні, тунельні, щілинні і низьконапірні камери. В останніх, наприклад, витрати пару на 30...40% нижче, ніж в ямних.

Для економії паливно-енергетичних ресурсів у виробництві збірного залізобетону особливо важливо використання енергозберігаючих технологій. Застосування, наприклад, гарячих сумішей з температурою нагріву 65...70°C дозволяє при виготовленні масивних виробів досягти прискорення теплової обробки на 3,5...4 год. Можливе скорочення тривалості обробки в камерах або касетах з урахуванням подальшого дозрівання виробів досягає 3 год і більше. Значне зменшення температури та тривалості теплової обробки можливе при поєднанні інтенсивних механічних і теплових впливів на бетон (динамотермічна обробка), створенні надлишкового тиску в камерах, використанні більш жорстких сумішей, використанні хімічних добавок – прискорювачів твердіння бетону.

Зниження енергоємності збірного бетону можливе також за рахунок низькотемпературних режимів теплової обробки і урахування теплоти гідратації цементу в процесі прогрівання виробів, застосування безкамерного способу, заснованого на створенні штучного масиву бетону пакетуванням, використання безпарових методів теплової обробки (використання продуктів згорання природного газу, високотемпературних органічних теплоносіїв). В південних районах нашої країни питомі витрати енергії на прискорення твердіння бетону можливо значно знизити, використовуючи сонячну енергію.

Most energy intensive operation in the production of resnforced concrete products is the heat treatment –steaming.The principal reason of overrun of fuel at a steaming is the insufficient state of steam-curing chambers, and lack of controls for steam flow consumption. The non-productive losses of fuel reduce by the increase of thermal resistance of steam-curing chambers, diminishing of thermal conductivity of chambers walls with the help of different heat-insulation materials and lightweight concrete.

In comparison with pit more economical are vertical, tunnel and low downstream chambers. In the last one, for example, charges of steam are about 30…40 % lower than in pit ones.

For the saving of fuel and energy resources in the production of the precast reinforced concrete the use of energy-efficient technologies is of great importance. For example, application of hot mixtures with a heating temperature of 65…70°C results in the acceleration of thermal treatment for 3.5…4 hours during the production of massive elements. Possible reduction of the treatment duration in the chambers or cassettes does take into account the fact that subsequent

Національний університет
водного господарства
та природокористування

curing of products reaches 3 hours and more. Considerable reduction of temperature and duration of thermal treatment is possible through combination of intensive mechanical and thermal influences on concrete, creation of surplus pressure in the chambers, use of more stiff mixtures, use of chemical admixtures to accelerate the hardening of concrete.

The decline of power consumption of precast reinforced concrete is possible also due to low temperature modes of thermal treatment and keeping the heat of hydration of the cement in the process of products warming up, application of non-steam methods of thermal treatment (use of combustion products of natural gas, high temperature organic heat-transfers). In south regions energy consumptions for the acceleration of concrete hardening can be reduced considerably by application of sun energy.

6.58. Азбестоцементні вироби
Asbestos-cement products

Цементний камінь, армований азбестовими волокнами, використовується для *азбестоцементних виробів*, які мають високу міцність як на стиск, так і на розтяг, морозостійкість, низьку водопроникність. Азбестоцементні вироби є теплостійкими, мають понижену теплопровідність. Під дією вологи вони не кородують, міцність їх зростає протягом часу.

До найбільш розповсюджених азбестоцементних виробів належать хвилясті та плоскі листи, труби та з'єднувальні муфти. Азбестоцементні вироби порівняно легко піддаються механічній обробці. Вони значно легші за метал та залізобетон. Середня густина азбестоцементу змінюється від 1400 до 2100 кг/м^3, границя міцності на стиск 40...60 МПа, розтяг – 8...15 МПа, водопоглинання знаходиться в межах від 10 до 30%. Основні недоліки азбестоцементних виробів – це невисока ударна міцність та здатність до короблення.

Вихідними компонентами для виробництва азбестоцементу є азбест, портландцемент і вода.

Азбест складається з мінералів-силікатів, що мають волок-ниcту будову, серед яких у найбільшій мірі розповсюдження та використання набув *хризотил-азбест* – продукт, що отримують при збагаченні азбестової руди. Порівняно з іншими видами азбесту хризотил-азбесст має найбільшу економічну безпечність.

Залежно від довжини волокна, ступеня його розташування та вмісту домішок супутніх порід азбест поділяють на сорти та марки. Внаслідок сильних лінійних та вкрай слабких бокових зв'язків кристалів азбест має високу міцність на розтяг (до 300 МПа) та здатність до розщеплення (розпушування) на тонкі волокна.

Для азбестоцементних виробів застосовують спеціальний вид портландцементу, властивості якого сприяють процесу фільтрації твердої фази в азбестоцементній суспензії та прискореному твердінню виробів.

Технологічний процес одержання азбестоцементних виробів включає розпушування азбесту, ретельне змішування отриманих найтонших волокон з цементом у водному середовищі та утворення суспензії, формування виробів на листо– або трубоформувальних машинах з наступною їх тепловою обробкою. Формування полягає в утворенні з суспензії на сітчастому циліндрі тонкого шару азбестоцементу, його зневодненні та ущільненні. Отримані заготовки волокнистих листів піддають профілюванню, а труб – токарній обробці. Склад азбестоцементної маси коливається в межах: азбесту 13...17%, портландцементу 83...87% (при виробництві труб вміст азбесту декілька вищий, ніж для листових матеріалів). В деяких випадках до портландцементу добавляють 30...40% тонкомеленого кварцового піску.

При зведенні огороджуючих конструкцій виробничих споруд широкого застосування набули *азбестоцементні панелі*.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Розроблено технологію виробництва панелей екструзійним способом, при якому вироби безперервно формуються при допомозі пресу видавлюванням крізь мундштук, обрізаються до потрібних розмірів і надходять на твердіння.

В будівництві широко застосовують *азбестоцементні труби* (рис.6.28).. Залежно від призначення їх поділяють на напірні для влаштування закритих напірних та зовнішніх водопроводів та безнапірні для влаштування внутрішньої та зовнішньої каналізації, прокладання електрокабелів, вентиляції та ін.

Азбестоцементні труби повинні при гідравлічному випробуванні витримувати тиск не менше 0,4…0,6 МПа залежно від категорії якості, мінімальні навантаження при роздавлюванні у водонасиченому стані 3,5…5 кН , при випробуванні на згин – 1,8…4,8 кН.

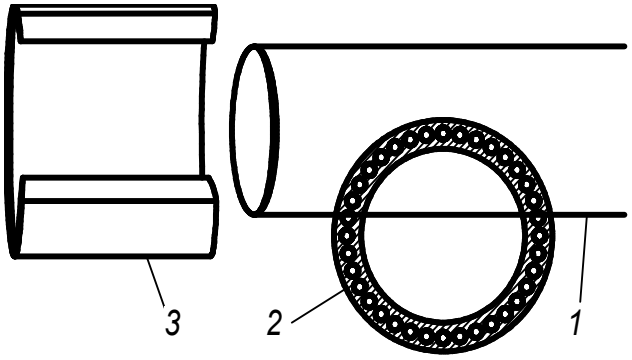

Рис. 6.28. Азбестоцементні труби і з'єднувальні деталі: 1 – труба; 2 – прокладка; 3 – муфта
Fig. 6.28. Asbestos-cement pipes and connecting wares: 1 – pipe; 2 – gasket; 3 – clutch

Азбестоцементні труби мають високу стійкість до корозії і не руйнуються під дією блукаючих струмів. Низька капілярна пористість забезпечує водонепроникність, морозостійкість азбестоцементних труб. Вони значно дешевші і довговічніші ніж сталеві та чавунні труби.

Азбестоцементні труби порівняно з металевими дешевші й у 3…4 рази легші, на них не діють блукаючі струми. Їх недоліки – крихкість, низька кислотостійкість.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Cement stone, reinforced with the asbestos fibers is used for *asbestos-cement products*, which have high compressive and tensile strength, frost-resistance and low water permeability. Asbestos-cement products are heat-resistant, have reduced thermal conductivity. Under the influence of moisture their strength increases over time and they do not corrode.

The most common asbestos-cement products are corrugated and flat sheets, pipes and connective sockets. Asbestos-cement products have relatively good processabilty. They are much lighter than the metal and concrete. Average density of asbestos-cement products changes from 1400 to 2100 kg/m^3, ultimate compressive strength 40…60 MPa, tensile strength – 8…15 MPa, and absorption of water is in the range of 10…30%. The main imperfections of asbestos-cement products are the low shock strength and the ability to buckling.

The initial components for the production of asbestos-cement are asbestos, Portland cement and water.

Asbestos consists from minerals–silicates with fibrous structure, among which the greatest extent distribution and use of acquired chrysotile asbestos – product, obtained by asbestos ore enrichment.

Compared to other types of asbestos chrysolite asbestos is the most environmentally safe.

Due to the strong linear and very weak transversal ties crystals asbestos has a high tensile strength (300 MPa) and the ability to split into thin fibers.

For asbestos-cement products a special type of Portland cement is used, the properties of which contribute to the filtering process of the solid phase in asbestos-cement suspensions and accelerating of products hardening.

Processing of asbestos-cement products involve: asbestos fission; mixing of fine fibers with the cement and water and formation of suspension; molding of products on the sheet – or pipemolding machines with subsequent thermal treatment. Molding is the formation from the

Національний університет
водного господарства
та природокористування

suspension in meshed cylinder of a thin layers of asbestos-cement, their dehydration and compacting. The resultant products of the fibrous sheet are subsequently subjected to profiling, and pipes –turning. Composition of asbestos-cement mass can be the following: 13…17% asbestos, Portland cement 83…87% (content of asbestos is higher at the production of pipes than the sheet aterials). In some cases, finely powdered quartz sand (30…40%) can be added into the Portland cement.

The *asbestos–cement panels* are used for the erection of the industrial buildings.

Asbestos–cement pipes are widely used in the construction. Depending on its purpose, they are divided into:– pressure pipes for arrangement of water-supply systems and non-pressure pipes for arrangement of ventilation and sewerage systems, cable laying, etc.

Asbestos-cement pipes should withstand the hydraulic pressure of not less than 0.4…0.6 MPa, and the minimum crushing load in the water-saturated state is in the range of 3.5…5 kN. These products have high corrosion resistance and do not collapse under the influence of electrical current. Low capillary porosity provides water impermeability and freeze resistance of asbestos-cement pipes. They are much cheaper and durable than steel and cast iron pipes.

Asbestos–cement pipes in comparison with the metal pipes are about 3…4 times lighter. Their imperfections include fragility and low acid resistance.

6.59. Матеріали автоклавного тверднення
Materials of autoclave hardening

Матеріали автоклавного тверднення займають серед стінових конструктивних матеріалів за обсягом виробництва одне з ведучих місць, поступаючись лише керамічній цеглі та збірному залізобетону. Ведуче місце в групі автоклавних виробів належить силікатній цеглі і стіновим виробам з ніздрюватого бетону. Швидкий розвиток виробництва автоклавних виробів пояснюється широкою розповсюдженістю сировини, простотою технології, високою якістю та низькою собівартістю виробів.

Основними вихідними компонентами автоклавних виробів є в'яжучі автоклавного твердіння та заповнювачі. В'яжучі автоклавного твердіння при нормальних температурно-вологісних умовах і при пропарюванні характеризуються порівняно низькою активністю. Однак їх реакційна здатність при температурі та тиску, які розвиваються в автоклаві, суттєво зростає, що й дозволяє отримати штучні кам'яні матеріали високої міцності.

Найбільшого використання при виробництві автоклавних виробів набуло вапняно-кремнеземисте в'яжуче, основними компонентами якого є повітряне будівельне вапно і молотий кварцовий пісок. Роль кремнеземистого компоненту в'яжучих автоклавного твердіння поряд з тонкомеленим піском можуть виконувати зола-винесення, інші промислові відходи.

Тверднення автоклавних виробів здійснюється в результаті хімічних реакцій між компонентами в'яжучого в присутності води за умов високого тиску і температури. Основним хімічним процесом при автоклавній обробці є взаємодія між гідроксидом кальцію, кремнеземом і водою, що супроводжується утворенням гідросилікатів кальцію, які цементують зерна, що не прореагували, створюючи штучні конгломерати. Швидкість реакцій та міцність конгломератів зростає в міру підвищення дисперсності сировинних матеріалів.

Силікатна цегла – штучний безвипалювальний стіновий матеріал, виготовлений із суміші кварцового піску та вапняно–кремнеземистого в'яжучого, шляхом пресування і наступного твердіння в автоклаві під дією пари високого тиску.

Силікатну цеглу застосовують поряд з керамічною для кладки стін надземних частин будівель. Внаслідок недостатньої водостійкості її не можна використовувати для фундаментів та цоколів будівель нижче гідроізоляційного шару.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Блоки з ніздрюватих бетонів використовують для кладки стін будівель з сухим та нормальним режимами приміщень. При застосуванні їх для споруд з вологим режимом внутрішні поверхні стін повинні мати пароізоляційне покриття.

Materials of autoclave hardening are one of the most widespread wall construction materials aside from the ceramic bricks and precast concrete. The silica bricks and wall products from cellular concrete are the most used autoclave products. The abundance of autoclave products is explained by the prevalence of raw materials, simplicity of technology, high quality and low cost.

The main raw materials for manufacture of autoclave products are the binders, used for autoclave hardening and aggregates. Binders of autoclave hardening at normal temperature and moisture conditions and steaming are characterized by relatively low strength. However, their strength increases significantly as the temperature and pressure in the autoclave increase. This allous to obtain an artificial stone of high strength.

Lime – silica binders are the most widespread of the production of autoclave products. Their main components are air-hardening lime and powdered quartz sand. Fly ash and others industrial wastes can also be used as the silica component of these binders along with fine-grained sand.

Autoclave hardening occurs as the result of chemical reactions between components of the binder in the presence of water under high pressure and temperature. The main chemical process during autoclaving is the interaction between calcium hydroxide, silica and water. As a result of this chemical process calcium hydrosilicates are formed. Thus an artificial conglomerate can be obtained. The speed of chemical reactions and strength of the conglomerate are increased, if the initial materials have the higher dispersibility.

Lime–sand bricks are non–fired wall material, made from a mixture of quartz sand and lime–silica binder by pressing and subsequent autoclaving under the action of steam of high pressure.

The lime-sand bricks are used along with ceramic brick for masonry work of overground structures. As the result of insufficient waterproofing, lime–sand bricks cannot be used for foundations of buildings.

Blocks from cellular concrete are used for masonry work of structures involving dry operating conditions.

6.60. Гіпсові вироби
Gypsum products

Будівельний гіпс застосовують для виробництва листів для обшивки стін та перекрить, перегородочних плит та панелей, стінових каменів, архітектурно-декоративних виробів і т.д. Гіпсові та гіпсобетонні вироби мають невелику середню густину, не горять але знижують при зволоженні міцність і характеризуються пластичними деформаціями під дією навантажень. Водостійкість їх зростає при введенні 5...25% вапна або гранульованого доменного шлаку, при просочуванні карбамідними смолами, кремнійорганічними рідинами та ін. В найбільшій мірі водостійкість гіпсових виробів зростає за рахунок використання композиційних гіпсоцементнопуцоланових та гіпсоцементношлакових в'яжучих.

Гіпсові вироби застосовують для опорядження цегляних, залізобетонних, дерев'яних поверхонь житлових, громадських та промислових споруд з сухим та нормальним вологісним режимом повітря в період експлуатації. Підвищення міцності гіпсових виробів при зниженій середній густині досягають при їх дисперсному армуванні волокнистими матеріалами. Один з ефективних шляхів зниження маси гіпсових виробів є створення пористої або ніздрюватої структури введенням до формовочної маси піни або піноутворюючих реагентів.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

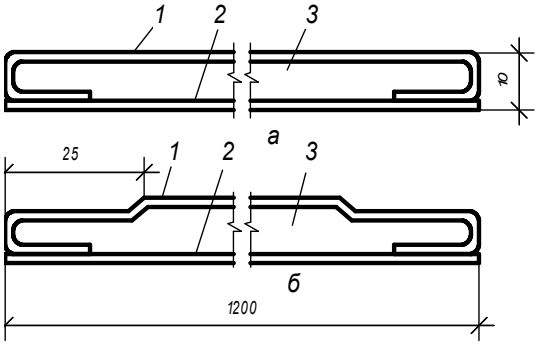

Рис. 6.29. Гіпсокартонні листи:
а - з гладкими ребрами; б - з обжатими ребрами;
1 - картон; 2 -лицевий бік; 3 - гіпсовий камінь
Fig. 6.29. Gypsum paper boards:
a - smooth edge; b - cogged edge; 1 - carton envelope; 2 - front-face surface; 3 - gypsum core.

Високі естетичні властивості і простота технології роблять гіпсові вироби перспективними при оздобленні інтер'єру споруд різного призначення.

За обсягом виробництва на першому місці стоять вироби на основі *гіпсокартонних листів*, декоративний вигляд та звуковбиральні властивості яким надають шляхом перфорації, облицюваня плівковими матеріалами та нанесенням малюнку на картон. Гіпсокартонні листи складаються із затверділої гіпсової серцевини, міцно поєднаної з картонною оболонкою (рис. 6.29).

Гіпсоволокнисті листи на відміну від гіпсокартонних армують не картоном, а рівномірно розташованими по товщині волокнами. Як волокнисту сировину використовують, головним чином, розпушену паперову макулатуру. Основною перевагою гіпсоволокнистих листів порівняно з гіпсокартонними є більш висока міцність.

Gypsum binder is used for the production of gypsum sheets, slabs and panels, wall stones, facing, architectural and ornamental products, etc. Gypsum products are lightweight, have a low density, and are non-combustible. However, they have reduced strength when moistened and are characterized by plastic deformation under the influence of loads. Their water-resistance increases when 5…25% of lime or granulated blast furnace slag, are added and at impregnation with the carbamide resins-silicon, organic fluids, etc. To the greatest extent,water–resistance of gypsum products is increased due to the using of composite gypsum-cement-pozzolanic binders and gypsum–cement-slag binders.

Gypsum products are used for facing bricks, reinforced concrete, wood surfaces of dwelling houses, public and industrial buildings with dry and normal moisture operating conditions. Increasing the strength of gypsum products with reduced average density is achieved by their reinforcement with fibrous materials. One of the most effective ways to reduce the weight of gypsum products is through creating a porous or cellular structure by introduction of foam into the gypsum mixture.

High aesthetic properties and simplicity of technology give gypsum products a very good visual effect when used as facing for structures of different types.

The most widespread are *gypsum paper boards*, the decorative appearance and sound–absorbing properties of which are provided through perforations, facing with film materials and application of drawings on the board. Gypsum paper boards consist of a hardened gypsum core, firmly connected to the carton envelope (fig. 6.29).

Gypsum fibre boards, unlike the gypsum paper boards, are reinforced not by carton, but with uniformly positioned fibers. Loosened waste-paper is used mainly as a fibrous initial material. The main advantage of gypsum fibre boards, as compared with gypsum, is higher strength.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

7. ОРГАНІЧНІ МАТЕРІАЛИ
ORGANIC MATERIALS

7.1. Будівельні матеріали з деревини. Загальні відомості
Building materials from wood. Overview

Під *деревиною* розуміють звільнену від кори тканину волокон стовбура дерева. В будівництві деревину широко застосовують у вигляді пиломатеріалів, фанери, столярних виробів, клеєних конструкцій, збірних дерев'яних будинків, виробів з відходів деревообробки та лісопиляння.

Матеріали з деревини відрізняє від інших ряд позитивних особливостей: порівняно висока механічна міцність за невеликої середньої густини, здатність легко оброблятися, пружність, низька теплопровідність, значна стійкість до поперемінного заморожування і відтаювання та деяким іншим агресивним діям.

До факторів, що обмежують застосування матеріалів з деревини в будівництві, відносяться гігроскопічність, здатність у змінно-вологісних умовах до загнивання, короблення, розбухання і розтріскування, різнорідність фізико-механічних властивостей в різних напрямках (анізотропність), спалимість. Притаманні деревині недоліки в значній мірі усуваються шляхом її модифікації полімерними речовинами, антисептиками, антипіренами.

Найширше застосовується в будівництві деревина хвойних порід. За масштабами застосування хвойних порід в будівництві вони розміщуються в наступний ряд (за зменшенням): сосна, ялина, модрина, ялиця, кедр. Найкращими фізико-механічними властивостями володіє модрина, деревина якої ціниться завдяки високій щільності, міцності і стійкості проти загнивання.

Із листяних порід для відповідальних конструкцій на повітрі і під водою, для паркету, столярних виробів широко застосовується деревина дуба.

З кожним роком все більш важливою стає проблема бережного використання лісових багатств - джерела не тільки будівельної деревини, але й найрізноманітніших хімічних та інших продуктів, а також як одного з головних природних факторів.

З розвитком виробництва збірного залізобетону та інших сучасних будівельних матеріалів застосування деревини обмежується лише дійсно раціональною областю, де її техніко-економічні переваги стають чутливими.

Все більшого значення набуває проблема утилізації відходів заготовки та переробки деревини, виробництва різноманітних матеріалів на їх основі.

Free of a bark fiber fabric of tree trunk is meant by *wood*. The wood is widely applied in construction as saw-timber, plywood, joinery, glued structures, prefabricated wooden houses, elements from the wastes of woodworking and sawmilling.

Wooden materials are distinguished from others by the row of positive features: comparatively high mechanical strength at a small average density, high processability, elasticity, low thermal-conductivity, considerable resistance to the alternate freezing and thawing and some to other corrosive actions.

The hygroscopic property, ability to decay, warping, swelling and cracking under cyclic moisture conditions, heterogeneity of physical-mechanical properties in various directions (anisotropy), flammability belong to the factors limiting application of materials from wood in construction. Inherent failings of wood are largely removed by its modification with polymeric substances, antiseptics, and fire-retarding additives.

The wood of coniferous trees is most widely used in construction. According to the scales of application in construction the softwood (coniferous wood) takes a place in the following row (after diminishing): pine-tree, fir-tree, larch, silver fir,cedar. Larch, which wood is valued due to the high density, strength and resistance against decay has the best physicalmechanical properties.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The wood of oak among the hard wood for responsible constructions on air and under water, for parquet, millwork is widely used.

The problem of the gentle use of the wood resources become more important with every year, they are the sources of not only a construction wood but also of many various chemical and other products, and also as one of main natural factors.

With development of production of the precast reinforced concrete and other modern construction materials, the application of wood is limited by the only indeed the rational area, where its technical and economic advantages become sensible.

The problem of utilization of wastes of wood procurement and processing, production of various materials on their basis acquires all of greater value.

7.2. Склад деревини
Composition of wood

Деревина характеризується шарувато-волокнистою будовою і складається з клітин, що мають різну форму, величину і призначення. Так, 90…95% деревини хвойних порід складають *трахеїди* - витягнуті вздовж стовбура пустотілі клітини деревини довжиною 2...5 мм і шириною 30...70 мм, що проводять за життя воду та розчини від кореня до крони. Оболонку клітин утворюють переважно клітковина або *целюлоза* ($C_6H_{10}O_5$) - головний компонент несучого остову дерева. В склад клітинних стінок і міжклітинної речовини входять також полісахариди - *лігнін* та *геміцелюлоза* - складні органічні сполуки, за складом близькі до целюлози.

Звичайно деревина включає 40...50% целюлози, 20...30% лігніну та 15...30% геміцелюлози, 1...3% приходяться на супутні компоненти (смоли, масла, дубильні речовини та ін.).

Елементарний середній хімічний склад деревини практично однаковий для всіх порід: 49,5% вуглецю, 44,08% кисню, 0,12% азоту і 6,3% водню. Мінеральні речовини, що дають при згорянні деревини золу, складають 0,2...1,7%. В склад золи входять, головним чином, солі лужноземельних металів.

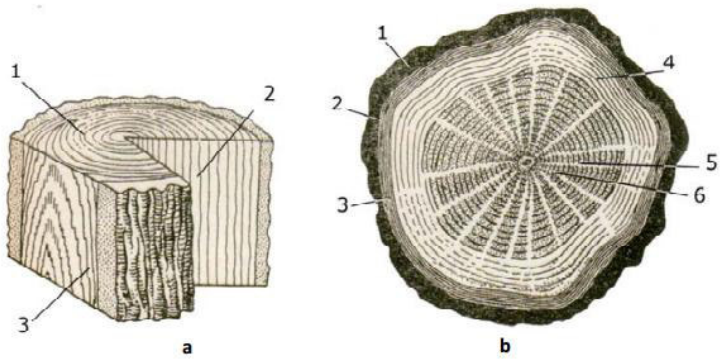

Рис. 7.1. Будова деревини:
a- основні розрізи деревини: 1- поперечний (торцевий); 2- радіальний; 3- тангенціальний;
b - будова деревини в поперечному розрізі: 1- кора; 2- камбій; 3- луб; 4- заболонь; 5- серцевинна трубка; 6- серцевинні промені
Fig. 7.1. Structure of wood:
a- basic cuts of wood: 1- transversal; 2- radial; 3- tangential;
b- structure of wood in a transversal section: 1- bark; 2- cambium; 3- bast; 4- sapwood; 5- core tube; 6-primary ray

Деревина є головною і найбільш ємкою по масі частиною стовбура. Крім неї, приблизно в центрі стовбура (рис. 7.1) знаходиться *серцевинна трубка*, що має звичайно діаметр 2...5 мм. Це найслабша, що легко піддається загниванню, частина стовбура.

Деревина зовні покрита *корою,* що захищає дерево від атмосферних та зовнішніх механічних дій. Кора включає два шари: зовнішній - *корку*, що виконує роль захисної функції і внутрішній -*луб*, що активно бере участь в русі поживних речовин в дереві.

На границі між лубом і деревиною знаходиться тонкий шар клітин, здатних до поділу і росту, що називається *камбієм*. Камбій зумовлює приріст деревини та кори.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Wood is characterized by the stratified fibrous structure and consists of cells, which have a different form, size and assignment. Thus, 90…95% of wood of coniferous trees consists of *tracheides* - the stretched cells of wood in the line of a tree trunk with the length 2…5 mm and width 30…70 mm, which conduct water and solutions from roots to the head in the time of tree life. The cells shell is formed mainly by the *cellulose* ($C_6H_{10}O_5$), which is a main component of bearing frame of tree. The polysaccharides- *lignin* and *hemicelluloses*, which are part of the cell walls and intercellular substance are complex organic compounds. According to the composition they are close to the cellulose.

Usually wood includes 40…50% of celluloses, 20…30% of lignin and 15…30% of hemicelluloses, 1…3% are the concomitant components (resins, oils, tannin and other).

The atomic average chemistry of wood is practically identical for all of woods: 49.5% of carbon, 44.08% of oxygen, 0.12% of nitrogen and 6.3% of hydrogen. Mineral substances, which give ash at combustion of wood, are 0.2…1.7%. The salts of alkali-earth metals are mainly included into composition of the ash.

Wood is the main and the most capacious of mass part of trunk. Except of it, there is a *core tube*, which has usually a diameter 2-5 mm approximately in a trunk center (fig. 7.1). It is the weakest part of trunk that is easily subjected to the decay.

Wood exterior covered with *bark*, which protects a tree from atmospheric and external mechanical actions. Bark includes two zones: external - the *cork* which carries out the protective function and internal – *bast* that actively takes part in the nutrients moving in a tree.

On the border between the bast and wood there is a skim of cells, fissionable and capable to grow, which is called the *cambium*. The cambium predetermines the increase of wood and bark.

7.3. Структура деревини
Structure of wood

Деревину залежно від особливостей макроструктури ділять на три групи - ядрову, спілодеревну та заболонну. Деревина *ядрових порід* (сосна, кедр, модрина, дуб, ясень, тополя та ін.) має більш темне забарвлення центральної частини ядра і більш світле периферійної частини -заболоні. В ранньому віці деревина всіх порід складається тільки з заболоні. Ядро утворюється, наприклад, у сосни в віці 30...35 років, у дуба 8...12 років. Воно складається з відмерлих клітин, просочених і закупорених відкладеннями смоли, вуглекислого кальцію, дубильних та інших речовин. Ядро має підвищену щільність і стійкість проти загнивання.

Якщо центральна частина деревини має однаковий колір з периферійною й відрізняється тільки меншою вологістю, вона називається не ядром, а *спілою деревиною*. В групу *спілодеревних порід* входять ялина, піхта, бук, липа, осика і ін. Спіла деревина, так як і ядро, є більш щільною частиною стовбура.

Заболонь складається з більш молодих клітин і призначена для руху вологи з розчиненими в ній мінеральними речовинами. З віком заболонь поступово переходить в ядро або спілу деревину. За однакової вологості заболонна деревина за багатьма механічними властивостями наближається до ядрової. Стійкість її проти загнивання менша, але вона легше просочується антисептичними речовинами. До заболонних лісових порід, що практично мають однакову за забарвленням і вологістю деревину як в центрі, так і на периферії, відносяться багато порід (кедр, вільха, граб і ін.).

Деревина складається з окремих річних шарів, що відрізняються неозброєним оком особливо в хвойних породах. На поперечному перерізі стовбура ці шари мають вигляд концентричних кілець, що оточують серцевину. Річні шари включають дві частини - ранню та пізню деревину. Рання деревина утворюється весною, вона світліша і м'якша від пізньої, що утворюється тільки в кінці літа. Особливо сильно виділяється ця відмінність у хвойних порід.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Склад пізньої деревини в значній мірі визначає фізико-механічні властивості деревини в цілому. В пізній деревині хвойних порід зосереджені смоляні ходи. Смола, що заповнює їх, зменшує водопоглинання деревини, збільшує стійкість до загнивання. Для всіх порід деревини є характерним наявність променів - ліній, що радіально розходяться до кори безпосередньо від серцевини або на деякій віддалі від неї. Вони служать в деревині для проведення водних розчинів поживних речовин в горизонтальному напрямку. Деревина легко розколюється по серцевинним променям і дає тріщини при усушці, так як клітини, що входять в ці ділянки, зв'язані між собою порівняно слабо.

В деревині листяних порід, крім серцевинних променів, ослабленими елементами структури є *судини* - трубчасті утворення клітин діаметром 0,1...0,4 мм і довжиною звичайно до 10 см, направлені вздовж стовбура.

Wood depending on the features of macrostructure is divided into three groups - heartwood, ripewood and sapwood. Wood of *heartwood wood* species (pine-tree, cedar, larch, oak, ashwood, poplar and other) has darker coloring of central part of core and lighter peripheral part - sapwood. The wood of all of trees consists only of sap-wood in the early age. A core appears, for example, in pine-trees in age of 30-35 years, in oak 8-12 years. It consists of dying off cells, impregnated and stopped up by the stratums of resin, calcite, tannic and other substances. A core has an enhanced density and resistance against decay.

If the central part of wood has an identical color with peripheral and differs only with less humidity, it is called not a core, but ripe wood. The ripe wood as a core is denser part of the trunk. Ripe wood group includes spruse, abies, beech, linden, aspen, etc. *Ripe wood* as well as the core is more dense part of the trunk and it does not participate in the juice-feeding chain.

Sapwood consists of younger cells and is intended for movement of moisture with mineral permeates in it. With the age sapwood gradually passes to the heart or ripewood. At identical humidity many mechanical properties of the sapwood correspond to the heartwood. It's resistance to decay is less, but it is easier saturated by the antirots. To the sapwood forest trees, which practically have identical wood according to the coloring and humidity both in a center and on periphery, a lot of wood species belong (cedar, alder, hornbeam and other).

Wood consists of separate annual layers, which differ with a naked eye especially in coniferous trees. On the transversal cut of the trunk these layers have the appearance of concentric rings, surrounding a core. Annual layers include two parts - summerwood and latewood. The summerwood appears in spring, it is lighter and softer than late, that appears only at the end of summer. This difference is especially strongly imaged in coniferous trees.

Composition of latewood largely determines the physical-mechanical properties of wood integrally. The resin ducts are concentrated in late softwood. Resin, which fills them, diminishes the water absorption of wood, increases resistance to decay. The presence of rays is characteristic for all woods-lines, which radially diverge to the bark directly from a core or at some distance from it. They serve for conducting of water solutions of nutrients in horizontal direction in wood. Wood splits on primary rays easily and gives cracks at the shrinkage, because cells, which are included in these areas, are bonds between them are comparatively weak.

In the hardwood, *vessels*-tubular formations of cells with a diameter 0.1…0.4 mm and to 10 cm of length, directed in the line of a trunk, are the weakest elements of structure, except of primary rays.

7.4. Вади деревини
Defects of wood

До вад деревини відносять дефекти її будови, порушення цільності, пошкодження і хвороби, тобто недоліки, що знижують якість лісоматеріалів (рис. 7.2). Згідно діючої класифікації всі вади діляться на десять груп: сучки, грибні барви і гнилі, хімічні барви,

Національний університет
водного господарства
та природокористування

пошкодження комахами, деформації, розтріскування, вади форми стовбура, вади будови деревини, рани, ненормальні відкладання в деревині, механічні пошкодження і дефекти обробки.

Основною сортовизначальною вадою деревини є *сучкуватість*. Сучки являють собою основу гілок, розташованих в деревині стовбура. Негативний вплив сучків полягає у погіршенні механічних властивостей деревини внаслідок порушення однорідності і викривлення волокон. Сучки заважають також обробці деревини, а в деяких випадках супроводжуються внутрішньою гнилістю. В характеристиці сучкуватості деревини вказується вид сучків (форма, ступінь зростання, стан деревини), їх розміри й число.

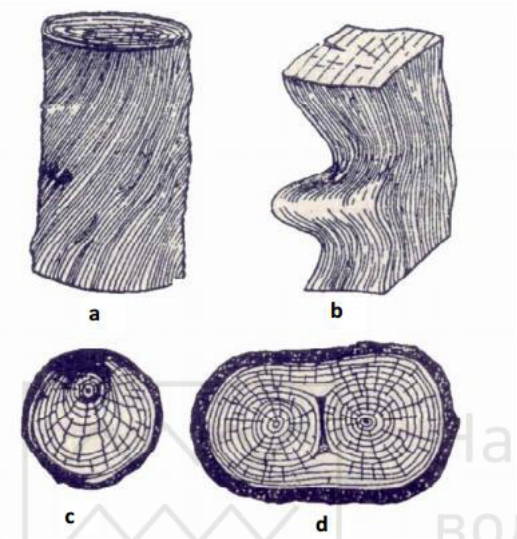

Рис.7.2. Основні вади будови деревини: a- нахил волокон; в- завількуватість; с- крень; d- подвійна серцевина
Fig. 7.2. Basic defects of wood structure: a- cross grain; b- twisting; c- compression wood; d- double core.

Гниття деревини виявляється в поступовій зміні її кольору, зменшенні середньої густини та міцності.

Гнилі викликаються розвитком в деревині найпростіших рослинних організмів – *грибів*. Гриби, що обсідають деревину, не містять хлорофіл і не можуть самі синтезувати органічні речовини. Внаслідок цього вони змушені живитися готовими органічними сполу-ками і тому селяться на дереві.

Розвиток гриба в деревині відбувається тільки за певної вологості (звичайно 25...70%) і температури повітря в середньому від 5 до 25°С. У воді загнивання не відбувається, тому що припиняється доступ кисню, необхідного для життєдіяльності грибів. Розвиток грибів припиняється також при температурі нижче 0°С і вище 40...45°С. Хімізм гниття деревини полягає в її розкладанні з виділенням вільного вуглекислого газу і води.

Пошкодження деревини комахами носять назву *червоточин*. Головну масу комах-шкідників деревини складають різні види жуків (короїди, дубоїди, точильщики та ін.).

В морях є група сильних руйнівників деревини з класу молюсків або ракоподібних (морська шашіль, морський рачок, мокриця тощо), в річках і озерах вони не водяться.

Деформації і *розтріскування* - група дефектів, що є наслідком зміни форми або порушення щільності деревини. Вони виникають під дією значних внутрішніх напружень, що утворюються в процесі росту дерев, за різкої зміни температур, нерівномірного видалення вологи тощо.

На механічні властивості деревини впливають число, характер та розміри тріщин, а також їх напрямок по відношенню до діючих сил. Так, при згині найбільший негативний вплив проявляє тріщина нейтральної зони, що знаходиться в площині, перпендикулярній силі. Найменший вплив має тріщина, площина якої співпадає з напрямком зусилля.

The defects of structure, violation of wholeness, damages and illness that means deficiencies, which reduce quality of commercial timbers are taken to the *defects of woods* (fig. 7.2). In obedience to operating classification all the defects are divided in ten groups: knottiness, fungi paints and rots, chemical paints, insect damage, deformations, cracks, defects of trunk form, defects of wood structure, wounds, undue laying in wood, mechanical damages and defects of treatment.

The basic defect that determines the quality of wood is *knottiness*; knots are the basis of branches, located in wood of the trunk. Negative influence of knots consists in worsening of

Національний університет
водного господарства
та природокористування
mechanical properties of wood as a result of violation of homogeneity and curving of fibers. The knots hamper also the woodworking and in some cases are accompanied by internal rottenness. The type of knots (form, degree of growth, state of wood), their sizes and number, is specified in description of the knottiness.

Decay of wood appears in the fading of its color, diminishing of average density and strength.

Rots are caused by the development of the simplest vegetable organisms in the wood – *fungi*. The fungi which are settled on the wood, do not contain chlorophyll and can not synthesize the organic substances. Hereupon they are forced to feed the ready organic compounds and that is why they are settled on a tree.

Development of fungi in the wood takes place only at certain humidity (usually 25…70%) and temperature of air upon the average from 5 to 25°C. The decay does not take place in water, because access of oxygen, required for the vital functions of fungi is halted. Development of fungi is halted also at a temperature below 0°C and higher 40…45°C. The chemism of wood decay consists in its decomposition with the outburst of free carbon dioxide and water.

The insect damage of wood is called *wormholes.* The main masses of insect- vermin of wood are the different types of beetles.

There is a group of strong destroyers of wood from the class of shellfishes or crustaceous in the sea, they do not inhabite in the rivers and lakes.

Deformations and *crackings* - group of defects which are the consequence of change of form or violation of wood density. They arise up under the action of considerable internal tensions, which appear in the process of tree growing, at the sharp change of temperatures, uneven deleting of moisture etc.

The number, character and sizes of cracks, and also their direction in relation to operating forces influence on the mechanical properties of wood. So, the most negative influence at a bend is shown by the crack of neutral area, which is in the plane, perpendicular to the force. Cracks, area of which coincides with directing effort, have the least influence.

7.5. Вологість та вологісні деформації деревини
Humidity and moisture deformations of wood

На фізичні та механічні властивості, а також придатність деревини впливає її вологість. Для свіжозрубаних дерев вологість коливається від 30 (дуб) до 45% (ялина). Повітряносуха деревина, що довгий час лежала на повітрі має вологість 15...20%.

Розрізняють гігроскопічну (зв'язану) і вільну вологу в деревині. Гігроскопічна волога просочує оболонки клітин і утримується фізико— хімічним зв'язком. Максимальна кількість гігроскопічної вологи, яка може бути поглинена деревиною за її витримування на повітрі, насиченому водяними парами, зветься точкою насичення кліткових оболонок або *границею гігроскопічності.* Максимальна вологість кліточних стінок свіжозрубаної деревини або зволоженої шляхом витримування у воді зветься *границею насичення*. При температурі 15...20°С вологість деревини, що відповідає границям насичення і гігроскопічності, практично однакова і в середньому для всіх порід деревини дорівнює 30%.

На відміну від зв'язаної вільна вода заповнює канали судин та міжклітинний простір і утримується фізико-механічними зв'язками з деревиною. Видалення вільної води вимагає менших енергетичних витрат, тому її вплив на властивості деревини значно менш суттєвий. При висиханні деревини спочатку переважно видаляється вільна вода, а потім зв'язана. Процес висихання деревини припиняється за досягнення нею рівноважної вологості, тобто вологості оточуючого повітря. Значення рівноважної вологості можливо відшукати за спеціальними діаграмами.

При видаленні з деревини зв'язаної вологи має місце *усушка*, тобто скорочення розмірів лісоматеріалів. Навпаки, при зволожені деревини стінки кліток потовщуються, що

Національний університет водного господарства та природокористування

викликає *набрякання.* Вологісні деформації найбільш суттєві поперек волокон. Так, повна лінійна усушка деревини в тангенціальному напрямку складає 6...10%, а вздовж волокон - всього 0,1...0,63%. Значення усушки і набрякання зростають також із збільшенням середньої густини деревини.

Вологісні деформації можуть бути розраховані за допомогою коефіцієнтів усушки $К_у$ і набрякання $К_н$ що характеризують відповідні деформації за зниженням або збільшенням вмісту зв'язаної вологи в деревині на 1%.

Співвідношення між $К_у$ і $К_н$ визначаються за формулою

$$K_y = \frac{100K_H}{100 + 30K_H}. \qquad (7.1)$$

Коефіцієнти об'ємної усушки деяких розповсюджених порід поряд з іншими фізико-механічними властивостями наведені в табл. 7.1.

При висиханні, внаслідок нерівномірності розподілу вологості по перетину деревини та анізотропності, в ній з'являються внутрішні напруження. Розвиток цих напружень може викликати розтріскування та жолоблення лісоматеріалів.

Таблиця 7.1

Фізико-механічні властивості деревини

Порода дерева	Середня густина, кг/м3	Коефіцієнт об'ємної усушки	Границя міцності вздовж волокон, МПа при			
			стиску	розтягу	статичному згині	радіальному розколюванні
Хвойні:						
модрина	660	0,52	64	125	111	9,9
сосна звичайна	550	0,44	48	I 04	86	7,5
ялина	445	0,43	45	103	79	6,9
ялиця сибірська	375	0,39	39	67	68	6,4
кедр сибірський	440	0,42	38	78	62	6,2
Листяні:						
дуб	690	0,43	57	123	108	10,2
береза	630	0,54	55	168	110	9,3
бук	670	0,47	55	123	108	11,6
липа	495	0,49	45	121	88	8,6
вільха	520	0,43	44	101	80	8,1
осика	495	0,41	42	125	78	6,3
тополя	440	0,42	39 j	88	62	6,1
ясень	690	0,48	52	140	182	12,2

Для запобігання цих дефектів особливе значення має режим сушки деревини. Сушка - одна з найбільш відповідальних і трудомістких операцій в технології деревообробки. Для столярних виробів вологість не повинна перевищувати 8…10%, а для зовнішніх конструкцій -15...18%.

The wood humidity influences on the physical and mechanical properties, and also its availability. The humidity hesitates from 30 (oak) to 45% (fir-tree) for greenwood. The airdry wood, which for a long time has been laid on the air has the humidity 15…20%.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

There are distinguished the hygroscopic (inherent) and free moisture in the wood. The hygroscopic moisture impregnates the cells and is retained by the physical-chemical bounds. The maximal amount of hygroscopic moisture, which can be absorbed by wood after its conditioning on the air, saturated with the aqueous vapor, is called the *saturation point* of cell walls or *limit of hygroscopic property*. Maximal humidity of cell walls of the greenwood or wetted by conditioning in water is called the *limit of saturation*. The humidity of wood which equals to the limits saturation and hygroscopic property at a temperature 15…20° C, is practically identical and upon the average for all types of wood equals to 30%.

Unlike bound water the free one fills canals of vessels and intercellular space and is retained by the physical-mechanical links with the wood. The removal of free water requires less power consumption that is why its influence on wood properties is considerably less substantial. At first the free water mainly is removed, and then bound at the wood drying. The process of wood drying is halted for achievement of equilibrium humidity that means the humidity of ambient air. It is possible to find the magnitude of equilibrium humidity with the help of the special diagrams.

The *shrinkage* takes place at removal bound moisture from wood that means reduction of timber sizes. Opposite, at the wood humidification the cell walls are thickened, that causes *swelling*. The cross-grained moisture deformations are the most substantial. So, a complete linear shrinkage of wood in tangential direction is 6…10%, and longitudinally to fibers – only 0.1…0.63%. The value of shrinkage and swelling grows also with the increase of average density of wood.

The moisture deformations can be calculated by coefficients of shrinkage (K_{shr}) and swelling (K_{sw}) that characterize the proper deformations according to a decline or increase of content of bound moisture in wood at 1%.

Ratio between K_{shr} and K_{sw} is determined by the formula:

$$K_{shr} = \frac{100K_{sw}}{100 + 30K_{sw}}, \qquad (7.1)$$

The coefficients of volumetric shrinkage of some widespread woods and other physical mechanical properties are resulted in table7.1.

Table 7.1.

Physical-mechanical properties of wood

Type of wood	Average density, kg/m^3	Coefficient of volumetric shrinkage	Ultimate strength lengthwise the fibers, MPa			
			Compres-sion	Tension	Static bend	Radial cleavage
Softwood						
Larch	660	0,52	64	125	111	9,9
Pine	550	0,44	48	I 04	86	7,5
Spruce	445	0,43	45	103	79	6,9
Siberian fir	375	0,39	39	67	68	6,4
Siberian cedar	440	0,42	38	78	62	6,2
Hardwood						
Oak	690	0,43	57	123	108	10,2
Birch	630	0,54	55	168	110	9,3
Beech	670	0,47	55	123	108	11,6
Teil	495	0,49	45	121	88	8,6
Alder	520	0,43	44	101	80	8,1
Aspen	495	0,41	42	125	78	6,3
Poplar	440	0,42	39 j	88	62	6,1
Ash-tree	690	0,48	52	140	182	12,2

Національний університет
водного господарства
та природокористування

At drying, as a result of nonuniformity of distribution of humidity in cross-section of wood and anisotropy, the internal tensions appear in it. The development of these tensions can cause cracking and warping of timber.

For prevention of these defects the special importance has the mode of wood drying. Drying is one of the most responsible and labour- intensive operations in technology of woodworking. The humidity should not exceed 8-10% for millwork, and for external structures – 15-18%.

7.6. Теплові властивості та густина деревини
Thermal properties and density of wood

При розрахунку процесів сушки, просочування та ін. необхідно знати теплові властивості деревини. Внаслідок пористої будови деревина погано проводить тепло. Мала теплопровідність деревини, особливо поперек волокон, зумовлює широке застосування її в огороджувальних конструкціях опалюваних будівель, що отоплюються. Дерев'яний брус, товщиною 15 см, еквівалентний за теплопровідністю стіні товщиною в 2,5 цегли.

Коефіцієнт лінійного розширення деревини вздовж волокон складає всього $(3...5)10^{-6}\ ^0C^{-1}$, тобто в 3...10 разів менший, ніж для металу, бетону і скла, завдяки чому в дерев'яних будівлях і спорудах можна не влаштовувати температурних швів. В поперечному напрямку волокон зміна лінійних розмірів в 7...10 разів більша, ніж в поздовжньому.

Суха деревина має дуже малу електропровідність, приблизно таку ж, як і хороші електроізоляційні матеріали. Проте з підвищенням вологості електропровідність зростає. За вологості, що відповідає границі насичення, вона в десятки мільйонів разів більша електропровідності сухої деревини.

Густина деревини визначається сукупністю речовин, що є складовими частинами оболонки клітин. Оскільки ці речовини мають практично однаковий склад для всіх порід, істинна густина деревини (густина речовини деревини) коливається у вузьких границях - від 1,49 до 1,56 г/см^3 і дорівнює в середньому 1,53 г/см^3.

Середня густина деревини залежить від вологості і пористості породи. Значення середньої густини вказується стосовно до стандартної 12%-ної вологості ($\rho_{o(12)}$). В діапазоні від нульової до 30%-ної вологості застосовують у перерахункову формулу:

$$\rho_{o(12)} = \rho_{o(\omega)}[1 + 0{,}01(1 - K_y)(12 - \omega)], \qquad (7.2)$$

де K_y - коефіцієнт об'ємної усушки; ω - вологість.

За вологості деревини більше 30% для перерахунку середньої густини можна використовувати формулу:

$$\rho_{o(12)} = \frac{A\rho_{0(\omega)}}{1 + 0{,}01\omega}, \qquad (7.3)$$

де А=12,22 для берези, буку, модрини, білої акації; 1,203 для інших порід.

За середньою густиною деревини всі породи умовно ділять на три групи: легкі (ρ_o<550 кг/м^3), середні (ρ_o=550...750 кг/м^3) і важкі (ρ_o> 750 кг/м^3).

At the calculation of drying processes, impregnation and other, the thermal properties of wood should be known. As a result of porous structure, wood conducts the warmth badly. Low thermal conductivity of wood, especially cross-grained, predetermines its wide application in the enclosing structures of buildings that are heated. The timber with thickness up to 15 cm is equivalent by a thermal conductivity to the wall with the thickness in 2.5 bricks.

Coefficient of linear expansion of wood along fibers is only $(3…5)10^{-6}\ ^oC^{-1}$, that means in 3…10 times less than for metal, concrete and glass, due to what it is possible not to arrange expansion joints in wooden buildings. In transversal direction of fibers a change of linear sizes is in 7…10 times are more than in longitudinal.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Dry wood has very small conductivity, approximately the same, as well as good electric insulating materials. However with the increase of humidity, conductivity grows. At humidity, which equals to the satiation limit, it is in ten of millions times larger than the conductivity of dry wood.

The *density of wood* is determined by the complex of substances, which are the component parts of cell walls. As these substances have practically identical composition for all of wood, the real density of wood (density of wood substance) hesitates in narrow limits - from 1.49 to 1.56 g/cm^3 and equals to the average 1.53 g/cm^3.

The average density of wood depends on its humidity and porosity. The value of average density is specified for the standard 12%-th humidity ($\rho_{o(12)}$). In a range from zero to 30%-th humidity the next formula can be applied:

$$\rho_{o(12)} = \rho_{o(\omega)}[1 + 0{,}01(1 - K_{shr})(12 - \omega)], \quad (7.2)$$

where K_{shr} - coefficient of volumetric shrinkage; ω- humidity.

At humidity of wood more than 30% it is possible to use a formula for the calculation of average density :

$$\rho_{o(12)} = \frac{A\rho_{0(\omega)}}{1 + 0{,}01\omega}, \quad (7.3)$$

where A- coefficient equals 1.222 for a birch, beech, larch, locust and 1.203 for other wood.

According to the average density all types of wood are divided into three groups: lightweight (ρ_o <550 kg/m^3), middle-weight (ρ_o =550…750 kg/m^3) and heavy-weight (ρ_o > 750kg/m^3).

7.7. Механічні властивості деревини
Mechanical properties of wood

Показники механічних властивостей деревини, як її фізичні властивості, залежать від вологості, причому впливає тільки зв'язана вода, що знаходиться в кліткових стінках. Збільшення вмісту зв'язаної вологи різко зменшує показники всіх механічних властивостей.

Міцність деревини від зміни вологості можна розрахувати за формулою:

$$R_{12} = R_{\omega}[1 + \alpha(\omega - 12)], \quad (7.4)$$

де R_{12} і R_{ω} - границя міцності деревини за 12%-ної вологості і вологості ω; α - коефіцієнт зниження міцності деревини за зростання її вологості на 1% (для границі міцності при стиску вздовж волокон і статичному згині α =0,04; при розтягу вздовж волокон α =0,01).

Внаслідок структурних особливостей механічні властивості деревини залежать, також, від кута між напрямком діючого зусилля і напрямком волокон.

Найбільш важливою і характерною механічною властивістю деревини *є міцність при стиску* вздовж волокон. Ця властивість деревини є визначальною для паль, ферм, колон, стояків та інших дерев'яних конструкцій.

При дії стискуючих зусиль поперек волокон в більшості випадків не вдається виявити руйнування; тому обмежуються визначенням межі пропорційності, яку приймають за умовну границю міцності. Умовна границя міцності на стиск впоперек волокон в середньому для всіх порід приблизно в 10 раз менша межі міцності на стиск вздовж волокон.

Міцність деревини на стиск впоперек волокон має практичне значення в місцях врубок або з'єднань дерев'яних деталей з металічними для залізничних шпал та ін.

Границя міцності деревини при розтязі вздовж волокон в 2 і більше разів вища чим при стиску (табл. 7.1). Для сосни і ялини, наприклад, вона дорівнює в середньому близько 100 МПа. При розриві впоперек волокон границя міцності в 10-40 разів менша. При цьому міцність в радіальній площині у всіх порід вища, чим при розриві в тангенціальній площині. Це викликано тим, що в останньому випадку проходить розрив слабких серцевинних

променів, тоді як в радіальній площині він іде по ранній і щільній пізній зоні. Опір розтягу особливо сильно знижується при наявності сучків і косошару.

Деревина в конструкціях і виробах рідко працює на розтяг. Це зумовлено важкістю запобіганню руйнування деталей в місцях закріплення. Показники міцності деревини на розтяг впоперек волокон ураховуються для запобігання її розтріскування при інтенсивних режимах сушки.

Деревина широко застосовується для конструкцій, що працюють на поперечний згин; в міжповерхових перекриттях, в мостових фермах, естакадах, підмостях, сходах, тощо. Міцність деревини при поперечному статичному згині є середньою між міцністю при розтязі і стиску вздовж волокон. В середньому для різних порід вона може бути прийнята рівною приблизно 90 МПа.

Для розрахунку дерев'яних конструкцій в деяких випадках важлива міцність деревини при зсуві і крученні. Найбільш розповсюдженим видом випробувань на зсув є сколювання вздовж волокон, опір якому складає приблизно 0,15 границі міцності при стиску. Міцність при крученні для основних порід майже в 1,5 раз вище міцності сколювання.

При обробці ріжучими інструментами і при стираючих діях важлива *твердість деревини.* Ця властивість визначається на зразках-кубах методом вдавлювання. Найбільша твердість (50-90 МПа) притаманна ясеню, буку, в'язу, модрині.

The indexes of mechanical properties of wood species, as its physical properties, depend on humidity; moreover, in the main, only the bound water, which is in cell walls, influences. The increase of bound moisture content diminishes the indexes of all of mechanical properties sharply.

The *strength of wood* depending on moisture change can be calculated by a formula:

$$R_{12} = R_{\omega}[1 + \alpha(\omega - 12)], \qquad (7.4)$$

where R_{12} and R_{ω} - ultimate strength of wood at 12% humidity and at humidity ω; α- coefficient of the strength decrease of wood at the growth of its humidity at 1% (for the ultimate compressive strength lengthwise fibers and static bend α=0.04; at tension lengthwise fibers α=0.01).

As a result of structural features, the mechanical properties of wood depend, also, on an angle between direction of operating effort and direction of fibers.

The most essential and characteristic mechanical property of wood is compressive strength lengthwise fibers. This property of wood is determining for piles, farms, columns and other structural timber.

In the most cases it is impossible to find out destruction at the action of compressive forces across the fibers, therefore it is limited by determination of proportional limit which is taken as conditional limit of the strength. Conditional compressive strength across the fibers upon the average for all wood is approximately in 10 times smaller than the compressive strength lengthwise the fibers. The compressive strength across the fibers has a practical value in the places of angle joints or connections of timber details with metallic, for railway sleepers, etc.

The ultimate tensile strength lengthwise the fiber is in 2 and more times higher than at a compression (table 7.1). For pine-tree and fir-tree, for example, it is equal on the average about 100 MPa. At tension across the fibers, the ultimate strength is in 10…40 times less. Here the strength in a radial plane of all wood is higher than at tension in tangential area. It is caused that the break of weak pith rays passes in last case, while in a radial area it goes on early and dense late zone. The tensile strength especially strongly goes down at presence of knots and curly grain.

Wood rarely works on tension in constructions and elements. It is predefined with difficulty to prevent the destruction of details in the places of fixing. The indexes of the tensile strength of wood across the fibers are taken into account for prevention of its cracking at the intensive modes of drying.

Wood is widely used for structures which work on cross bending: in the floors, in bridge truss, trestles, platforms, stair, and others like that. The strength of wood at a static crossbending is

Національний університет
водного господарства
та природокористування
middle between the tensile strength and compressive along the fibers. On the average, it can be accepted equal approximately 90 MPa for different wood.

The strength of wood in some occasions is important at a shear and twisting for the calculation of structural timber. The most widespread type of tests on shear is splitting off along the fibers, resistance to which is approximately 0.15 of the compressive strength. The strength at twisting for the basic wood is almost in 1.5 times higher than resistance to splitting off.

The *wood hardness* is an important at treatment with machining tools and at deterioration actions. This property is determined on standards-cubes by indentation method. The most hardness (50…90 MPa) is inherent to an ash, beech, elm, larch.

7.8. Стійкість деревини
Resistance of wood

Деревина при роботі в сухих приміщеннях, на відкритому повітрі, а також в підземних і підводних спорудах, в умовах, що виключають утворення грибів, характеризується високою *стійкістю*. Механічні властивості деревини змінюються значно після перебування в річковій воді лише на протязі кількох сот років. Морська вода вже через порівняно короткий строк помітно погіршує властивості деревини.

За дією кислот і лугів механічні властивості деревини погіршуються в міру збільшення їх концентрації. Корозійна стійкість листяних порід більш низька, ніж хвойних.

В межах однієї породи стійкість деревини залежить від її щільності. Стійкість збільшується з віком дерева, при пересуванні від заболоні до ядра і від нижньої частини стовбура до верхньої. Захист деревини від загнивання здійснюється в основному хімічною обробкою антисептиками, а від загоряння - за допомогою антипіренів.

Направлена зміна властивостей деревини досягається її модіфікацією за рахунок пресування після попереднього пропарювання або нагрівання, а також введення в її структуру синтетичних полімерів. Модифікована деревина має в декілька разів більшу міцність, твердість, ударну в'язкість, понижену гігроскопічність і водопоглинання.

Антисептики - це токсичні сполуки, що надають деревині стійкості до грибів, комах та морських деревоточіїв. Залежно від хімічних і фізичних властивостей антисептики можна розділити на три групи: масла та розчинні в маслах; розчинні в органічних розчинниках; розчинні у воді. В першу групу антисептиків входять, головним чином, кам'яновугільні та сланцеві просочувальні масла; в другу - розчинні в органічних розчинниках пентахлорфенол і нафтанат міді. Основними представниками третьої групи є фтористий натрій, хлористий цинк та ін.

Речовини, що збільшують вогнестійкість деревини, називають *антипіренами*.Захисна дія антипіренів може бути зумовлена виділенням при нагріванні кристалізаційної води у вигляді пару або інших негорючих газів, що відтісняють повітря від поверхні деревини і розбавляють горючі гази (сірчанокислий і фосфорнокислий амоній, галун). Багато антипіренів (наприклад, бура, борна кислота, силікат натрію, хлористий цинк) плавляться при нагріванні і утворюють захисну щільну плівку, що покриває поверхню деревини і заважає доступу кисню. Такі антипірени як гідроксид калію, деякі клеї, сприяють за високої температури створенню піноподібного теплоізоляційного шару.

На практиці застосовують звичайно суміші різних антипіренів. Просочена вогнезахисними сумішами деревина при дії полум'я тліє, але не горить. Після видалення вогню тління припиняється. Деревину від загоряння можуть захистити також різноманітні фарби.

Wood working in dry premises, outdoors, and also in underground and underwater structures in conditions, which eliminate formation of fungi, is characterized with the high *resistance*. Mechanical properties of wood change considerably after staying in the river water

Національний університет
водного господарства
та природокористування
during of many years. Salt water already through comparatively short time significantly worsens the properties of wood.

At the action of acids and alkalis the mechanical properties of wood are worsened to the extent of their concentration increasing. Corrosive resistance of hard wood is lower than coniferous one.

For the same type of wood, the resistance depends on its density. Resistance is increased with the age of tree, at a movement from a sap-wood to the kernel and from the underbody of trunk to overhead. Protecting of wood from decay is carried out mainly by the chemical treatment with antisepsics, and from ignition - by the fire-retardants.

The directed change of the wood properties is achieved at its modification due to pressing after a previous steaming-out or heating, and also treatment of synthetic polymers. The modified wood has in few times larger strength, hardness, impact resistance, decreased hygroscopicity and water absorption.

Antiseptics are the substances, which give resistance against the wood fungus, insects, etc. It is possible to divide antisepsics into three groups depending on chemical and physical properties: oils and soluble in oils; soluble in organic solvents; water-soluble. Carboniferous and shale penetrating oils are mainly included in the first group of antiseptics; in the second - pentachlorophenol and copper naphthenate soluble in organic solvents. The basic representatives of the third group are sodium fluoride, hydrochloric zinc and other.

Substances which increase the fire-resistance of wood, are called *fire-retarding agents*. The protective action of fire-retardant additives can be predefined by the extraction at heating of crystallization water as steam or other noncombustible gases which displace the air from the surface of wood and attenuate combustible gases (sulfurous and phosphorous ammonium, alum). There are many fire-retarding additives (for example, borax, boric acid, sodium silicate, and zinc chloride), that melt at heating and form protective dense tape, which covers the surface of wood and interferes to the oxygen access. Such fire-retarding additives as hydrate of potassium, some glues, facilitates at a high temperature creation of foam heat-insulating layer.

The mixtures of different fire-retarding additives are applied usually in practice. Wood is saturated with fireproof mixtures at the action of flame smolders, but does not burn. After the removing of fire a smoldering is halted. The various paints can also protect the wood from ignition.

7.9. Лісо- і пиломатеріали
Timber and sawn timber

Лісоматеріали отримують шляхом механічної обробки стовбура дерева.

Круглі лісоматеріали являють собою відрізки стовбурів дерев з обрубаними сучками та обпиленими торцями. Відрізки стовбурів діаметром більше 12 см вважають *колодами*, від 8 до 11 см - *підтоварником*, від 3 до 7 см - *жердинами*.

Круглі лісоматеріали поділяють на сорти залежно від кількості та виду вад. В жодному із сортів не допускається гниль. Колоди, що використовуються для виготовлення несучих конструкцій, повинні мати вологість не більше 25%. Зберігаються круглі лісоматеріали на відкритих площадках в штабелях висотою не більше 2 м, що забезпечує нормальну природну сушку. Для запобігання колод від розтріскування їх торці покривають вологозахисними сумішами та вапняним розчином.

Пиломатеріали (рис.7.3) одержують поздовжнім розпилю-ванням колод. їх поділяють на пласти-ни, четвертини, брус-ки, дошки, горбиль.

Пластини одержують розпилюванням дерева по осі стовбура на дві половини, *четвертини* - у взаємно перпендикулярних напрямках. Неповні пластини – відходи при розпилюванні колод – називають *горбилями*. *Брусся* мають товщину і ширину більше 100 мм, *бруски* – товщину до 100 мм і ширину не більше подвійної товщини, *дошки* – товщину до 100 мм, ширину – більше подвійної товщини.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

По товщині пиломатеріали розподіляють на тонкі (тес) до 32 мм і товсті, більше 32 мм; за характером обробки – на обрізні, обпилені з усіх чотирьох сторін і необрізні, обпилені тільки з двох сторін.

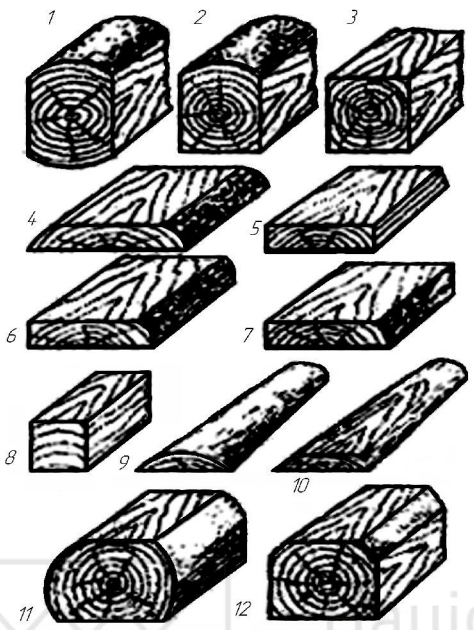

Рис.7.3. Пиломатеріали: 1- двохкантний брус; 2- трьохкантний брус; 3- чотирьохкантний брус; 4- необрізна дошка; 5- чистообрізна дошка; 6- обрізна дошка з тупим обзолом; 8- брусок; 9- обапіл горбильний; 10- обапіл дощатий; 11- шпала необрізна; 12- шпала

Fig.7.3. Sawn timber: 1- two-edged cant; 2- three-edged cant; 3- four-edged cant; 4- unedged board; 5,6- edged board; 8- scantling; 9, 10 - flitchs; 11, 12- railway sleepers.

Довжина хвойних пиломатеріалів – від 1 до 6,5 м, листяних – 0,5...6,5 м. Сорт пиломатеріалів визначають наявністю вад деревини, а також точністю розпилювання, чистотою обробки та ступенем жолоблення. Пиломатеріали з вологістю менше 25% зберігають в закритих приміщеннях або під навісом, а більше 25% – в штабелях.

Дошки і бруски, порізані за заданими розмірами з припусками на механічну обробку і усушку, що використовується для виготовлення деталей, називають заготовками. За видом обробки заготовки бувають пиляними, клеєними, каліброваними, використовують також фрезеровані заготовки, що мають спеціальну форму перерізу.

Поряд із круглими і пиляними в будівництві застосовують стругані, лущені, колоті і подрібнені лісоматеріали. Шляхом стругання виробляють шпон, штукатурну дранку, кровільну щепу, стружку пакувальну та іншого призначення. Струганий *шпон* – тонкі листи (0,6...1мм) деревини, що відрізняються красивою текстурою і кольором. Його виготовляють з деревини дуба, ясеня, бука, червоного дерева, модрини та ін. Замість натурального струганого шпону все ширше використовують текстурний папір та різноманітні декоративні плівки.

Для виготовлення фанери і шаруватих пластиків, а також лицювальних виробів з деревини застосовують лущений шпон, що отримують з розпарених кряжів у виді безперервної стрічки з наступним розрізанням на листи потрібних розмірів.

Timber is obtained by tooling of tree trunk.

Round timber are the segments of tree trunks with the chopped off knots and cropped ends. Segments of trunks with diameter more than 12 cm consider *logs*, from 8 to 11 cm – *rickers*, from 3 to 7 cm - *poles*.

Round timber is divided into sorts depending on the amount and type of defects. Rot is permitted in none of sorts. Logs, which are utilized for making of bearing structures, must have humidity not more than 25%. Round commercial timber is stored at outside court in stacks in not more than 2 m high, which provides the normal natural drying. The butt ends are covered with the moisture protecting mixtures and lime solution to prevent the logs from cracking.

The *sawn timber* (fig. 7.3) is obtained by the longitudinal sawing of logs. It is divided into slab boards, quarters, bars, boards and half logs.

Plates are obtained by tree sawing for the axis of trunk on two halves, *quarters* - in mutually perpendicular directions. Incomplete plates are the wastes at sawing of logs called flitchs. *Bars* have

Національний університет
водного господарства
та природокористування
a thickness and width more than 100 mm, *scantlings* - thickness to 100 mm and width no more than double thickness, *boards* - thickness to 100 mm, width - more than double thickness.

According to the thickness the sawn timber is divided into thin (Planks) to 32 mm and thick, more than 32 mm; according to the character of treatment – on edged, sawed from all four sides and unedged, sawed only from two sides.

Length of coniferous saw-timbers is in the range of 1…6.5 m, hardwood in the range of 0.5…6.5 m. The sort of sawn timber is determined by the presence of wood defects, and also sawing exactness, cleanness of treatment and warping degree. The sawn timber with humidity less than 25% is saved in the closed premises or under a cover, and more than 25% - in stacks.

Boards and bars, cut on the set sizes with assumptions on tooling and shrinkage, which is used for making of details, are called *work materials*. According to the kind of work materials treatment there are sawn, glued, calibrated. There are utilized also millwork materials, which have a special cut form.

Along with the round and sawn, the sliced, shelled, shredded timber are applied in construction. The veneer, plaster clapboard, roof slab, bundling chipping and other setting are made by an adzing. Crossband *veneer* are thin layers (0.6…1mm) of wood, which differ with beautiful texture and color. It is made from wood of oak, ashwood, beech, African mahogany, larch and other. A texture paper and various decorative tapes are widely utilized in the place of natural crossband veneer.

The *rotary cut veneer* is obtained from the steamed out blocks in the type of continuous ribbon with a next scission on the sheets of necessary sizes. It is applied for making of plywood and laminates, and also facing elements from wood.

7.10. Вироби з деревини
Wooden products

Паркет - матеріал для влаштування підлог в житлових та суспільних будівлях - виготовляється штучним, мозаїчним, у вигляді паркетних дощок і щитів. Штучний паркет складається з планок, що виготовляють з деревини дуба, бука, ясеня, клена, сосни і ін. Паркетні дошки і щити складаються з планок, що наклеєні з певним малюнком на основу. На кромках і торцях паркетних дошок є пази та гребні для з'єднання між собою. Замість планок на паркетні щити можуть бути наклеєні також квадрати шпону або фанерної лицювальної плитки. Лицевий бік паркетних дошок і щитів звичайно має прозоре лакове покриття. Для підлог унікальних будівель застосовують художні паркетні щити. Мозаїчний паркет виготовляють у вигляді килимів, що складаються з окремих планок, наклеєних лицевою поверхнею на папір або інший еластичний матеріал.

Профільні деталі – дошки і бруски для підлог, плінтуси, лиштва, поручні, обшивки та інші вироби – одержують фрезеруванням на верстатах. Вони характеризуються певною формою поперечного перерізу, наприклад, дошки і бруски для підлог мають на одній кромці . паз, а на іншій - гребінь.

Для спорядження перегородок і перекриттів, а також опалубки для бетонних і залізобетонних конструкцій виготовляють *щити*, що складаються з дерев'яного каркасу, до якого прикріплюються листи обшивки. При наклеюванні на щити з обох сторін в один або два шари шпону отримують столярні плити, що застосовуються при обладнані стін, підлоги, щитових меблів. Із столярних виробів на будівництво поступають також *віконні* і *дверні блоки*.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

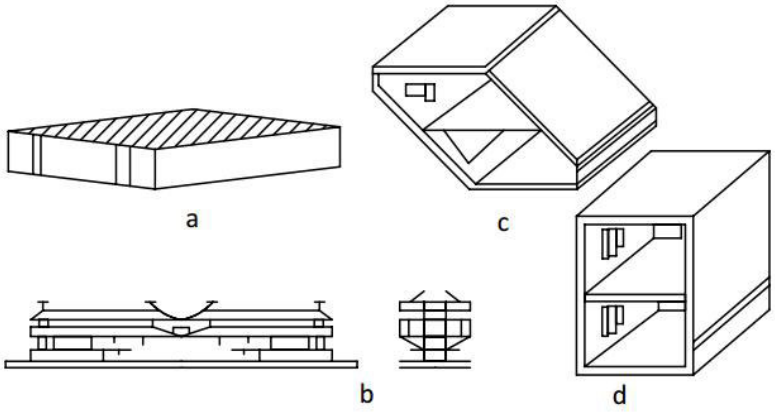

Рис.7.4. Елементи об'ємно-блочних дерев'яних малоповерхових будинків: a,b - збірно-розбірні типу "блок-пакет"; c,d - що складаються
Fig. 7.4. Elements of prefabricated wooden low-rise buildings: a,b- demountable of "block-package" type; c,d - folded

Будинки заводського виготовлення випускають брускові, каркасні щитові та панельні, а також і з об'ємних елементів (рис.7.4). В каркасних будинках дерев'яний каркас заповнюють панелями з деревноволокнистих та фібролітових плит. Для облицювання зовнішніх стін застосовують водостійкі плитні матеріали. Для обшивки каркасних будинків використовують також обрізні дошки, простір між якими заповнюється теплоізоляційними матеріалами.

Найбільш ефективні панельні і об'ємно-блочні будинки, в яких широко використовують клеєну деревину і нові опоряджувальні матеріали.

Parquet – is a material for arranging of floors in housings and public buildings, which made as block parquet, mosaic, as parquet boards. Block parquet consists of slats, which are made from wood of oak, beech, ashwood, maple, pine-tree and other. Parquet boards and shields consist of slats which are glued by a certain picture on basis. There are slots and cogs on the edges and butt ends of parquet board for connection between themselves. Veneer squares or the plywood facing tile can be also glued in place of slats on parquet shields. Facial side of parquet board and shields usually has the transparent lacquered coverage. The artistic parquet blocks are applied for the floors of unique buildings. The mosaic parquet is made as carpets, which consist of separate slats, glued by a facial surface on a paper or other elastic material.

Profile details are boards and sticks for floors, baseboards, platbands, rails, boarding and other elements – are got by milling on machine-tools. They are characterized by a certain form of transverse section; for example, boards and sticks for floors have a slot on one edge, and cog on another.

Shields are made for the installation of partitions and ceilings, and also casing for concrete and reinforced-concrete structures, they consist of wooden framework, to which the side plates are asigned to. The blockboards are got at gluing on the shields from both sides in one or two layers of veneer; they are used at wall, floor, shield furniture installation. The *window* and *door blocks* are also got from millwork for construction.

The *factory-made houses* are produced from bars, framed wooden elements and panels and also and other prefabricated articles (fig.7.4). In the framed wooden houses the wooden framework is filled with the fibreboards and woodwool slabs. The water-resistant board materials are applied for revetment of external walls. In the factory-made houses for boarding are used edged boards, space between which is filled with heat-insulating materials.

The most effective are the panel and prefabricated houses, in which the glued wood and new finishing materials are widely utilized.

7.11. Клеєна деревина
Glued wood

Клеєна деревина відноситься до найбільш ефективних будівельних матеріалів. Вона може бути шаруватою - із шпону (фанера, деревношаруваті пластики), масивною - з

Національний університет
водного господарства
та природокористування
кускових відходів лісопиляння та деревообробки (панелі, щити, бруси, дошки), комбінованої (столярні плити).

Будівельна фанера являє собою листовий матеріал, одержаний оклеюванням трьох і більше шарів шпону із взаємно перпендикулярним розміщенням волокон. Після сушки і нанесення клею пакети шпону склеюють звичайно гарячим пресуванням на гідравлічних пресах.

Розрізняють фанеру підвищеної водостійкості, склеєну на фенолформальдегідній смолі, середній водостійкості – на карбамідному та альбуміно-казеїновому клею та обмеженої водостійкості – на білкових клеях. Листи фанери можуть мати товщину від 1,5 до 18 мм.

Поряд із звичайною виготовляють декоративну фанеру, облицьовану плівковим покриттям. Високу конструктивну міцність має бакелізована фанера, що виготовляється з березового шпону, просоченого фенолформальдегідними смолами, при тривалій витримці. Для підвищення міцності, твердості і жорсткості фанеру армують також металевими сітками.

Фанера широко застосовується для облицювання стін та покрівлі, виробництва щитових дверей, клеєфанерних щитів для зовнішніх та внутрішніх стін і стель, панелей, для вбудованої меблі і т.п.

Клеєні вироби з кускових відходів деревини класифікують за видом клею, що застосовується, за характером обробки та конструктивними особливостями. Міцність склеювання деревини залежить від пористості, співвідношення ранньої та пізньої деревини в річних шарах, її вологості, хімічного складу, кута нахилу волокон. Встановлено, що міцність зклеювання лінійно пов'язана з пористістю, вона зростає також в міру збільшення вмісту целюлози.

Перевагами клеєної деревини є її низька середня густина, водостійкість, можливість одержання з маломірного матеріалу виробів складної форми або великих конструктивних елементів. В клеєних конструкціях послаблюється вплив анізотропії деревини, вони характеризуються гнилостійкістю і низькою здатністю до загоряння, не піддаються усушці і жолобленню. Клеєні дерев'яні конструкції за строками і трудозатратами при зведенні будівель, а також стійкості при дії агресивного повітряного середовища часто з успіхом конкурують із стальними і залізобетонними конструкціями.

The glued wood belongs to the most effective construction materials. It can be stratified - from veneer (plywood, laminated-wood plastic), massive - from the lump raw waste lumber and woodworking (panels, shields, bars, boards), combined (blockboard).

Construction plywood is the sheet material, obtained by gluing of three and more veneer slices with the mutually perpendicular placing of fibers. After the drying and glue application the veneer packages are glued together usually by the hot compaction on the hydraulic press.

There is distinguished plywood of raised water resistance, glued on phenol-formaldehyde resin, medium water resistance, - on the carbamide and albuminic-casein glues and limited water resistance - on protein glues.

The sheets of plywood can have a thickness from 1.5 to 18 mm. Along with ordinary one, the decorative plywood is made, faced with the film coating. The bakelized plywood which is made from a birch veneer impregnated with phenol-formaldehyde resins, at the protracted conditioning has high structural strength. The plywood is also reinforced by metal grids to increase the strength, hardness and inflexibility.

Plywood is widely used for revetment of walls and ceilings, production of veneered doors, glue plywood sheets for external and internal walls and ceilings, panels, for built-in furniture and others like that.

The *glued products from the lump timber waste* classified at according to the type of glue which is used and character of treatment and constructive characteristics.The strength of wood adhesion depends on porosity, correlation of summerwood and latewood in annual layers, its humidity, chemical composition, fiber angle of slope. It is set that the strength of gluing is in linear relation to porosity, it grows also in measures of cellulose content increasing.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Advantages of the glued wood are low average density, waterproofness, possibility of products manufacturing from of small size material of irregular shape or large structural elements. Influence of wood anisotropy is weak in the glued structures, they are characterized with the rot-resistance and by a low capacity for ignition, are not liable to the shrinkage and warping. Glued timber structures by the terms and labor expenditures of construction and also resistance to the action of corrosive air environment often successfully compete with steel and reinforced-concrete structures.

7.12. Деревно-волокнисті і деревно-стружкові плити
Cane fiber boards and resin bonded chipboards

Деревно-волокнисті плити - матеріали, отримані з деревної волокнистої маси з наступною тепловою обробкою. Плити можна також отримати з волокон луб'яних рослин або з другої волокнистої сировини, що має достатню міцність і гнучкість.

Залежно від призначення плити виготовляють тверді і м'які.

Тверді плити призначені для опорядження внутрішніх поверхонь будівель, з них виготовляють щитові двері і інші елементи домобудування, м'які - для теплоізоляції огороджуючих конструкцій і звукоізоляції перегородок.

Деревно-волокнисті плити піддаються механічній обробці, їм можна надати текстуру деревини, шкіри і т.п.

Опоряджувальні плити облицьовують синтетичними полімерами з прокладкою текстурного паперу. Випускають їх також з матовою поверхнею або пофарбованими водоемульсійними полівінілацетатними фарбами. Плити, пофарбовані емалями, мають глянцеву поверхню, підвищену водостійкість.

З матеріалів на органічних в'яжучих найбільш розповсюджені *деревно-стружкові плити*. Цей матеріал одержують гарячим пресуванням подрібненої деревини, змішаної з синтетичними полімерами (рис. 7.5). Перевагами його є однорідність фізико-механічних властивостей, можливість високої механізації і автоматизації виробництва.

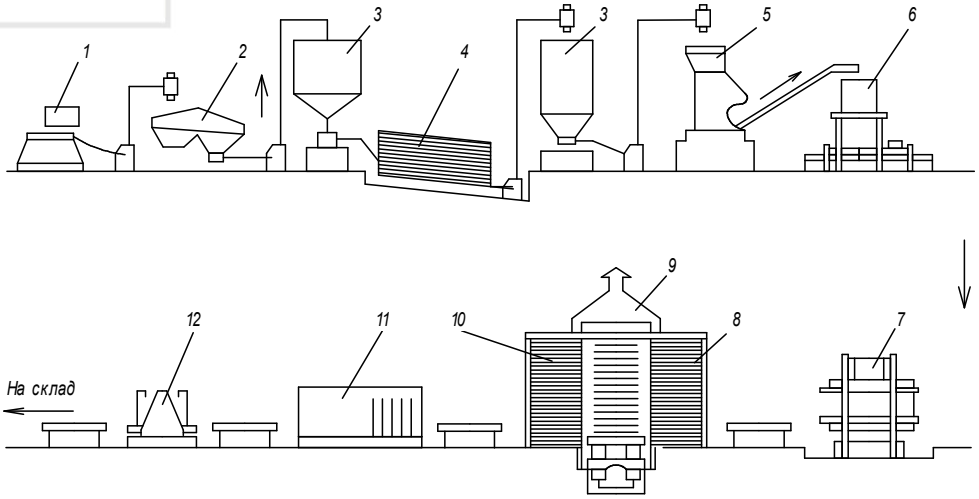

Рис.7.5. Схема виробництва одношарових дерево-стружкових плит: 1- рубильна машина; 2- вібраційне сито; 3- бункер; 4- сушарка; 5- змішувач; 6- настилочна машина; 7- "холодний" прес; 8- завантажувач; 9- "гарячий" прес; 10- розвантажувач; 11- камера для витримування плит; 12- станок для обрізки плит.

Fig. 7.5. Scheme of production of resin-bonded chipboards: 1- chipping machine; 2- vibrating screen; 3- bins; 4-drier; 5- mixer; 6- cloth-spreading machine; 7- "cold" press; 8- feeding apparatus; 9- "hot" press; 10- unloader; 11- chamber for board conditioning; 12- trimming machine.

Промисловість випускає плоскі та екструзійні плити. В перших частинки розміщені паралельно, в других - перпендикулярно до площини плити, що досягається екструзійним способом пресування.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Область застосування деревно-стружкових плит досить різноманітна. Як конструктивно-опоряджувальний матеріал їх застосовують при влаштуванні підлог, стель, стін, перегородок, дверей, вбудованої мебелі тощо. Легкі плити застосовують для теплоізоляції.

Cane fiber boards are materials, which are formed from wooden fibred mass with next thermal treatment. The boards can be also obtained from the fibers of bast plants or from the other fibred raw material, which has sufficient durability and flexibility.

Depending on assignment the hard and soft boards are made. Hard boards are intended for the facing of internal surfaces of buildings, the flush doors and other elements of house-building, soft - for heat-insulation of non-load-bearing structures and sound-proofing of partitions.

The cane fibers boards are tooling added, they can be endued with the texture of wood, skin and others like that. Finishing boards are faced with the synthetic polymers with the gasket of texture paper. They are produced also with a matte surface or painted water-emulsion polyvinyl acetate paints. Boards, painted by enamels, have a glossy surface, enhanced water resistance.

The *resin-bonded chipboards* are the most widespread among the materials with organic binder. This material is obtained by the hot pressing of the ground up wood, mixed with synthetic polymers (fig.7.5). Its advantages are homogeneity of physical-mechanical properties, possibility of high mechanization and automation of the manufacturing.

Industry produces flat and extrusion boards. In the first, the particles are placed parallel, in the second - athwart to the plane of board. It is achieved at the extrusion method of pressing.

Range of application of resin-bonded chipboards is various. As structurally finishing materials they are applied at arranging of floors, ceilings, walls, partitions, doors, built-in furniture and etc. Easy boards are applied for heat-insulation.

7.13. Матеріали на основі деревини і мінеральних в'яжучих
Materials based on wood and mineral binders

Головними представниками групи матеріалів на деревинних заповнювачах і мінеральних в'яжучих є арболіт, фібролiт, ксилолит.

Арболіт – це легкий бетон на заповнювачах рослинного походження, попередньо оброблених розчином мінералізатора. Застосовується головним чином у вигляді панелей і блоків для зведення стін і перегородок, плит перекриття і покриття будівель, теплоізоляційних і звукоізоляційних плит. Арболітові конструкції експлуатують за відносної вологості приміщень не більше 60%, за більшої вологості необхідно обладнання пароізоляційного шару.

Не допускається дія на арболіт агресивних середовищ і систематичної дії температур більше 50° С і нижче мінус 40° С.

Зовнішня поверхня конструкції з арболіту, що стикається з атмосферними осадками, незалежно від вологісного режиму експлуатації повинна мати фактурний (опоряджувальний) шар.

В залежності від середньої густини у висушеному стані арболіт поділяється на теплоізоляційний (з середньою густиною до 500 кг/м^3) і конструкційний (500...850 кг/м^3).

Кращим видом заповнювача для арболіту служить деревинна маса (дробленка) з відношенням найбільшого розміру частинок до найменшого 5...10, товщиною частинок 3...5 мм і найбільшою довжиною до 25 мм. Така форма частинок дозволяє наблизити вологісні деформації вздовж і поперек волокон та знизити їх негативний вплив на структуроутворення і міцність арболіту.

Фібролiт складається з мінерального в'яжучого та деревинної стружки як заповнювача і одночасно армуючого компоненту.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Фіброліт з середньою густиною до 400 кг/м^3 застосовують для теплової ізоляції. Теплоізоляційний фіброліт має теплопровідність 0,09...0,12 Вт/м °С.

За середньої густини 400 кг/м^3 і більше фіброліт як конструкційно-теплоізоляційний матеріал одночасно може використовуватися і для зведення стін, перегородок, перекриттів.

Фіброліт відрізняється високим звукопоглинанням, зумовленим сполучним характером пор, а також хорошою здатністю до обробки, забивання цвяхів, зчепленням з штукатурним шаром і бетоном. Негативними властивостями фіброліту є значна повітропроникність, велике водопоглинання, низька водостійкість, податливість до ураження грибком у вологому стані.

Ксилолітом називається штучний будівельний матеріал, що одержують внаслідок твердіння суміші, та складається з тирси і магнезіального в'яжучого, замішаного водним розчином хлориду або сульфату магнію. Цей матеріал головним чином застосовується для влаштування монолітних або збірних покриттів для підлоги. Перевагами ксилолітових підлог є їх невисокий коефіцієнт теплозасвоєння, гігієнічність, достатня твердість, низька здатність до стирання, можливість різноманітного забарвлення.

The main representatives of group of materials based on wood aggregates and mineral binders are cement wood, fibrolite and xylolite.

Cement wood is a lightweight concrete on the phytogenous aggregates, preliminary treated with the solution of mineralizer. It is used mainly as panels and blocks for the construction of walls and partitions, floor and roof slabs of buildings, heat-insulation and sound insulating slabs. Cement wood structures are exploited at relative humidity of premises not more than 60%, it is required to use the vapor sealing layer at greater humidity.

The systematic action of corrosive environments and temperatures on the cement wood more than 50°C and below minus 40°C is shut out.

External surface of structure from to the cement wood, which contacts with the precipitations, regardless of the humidity conditions of exploitation must have a texture (finishing) layer.

Depending on an average density in the dried up state a cement wood is divided into heat-insulation (with density up to 500 kg/m^3) and constructional (500…850 kg/m^3).

The best type of aggregate for the cement wood is a wood mass (hogged chips) with ratio of the most size of particles toward the least 5…10, thickness particles 3…5 mm and by the most length to 25 mm. Such form of particles allows approaching moisture deformations along and across the grains and reducing the negative influence their on the structure formation and strength of this type of concrete.

Fibrolite consists of the mineral binder and wood shaving as aggregate and simultaneously reinforcing component.

Fibrolite with an average density up to 400 kg/m^3 is applied for a thermal isolation. A termal insulation fibrolite has thermal conductivity 0.09…0.12W/(m·K).

At the average density 400 kg/m^3 and more the fibrolite as constructive-heat insulating material simultaneously can be utilized for the erecting of walls and ceilings.

Fibrolite differs with the high acoustic absorption, the predefined connecting character of pores, and also good capacity for treatment, nailing, tripping with a bonding plaster and concrete. Negative properties of fibrolite are considerable air permeability, big water absorption, low water resistance and ability to the fungi defeating in the moisture state.

Xylolite is an artificial construction material that is obtained as a result of hardening of mixture, which consists of magnesia binder, sawdust and solution of chloride or magnesium sulphate. This material is mainly used for arrangement of monolithic or precast floor coverages. Advantages of xylolite floors are their low coefficient of heat-absorption, hygienics, sufficient hardness, high abrasion resistance and possibility to the various coloring.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

7.14. Бітумні та дьогтеві в'яжучі. Склад і структура
Bitumen and tar binders. Composition and structure

Бітуми та *дьогті* поряд з синтетичними полімерами є органічними в'яжучими і являють собою суміші високомолекулярних вуглеводнів і їх неметалевих похідних.

Бітуми та дьогті отримують з різних матеріалів і різними способами, однак їх об'єднує ряд загальних властивостей, зумовлених відносною близькістю складу і структури. Найважливішими компонентами як бітумів, так і дьогтів є масла та смоли, що являють собою рідке середовище, в якому дисперговані тверді фази: для бітуму в основному асфальтени, а дьогтю – вільний вуглець.

Асфальтени – високомолекулярні сполуки з молекулярною масою 900…6000, що вміщують переважно сполуки вуглецю з киснем, сіркою і азотом. Модифікаціями асфальтенів, які утворюються при більш глибокому окисленні, є *карбени* і *карбоїди*.

Смоли мають молекулярну масу від 500 до 2000, консистенція їх міняється від тягучої липкої до твердої аморфної маси.

Бітуми та дьогті характеризуються міцелярною структурою. В бітумах ядрами міцел є асфальтени – частинки колоїдних розмірів (< 20 мкм), а в дьогтях – вільний вуглець. Оболонка міцел в обох випадках утворюється маслами та смолами. Агрегатний стан бітумів в і дьогтів залежить від співвідношення в них масел і твердих компонентів, а також від температури. При надлишковому вмісті масел між міцелами відсутній контакт і система знаходиться в рідкому стані. Пониження в'язкості і перехід в рідину має місце також і при нагріванні, яке призводить до руйнування міцел. При пониженні температури концентрація міцел збільшується, вони вступають в безпосередній контакт, що викликає перехід системи у в'язкий чи твердий стан.

Bitumens and *tars* along with synthetic polymers are organic binders and consist of highmolecular hydrocarbons and their non-metal derivative mixes.

Bitumen and tar are produced from different materials and in different ways, but they are united by common properties, which is caused because of similarity of structure and composition. The most important components as for bitumen, so for tar are oils and resins, which are flow medium with dispersed solid phases in it: asphaltenes for bitumen, free carbon for tar.

Asphaltenes are high-molecular compounds with molecular weight between 900…6000, which contains mainly compounds of carbon with oxygen, sulphur and nitrogen. Modifications of asphaltenes, which appear at more deep oxidization, are *carbenes* and *carboides*.

Resins have molecular weight from 500 to 2000, their consistency changes from viscous and sticky to solid amorphous mass.

Bitumens and tars are characterized by a micellar structure. The kernels of micelle are asphaltenes in bitumen – particles of colloid sizes (<20 micrometers), and in tars is a free carbon. The shell of micelle in both cases consists of oils and resins. Aggregate state of bitumens and tars depends on correlation in them of oils and solid components, and also from a temperature. When the oils content is excessive, there is no contact between micelles and system is in a liquid state. Reduction of viscosity and transferring into the liquid takes place also on heating, and results in destruction of micelle. At lower temperatures the concentration of micelles is increased, they come in a direct contact and, consequently, the system passes into a viscous or solid state.

7.15. Якісні показники бітумів і дьогтів
Qualitative parameters bitumen and tars

Головними якісними показниками бітумів і дьогтів є в'язкість, деформативність і теплостійкість. Ці властивості залежать в основному від їх складу. Із збільшенням вмісту масел знижується в'язкість, зростає деформаційна здатність та зменшується температура

Національний університет
водного господарства
та природокористування

розм'якшення. Смоли обумовлюють в'яжучі властивості бітумів і дьогтів, надають їм пластичність, збільшують клеючу (адгезійну) здатність. Асфальтени в бітумах і вільний вуглець в дьогтях підвищують температуру розм'якшення і твердість.

В'язкість дьогтів і рідких бітумів визначається віскозиметрами по часу витікання проби через отвір діаметром 5 чи 10 мм при постійній температурі.

В'язкість напівтвердих і твердих бітумів умовно оцінюється по *пенетрації* – глибині проникнення голки певного діаметру при температурі 25° С в десятих долях міліметра (градусах пенетрації). З підвищенням температури в'язкість дьогтів понижується швидше, ніж бітумів, що пояснюється незначною стійкістю дьогтьових міцел.

Здатність до пластичних деформацій визначається для бітумів. Для твердого дьогтьового продукту (*пеку*) вона незначна. Деформативність бітумів характеризується розтягом (*дуктильністю*) – здатністю витягуватися в нитку. Чим більший розтяг, тим вищою буде і пластичність бітумних та дьогтевих в'яжучих. Тверді бітуми і дьогтеві матеріали, як і інші речовини аморфної будови, не мають певної температури плавлення, а характеризуються *температурою розм'якшення*, яка визначається на стандартному приладі «кільце та куля». Під температурою розм'якшення розуміють температуру, при якій бітум чи твердий залишок після розгонки дьогтю (пек), залиті в кільце, під дією сталевої кульки витискуються на певну глибину.

Крім вказаних, при необхідності визначаються і інші властивості - температура спалаху, крихкості, розчинність та ін.

Оскільки основні властивості бітумів і дьогтів в кінцевому рахунку визначаються груповим хімічним складом, вони взаємопов'язані. Так, із збільшенням пенетрації зростає розтяг і знижується температура розм'якшення, а із зменшенням - навпаки.

The main qualitative parameters of bitumen and tar are viscosity, deformability and heat resistanse. These properties depend mainly on their composition. While increasing content of oils, the viscosity reduces, deformation ability grows and the softening temperature decreases. Resins stipulate the cementing properties of bitumen and tar, give them plasticity, and increase gluing (adhesion) ability. Asphaltenes in bitumens and the free carbon in tars raise the softening temperature and solidness.

Viscosity of tars and liquid bitumen is determined by viscosimeters, which measure time of flow through an opening with diameter 5 or 10 mm at a constant temperature.

Viscosity of the semisolid and solid bitumen is relatively estimated from the depth of *penetration* of certain diameter needle at a temperature of 25° C into the tenth part of millimeter (degrees of penetration). With the increase of temperature viscosity of tars falls quicker than that of bitumen, due to insignificant tar micelles firmness.

Plastic flow capacity is determined for bitumen. It is insignificant for a solid tar product – *pitch*. Deformability of bitumen is characterized by *extension* (ductility) – ability to stretch in a filament. The greater the extension, the higher plasticity will be for bitumen and tar binders. Solid bitumen and tar materials, as well as other materials of amorphous structure, don't have a specific temperature of melting, but are characterized by the *softening temperature*, which is determined on a standard tester «ring and ball». A softening temperature is one at which bitumen or solid residue after the distillation of tar (pitch), embedded in a ring, under the action of steel ball is pressed out at a certain depth.

The flash temperature, fragility, solubility and other properties of bitumen and tar binders to be determined, also, if it is required.

In the final analysis, since the basic properties of bitumen and tars are determined by their chemical composition, they are interconnected. So, increasing penetration and stretching will be accompanied by diminishing softening temperature and vice versa.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

7.16. Водо- та корозійна стійкість бітумів та дьогтів
Water- and corrosion resistance of bitumens and tars

Бітумні і дьогтеві в'яжучі є гідрофобними матеріалами, які не змочуються водою і не розчинні у воді. Значення істинної та середньої густини їх коливаються в інтервалі 0,9…1,3 г/см^3 і практично рівні. Завдяки високої водостійкості і незначної пористості, вони з успіхом використовуються як основний компонент гідроізоляційних матеріалів, що мають високу водонепроникність.

Бітуми та дьогті хімічно інертні до водних розчинів мінеральних солей і кислот, що дозволяє широко застосовувати їх для антикорозійного захисту. Агресивно впливають на ці матеріали концентровані луги (вже 10 %-ний розчин лугу визиває омилення бітуму) і сильно концентровані кислоти, що мають окислювальну здатність.

Бітуми і дьогті добре розчинюються в органічних розчинниках, особливо неполярного типу (дихлоретані, бензолі, хлороформі, уайт-спириті тощо).

Бітуми на відміну від дьогтів в умовах вологого середовища, забрудненого мікроорганізмами, не озахищають органічні матеріали від загнивання. Дьогті цілком біостійкі, тому дьогтьовим матеріалам віддають перевагу в умовах прихованої гідроізоляції. Крім цього, дьогті мають більш високу адгезійну здатність, ніж бітуми, що викликано підвищеним вмістом в них поверхнево-активних речовин (феноли, карбазол та ін.).

Як бітуми, так і дьогті (причому останні більшою мірою) здатні до старіння, тобто погіршення якісних показників і зниження довговічності при дії атмосферних факторів. Суть процесу старіння полягає в послідовному окисленні компонентів, що повільно протікає при звичайних температурах. Зниження з часом в бітумних та дьогтьових матеріалах частки масел і смол приводить до падіння їх пластичності та збільшення крихкості.

Bitumen and tar binders are hydrophobic materials, which do not moisten in water and are water-insoluble. Values of their real and average density range between 0.9…1.3 g/cm^3 and are practically equal. Due to high water resistance and insignificant porosity, they are successfully used as basic components of waterproofing materials, which have high water impermeability.

Bitumen and tars are chemically inert to water solutions of mineral salts and acids, which allow them to be widely applied for corrosive protection. However, concentrated alkalis and strong concentrated acids, which have oxidizing ability, would have aggressive influence on these materials (e.g, 10% solution of alkali causes the saponification of bitumen).

Bitumen and tars are soluble in organic solvents, especially the non-polar type (dichloroethane, benzene, chloroform, lacquer petroleum and others like that).

In the conditions of moist environment, contaminated with microorganisms, bitumen do not protect organic materials from rotting. Unlike bitumen, tars are fully biostable. That is why tar materials can be advantageously applied for water-profing. Furthermore, tars have higher adhesiveness than bitumen on account of the enhanced content of surfactants (phenols, carbazole and others).

Both bitumen and tars are susceptible to senescence i.c deterioration of quality parameters, decline of longevity through the action of atmospheric factors. The essence of the senescence process is the successive oxidization of components, which slowly flows at ordinary temperatures. A time dependent decline content of the oils and resins in bitumen and tar materials results in the reduction of their plasticity and increases their fragility.

7.17. Види нафтових бітумів
Types of oil bitumen

В будівельній практиці застосовують, головним чином, штучні нафтові бітуми. *Нафтові бітуми* отримують як кінцеві продукти прямої перегонки чи крекінгу нафти.

Національний університет водного господарства та природокористування

Залежно від способу одержання розрізняють два основних види нафтового бітуму – залишковий і окислений (рис. 7.6).

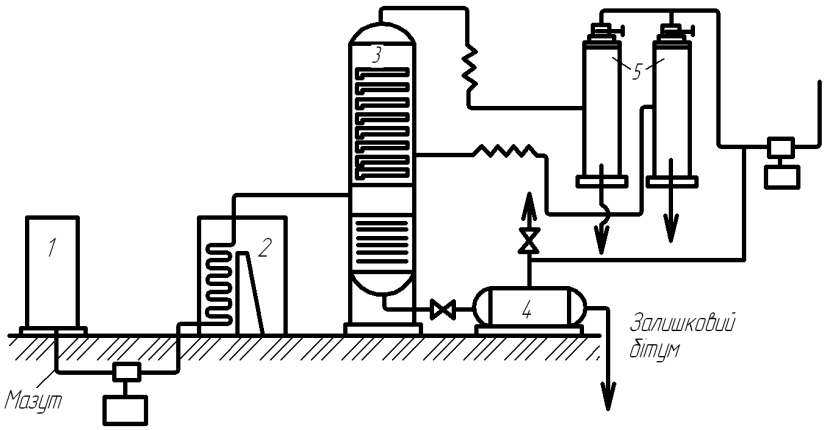

Рис. 7.6. Технологічнв схема виробництва залишкового бітуму: 1– мірник для сировини; 2– трубчата піч; 3– вакуумна колона; 4– бітумний бак; 5– конденсатори
Fig. 7.6. Technological scheme of residual bitumen manufacture: 1– stock measuring device; 2– tube furnace; 3– vacuum column; 4– bitumen tank; 5– condensers.

Залишковий бітум утворюється як залишок після відгонки масел з мазутів та гудронів. Вихід залишкового бітуму при перегонці ароматичних нафт може досягати 15%. Залишкові бітуми вміщують асфальтени в невеликій кількості, тому мають в'язку консистенцію і відносяться до найбільш м'яких сортів.

Окислений бітум одержують шляхом окислення повітрям залишкових бітумів при температурі 180…280° С. Під дією кисню при такій температурі проходять складні реакції конденсації, що приводять до збагачення бітуму асфальтенами за рахунок зниження частки масел і смол. Збільшення частки асфальтенів в окислених бітумах приводить до відповідної зміни їх фізико-механічних властивостей - підвищення температури розм'якшення та спалаху, зменшення пенетрації та розтягу.

Залежно від призначення розрізняють дорожні, будівельні, покрівельні і спеціальні бітуми. Основні стандартні вимоги до дорожніх та будівельних нафтових бітумів приведені в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Основні властивості нафтових бітумів

Тип і марка бітуму	Температура розм'якшення не нижча, °С	Пенетрація в 0,1 мм не нижче		Розтяг при 25°С не менше, см
		при 25°С	при °С	
Дорожний в'язкий				
200/300	35	201…300	45	-
130/200	40	131…200	35	70
90/130	43	91…130	28	65
60/90	47	61… 90	20	55
40/60	51	40…60	13	45
Будівельний				
50/50	50	41…60	-	40
70/30	70	21…40	-	3
90/10	90	5…20	-	1

Для використання асфальтових матеріалів поряд із в'язкими бітумами застосовують і рідкі бітуми трьох класів: ШГ - бітуми, що швидко гуснуть; СГ - що гуснуть з середньою швидкістю і ПГ - що гуснуть повільно. Рідкі бітуми можна виробляти з в'язких бітумів за допомогою розчинників.

In construction practice mainly artificial oil bitumen are appied. *Oil bitumen* is produced as the finished products of direct distillation or oil cracking. They are divided into two basic types of oil bitumen according to the production method use as - residual and oxidized (fig. 7.6).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Residual bitumen appears as the leftover after distillation of oils from black oils and tar oils. The output of residual bitumen as a result distillation of aromatic oils can be as high as 15%. Residual bitumens contains a little amount of asphaltenes. That is why they have viscous consistency and belong to the soft types.

The *oxidized bitumen* is produced by oxidization of residual bitumen at the temperature range between 180…280° C. Under the action of oxygen condensation reactions take place, which results in concentration of bitumen asphaltenes due to the decreasing of oils and resins part at such temperatures. Increasing of part of the asphaltenes in the oxidized bitumen causes a marked change of physical-mechanical properties, such as - increase the softening and flash temperature, diminishing the penetration and stretch.

Depending on the function, bitumen may be distinguished as - road, structural, roofing and special. The basic standard requirements for the road and structural oil bitumen are shown in table 7.2.

Table 7.2.

Common properties of oil bitumens

Bitumen grade	Softening temperature not below, °C	Penetration in not below 0.1 mm		Stretch at 25°C not less than, cm
		at 25°C	at °C	
Road viscous				
200/300	35	201…300	45	-
130/200	40	131…200	35	70
90/130	43	91…130	28	65
60/90	47	61… 90	20	55
40/60	51	40…60	13	45
Constructing				
50/50	50	41…60	-	40
70/30	70	21…40	-	3
90/10	90	5…20	-	1

Three classes of liquid bitumen exist and are applied for using in asphalt materials along with viscid bitumen These include:

- bitumens, which thicken quickly;
- bitumens that thicken with moderate speed;
- bitumens that thicken slowly.

Liquid bitumens can be produced from viscid bitumen with help of solvents

7.18. Види дьогтів
Types of tars

Дьогті як будівельні в'яжучі використовують в значно меншій мірі, ніж бітуми. Це викликано рядом причин, з яких головними є вузький інтервал термостабільності, підвищена здатність до старіння під впливом атмосферних факторів, дефіцитність дьогтевих продуктів, що використовують як цінну хімічну сировину, токсичність.

До дьогтів відносять конденсовані продукти деструктивної (без доступу повітря) перегонки твердого палива і нафти. Найбільше розповсюджені кам'яновугільні дьогті. При переробці кам'яного вугілля одержують кокс, коксовий газ, бензол, аміак і кам'яновугільну смолу – «сирий дьоготь». При переробці сирого дьогтю дістають аміачну воду, масла і твердий залишок – пек. В будівництві застосовують переважно відігнані чи складені кам'яновугільні дьогті. Відігнані дьогті одержують очисткою сирого дьогтю від води та інших летких речовин, складені - при з'єднанні пеків з дьогтьовими маслами.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Поліпшення властивостей дьогтьових в'яжучих направлено, в основному, на підвищення їх в'язкості і погодостійкості, розширення інтервалу пластичності. З цією метою їх окислюють повітрям, підвищують вміст речовин, нерозчинних у толуолі, вводять тонкодиспесні наповнювачі, змішують з нафтовим, а також природним в'язким бітумом, невеликими кількостями синтетичних полімерів і каучуків, додають сірку.

The condensed products of destructive (without access of air) distillation of solid fuel and oil are *tars*. Tars are used as construction binders in considerably less measure, than bitumen. This due to a series of reasons, which include: a narrow interval of thermal stability, enhanced capacity for senescence under the action of atmospheric factors, deficit of tar products, which are used as valuable chemical raw material, and their toxicity.

Coal tars are the most widespread. The processing of anthracite coal produces coke, coke gas, benzene, ammonia and coal resin – "crude tar". Ammonia water, oils and solid remain – pitch are manufactured by processing of crude tar. In construction, residual or composite tars are mainly applied. Residual tars are produced by rectification of crude tars from water and other volatile substances, whilst the composite tars are produced from composition of pitch and tar oils.

Improving the properties of tar binders directed primarily to increasing their viscosity and weather resistance, increased plasticity interval. For this purpose they are oxidized with air, increased the content of substances insoluble in toluene, introductied of pitch and also fine fillers are mixed with oil and bitumen or natural asphaltites, small amounts of synthetic polymers and rubbers, sulfur are added.

7.19. Бітумні і дьогтеві емульсії і пасти
Bitumen and tar emulsions and pastes

Поряд з бітумами і дьогтями в будівництві знаходять застосування *водні емульсії*, які являють собою дисперсні системи, в котрих найдрібніші частинки органічних в'яжучих (менші за 1 мкм) рівномірно розподілені в воді. Одержання стійких емульсій досягається застосуванням добавок поверхнево-активних речовин - емульгаторів. В якості емульгаторів використовують водорозчинні високомолекулярні сполуки і мила лужних металів (омилена каніфоль, жирні кислоти, лігносульфонати та ін.). Механізм дії емульгаторів полягає в адсорбції на частинках бітуму чи дьогтю і утворенні захисних оболонок, які сприяють утриманню диспергованих частинок в завислому стані.

Різновидом емульсій є так звані *емульсійні пасти*, емульгаторами яких служать високодисперсні гідрофільні мінеральні порошки (вапно, глина, трепел і т.п.).

В табл. 7.3 приведені характерні рекомендовані склади бітумних емульсійних паст, що застосовують для холодної асфальтової гідроізоляції.

Табдиця 7.3

Рекомендовані склади бітумних паст

Емульгатор	Склад компонентів за масою, %		
	бітум	вода	емульгатор
Глина:			
високопластична	55…65	25…87	8…10
пластична	45…50	31…45	10…14
Суглинок:			
важкий	40…50	30…45	15…20
легкий	35…40	25…30	30…35
Вапно гашене:			
I сорт	50…55	33…42	8…12
II сорт	45…50	34…43	12…16
Трепел,лес, діатоміт	50…55	30…40	10…15

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Емульсії та пасти не вміщують летких розчинників, їх можна наносити як на сухі, так і на вологі поверхні. Після випаровування води дисперсна фаза емульсій коагулює і утворюється однорідне покриття.

Бітумні і дьогтеві емульсії і пасти широко застосовуються в дорожньому і гідротехнічному будівництві. Пасти використовують в якості в'яжучих для холодних асфальтових мастик.

Для виготовлення емульсій і паст застосовуються в основному в'язкі нафтові бітуми. Технологічний процес полягає в підігріві і переміщуванні вихідних компонентів в спеціальних змішувачах.

Along with bitumens and tars, *water emulsions*, which are the dispersible systems with shallow particles of organic binders (lesser than 1 μm) are evenly diffused in water, are also used in construction. The manufacture of stable emulsions is possible due to application of surfactant additions – emulsifiers. Water-soluble high molecular compounds and soaps of alkaline metals (saponated rosin, fatty acids, lignosulphonates and other) are used as emulsifiers. The mechanism of emulsifier action consists in adsorption on the particles of bitumen or tar and formation of protective shields which are instrumental in maintenance of dispersed particles in the hanging up state.

The emulsion variety is the so-called *emulsion pastes*, emulsifiers of which are superfine hydrophilic mineral powders (lime, clay, tripoli powder and other like that).

In table 7.3 the characteristic compositions of bitumen emulsion pastes, applied for cold asphalt mastics, are presented.

Emulsions and pastes do not contain volatile solvents; they can be used to coat both dry and wet surfaces. Upon evaporation of water the dispersible phase of emulsions coagulates and homogeneous coverage appears.

Bitumen and tar emulsions and pastes are widely used in road and hydraulic engineering construction. Pastes are used as a binder for cold asphalt mastics.

Table 7.3.

Recommended compositions of bitumen pastes

Emulsifier	Composition of components by mass %		
	Bitumen	Water	Emulsifier
Clay:			
high-plastic	55…65	25…87	8…10
plastic	45…50	31…45	10…14
heavy-weight	40…50	30…45	15…20
light-weight	35…40	25…30	30…35
Slaked lime:			
1 grade	50…55	33…42	8…12
2 grade	45…50	34…43	12…16
Tripoli, loess, diatomite	50…55	30…40	10…15

For making emulsions and pastes the viscous oil bitumens are used. The technological process consists in heating and mixing of the initial components in the special mixers.

7.20. Композиційні бітумні і дьогтеві в'яжучі
Composite bitumen and tar binders

Покращення властивостей бітумних і дьогтьових матеріалів можна досягти застосуванням композицій в'яжучих: дьогтьобітумних, гумобітумних, бітумно- і дьогтьополімерних.

При сполученні бітуму з дьогтем чи пеком утворюється в'яжуче, яке має переваги обох компонентів: підвищену біостійкість і атмосферостійкість, високу клеючу здатність,

Національний університет
водного господарства
та природокористування

меншу чутливість до температурних коливань та ін. Найбільш поширені дьогтебітумні композиції, що мають 65…70% бітуму і 25…30% дьогтю.

Для підвищення еластичності, температури розм'якшення, міцності і довговічності бітумів ефективними добавками є гумокаучукові речовини. Так, при співвідношенні гуми та бітуму 1:1 відносне видовження зростає більше, ніж на 200%, еластичність – майже в 3 рази, опір розриву досягає 0,8 МПа, температура розм'якшення до 120° С, а температура крихкості понижується до – 20° С.

Вміст гуми в *гумобітумних в'яжучих*, як правило, коливається від 5 до 30%, причому оптимальна її концентрація зростає в міру зниження в'язкості бітуму. Для виготовлення в'яжучих використовують звичайну подрібнену гуму із старих автомобільних покришок, а також відходів виробництва. Виробництво гумобітумного в'яжучого полягає в плавленні подрібненої гуми з бітумом при температурі 160…200° С і безперервному перемішуванні на протязі 1…2 год. до повної гомогенізації. При механічному впливі в середовищі розплавленого бітуму гума девулканізується і набуває високої пластичності.

Розроблено ряд композицій бітумів з добавками латексів, поліетилену, епоксидних та ряду інших полімерів. *Бітумнополімерні композиції* мають більш високу теплостійкість, механічну міцність та деформативну здатність, особливо при від'ємних температурах. Одержують їх як механічним способом - обробкою суміші на вальцях, так і способом сплавлення при температурі 160…190° С.

The improvement of the properties of bitumen and tar materials can be attained by their application in the form of composite binders: tar-bitumen, rubber-bitumen, bitumen- and tar polymeric.

Binders which are formed by the combination of bitumen with tar or pitch, have the advantages of both components: enhanced biostability and atmospheric resistance, high adhesive capacity, less sensitivity to temperature fluctuations and etc. The most widespread are *tar-bitumen composites* which have a 65…70% bitumen and 25…30% tar.

Rubber matters are effective additions for increasing the elasticity, softening temperature, strength and longevity of the bitumen. Hence, by combining rubber and bitumen in the ratio of 1:1, the relative lengthening is improved by more than 200%, elasticity – by almost 3 times, resistance to breaking attain to 0.8 MPa, the softening temperature to 120° C, and the brittle temperature reduces down to – 20° C.

Content of rubber in *rubber-bitumen binders*, as a rule, is in the limits from 5 to 30%, thus its optimum concentration grows to the extent of decline of viscosity of bitumen. The ordinary ground up rubber from old motor-car overlays, and also wastes of production are used for making the binder. Production of rubber-bitumen binder consists in melting of the ground rubber with bitumen at a temperature 160…200° C and continuous interfusion within 1…2 hours to complete homogenization. With respect to mechanical influence molten bitumen, rubber is devulcanized and acquires high plasticity.

A number of bitumen composites with additives of latex, polyethylene, epoxies have been developed. *Bitumen-polymeric compositions* have higher heat-resistance, mechanical strength and deformative ability, especially at subzero temperatures. They both are produced by mechanical method - by treatment of the mix on rollers and method of alloying at temperatures ranging from 160…190° С.

7.21. Асфальтові мастики
Asphalt mastics

В групу *мастик* входять пластичні речовини, які отримують при змішуванні органічних в'яжучих з тонкодисперсними порошкоподібними чи волокнистими наповнювачами. В якості порошкоподібних наповнювачів застосовують тонкомелені

Національний університет
водного господарства
та природокористування
мінеральні речовини – вапняк, доломіт, крейду, тальк, трепел, золу, цемент та ін.; волокнистих наповнювачів – низькі сорти азбесту, мінеральну вату та ін. В склад мастик залежно від призначення і особливостей компонентів може входити від 10 до 70% наповнювачів.

Назва мастики звичайно вказує на вид в'яжучого, що використовується: бітумна, дьогтьова, гумобітумна тощо. Згідно способу застосування мастики бувають гарячими та холодними.

Гарячі мастики застосовують з попереднім розігрівом до 130…180° С. Вони швидко твердіють в результаті зменшення в'язкості в'яжучих при охолодженні, мають високу водостійкість і клеючу здатність. Разом з тим їх застосування зв'язане з рядом труднощів: небезпекою роботи з гарячими матеріалами, підвищеною липкістю, необхідністю обігріву транспортних пристроїв та ін. Ці труднощі усуваються при застосуванні холодних мастик, які дозволяють механізувати гідроізоляційні робити, підвищити їх продуктивність і покращити умови праці. Крім цього, холодні мастики дозволяють одержувати більш тонкий змащувальний шар і більш економне витрачати органічні в'яжучі.

Холодні мастики являють собою суміші органічних в'яжучих, розріджених розчинниками, чи водоемульсійних паст з мінеральними наповнювачами. В якості розріджувачів застосовують бензин, лігроїн, уайтспирт, керосин, нафтове масло і ін. Холодні мастики при нормальній температурі середовища застосовують без підігріву, їх твердіння проходить за рахунок випаровування розріджувача або випаровування води.

Залежно від призначення мастики розділяють на покрівельні, гідроізоляційні, герметизуючі, шпакльовочні, футеровочні та ін.

Для *покрівельних мастик,* що використовуються при склеюванні рулонних матеріалів та гідроізоляції покрівель, основними показниками є теплостійкість та розтяжність. Із покрівельних мастик найбільш широке застосування одержали бітумні композиції.

Дьогтеві мастики застосовують для наклеювання толевих матеріалів. В'яжучими в них служать дьогті і їх суміші з полімерами.

Гідроізоляційні мастики застосовують для створення гідроізоляційних обмазок та заповнення деформаційних швів. Найважливішими вимогами до гідроізоляційних мастик є понижені значення водонасичення і набухання, достатня деформативність.

Plastic substances, which are produced using combination of organic binders with fine powder-like or fibred fillers are categorized as *mastics*. Fine powdered mineral matters – limestone, dolomite, chalk, talc, tripoli powder, ash, cement, etc. are used as powder-like fillers; low sorts of asbestos, mineral wool, etc - as fibred fillers. Mastics can include of 10…70% fillers, depending on the function and peculiarities of the components.

The name of mastics usually specifies the kind of applied binder: bitumen, tar, rubber-bitumen etc. Depending on the method of application mastics may be categorized as hot or cold.

Hot mastics are applied with previous warming-up to 130…180°C. They harden quickly as a result of diminishing viscidity of binder at cooling and have high water resistance and adhesive capacity. At the same time its application involves a number of difficulties: by the danger of working with hot materials, enhanced adhesiveness, by the necessity of heating of transport devices and etc. These difficulties are absent with the application of cold mastics which allows waterproofing work to be mechanized, increase their productivity and improve the labour conditions. Furthermore, cold mastics allows getting a more lubricating skim and more economy with respect to the cost of organic binders.

Cold mastics are mixtures of organic binders, thinned with solvents, or water-emulsion pastes with mineral fillers. Petrol, ligroin, white spirit, kerosene, oil butter, etc. are applied as solvents. At the normal ambient temperature, cold mastics are applied without heating, their hardening progresses due to evaporation of solvent or water evaporation.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Depending on the required function, mastics are divided into roofing, waterproofing, spackling, lining, etc.

For *roofing mastics*, used for agglutination of roll materials and waterproofing of roofs, the basic indexes are heat-resistance and stretchability. Bitumen compositions have got the widest application among roofing mastics.

Tar mastics are applied for gluing on tar paper materials. Tars and their mixtures with polymers serve as binders in theese mastics.

Waterproofing mastics are applied for waterproofing plaster creation and filling of deformation joints. Major requirements for waterproofing mastics are small values of water saturation and swellings, sufficient deformability.

7.22. Асфальтові бетони. Загальні відомості
Asphalt concrete. Overview

Асфальтовим бетоном називають матеріал, який отримують в результаті затвердіння ущільненої і раціонально підібраної суміші асфальтового в'яжучого і мінеральних заповнювачів. Під асфальтовим в'яжучим розуміють суміш бітуму з мінеральним наповнювачем - тонкодисперсним порошком. Як мінеральні заповнювачі використовуються пісок і щебінь чи гравій.

Асфальтові бетони класифікують по структурних ознаках - зернистості і пористості, температурі при укладанні, фізичному стану і призначенню. Залежно від максимальної крупності зерен суміші заповнювачів розрізняють крупнозернисті (до 40 мм), середньозернисті (до 25 мм) і дрібнозернисті (до 15 мм) асфальтові бетони. Максимальна крупність заповнювачів не повинна перевищувати 0,6…0,7 товщини асфальтового покриття. При відсутності в масі зерен крупного заповнювача (більше 3…5 мм) матеріал називають піщаним асфальтовим бетоном чи асфальтовим розчином. При пористості менше 5% асфальтові бетони вважають щільними, а більше 5% - пористими. По температурі маси при укладанні розрізняють гарячі, теплі і холодні асфальтові бетони. Перші укладають при температурі маси не нижче 120° С, другі – не нижче 60° С. Холодні асфальтові бетони укладають при температурі маси 25…30° С і навколишнього повітря не нижче 10° С. Позитивними особливостями гарячих асфальтових сумішей є висока швидкість твердіння, а холодних – тривале зберігання.

Асфальтобетонні суміші залежно від легкоукладальності бувають жорсткі, пластичні і литі. В міру зменшення жорсткості сумішей утруднюється розкладка маси, однак полегшується її ущільнення.

По призначенню асфальтові бетони класифікують на дорожні, аеродромні кислотостійкі, декоративні та гідротехнічні.

Asphalt concrete is the name for material, which is produced as a result of hardening of compacted and rationally composed mixture of asphalt binder and mineral aggregates. Asphalt binder is the mixture of bitumen with mineral filler – fine powder. Sand and crushed stone or gravel is used as mineral aggregates.

Asphalt concretes are classified according to structural features – grain iness and porosity, the temperature at a packing, physical state and function. Depending on the maximal fineness of grains of aggregates in the mixture, asphalt concretes may be distinguished as: coarse-grained (to 40 mm), medium-grained (to 25 mm) and fine-grained (to 15 mm). Maximal fineness of aggregates should not exceed 0.6…0.7 thickness of asphalt coverage. In the absence of grains of coarse aggregates (more than 3…5 mm), the material is called sand asphalt concrete or asphalt mortar. At porosity less than 5% asphalt concretes are considered as dense and more than 5% – porous. Depending on the temperature of mass at packing asphalt concrete may be distinguished as hot, warm and cold ones.The first are packed at a temperature of the masses not below 120° C, the

Національний університет
водного господарства
та природокористування

second - not below 60° C. Cold asphalt concrete is packed at the temperature masses 25…30° C and ambient air not below 10° C. The positive feature of hot asphalt mixtures is highr ate of hardening, and cold is the protracted storage.

Asphalt concrete mixtures depending on workability may be stiff, plastic and poured. Diminishing the stiffness of the mixtures leads to difficulty in the placement of mass, its compacting is however facilitated.

Depending on the functional requirements asphalt concretes are classified as: road, aerodrome, acid-proog, decorative and hydraulic.

7.23. Склад асфальтобетонної суміші
The composition of asphalt concrete mixture

Для виготовлення гарячих асфальтобетонів застосовують в'язкі дорожні бітуми. При цьому більш в'язкі бітуми застосовують при необхідності забезпечити підвищену теплостійкість і водостійкість покриття. В теплих сумішах використовують бітуми пониженої в'язкості, а також рідкі бітуми, що швидко гуснуть, і ті, що гуснуть з середньою швидкістю. Холодні асфальтобетони готують на основі рідких бітумів, що гуснуть з середньою швидкістю або повільно. Для асфальтобетонів, які застосовуються в гідроізоляції, ефективне використання бітумно-полімерних в'яжучих.

Найважливішим компонентом асфальтобетонів є наповнювач, що покращує основні властивості матеріалу, зв'язує бітум на своїй поверхні і структурує його. Мінеральний наповнювач сприяє підвищенню щільності асфальтобетону (рис. 7.7) і зниженню витрати бітуму. Як наповнювач застосовують тонкоподрібнені порошки з основних матеріалів - вапняків, доломітів і асфальтових порід. Деколи використовують також пилоподібні відходи промисловості. Вміст глинистих частинок в наповнювачу повинен бути не більше 5%. Оптимальною є дисперсність порошку, при якій його питома поверхня складає 4000…5000 см^2/г. Мінеральний порошок, одержаний з кислих гірських порід, не має на бітум необхідного структурного впливу. Ефективний спосіб покращення якості наповнювана - його активізація обробкою бітумом і поверхнево-активними речовинами в процесі подрібнення.

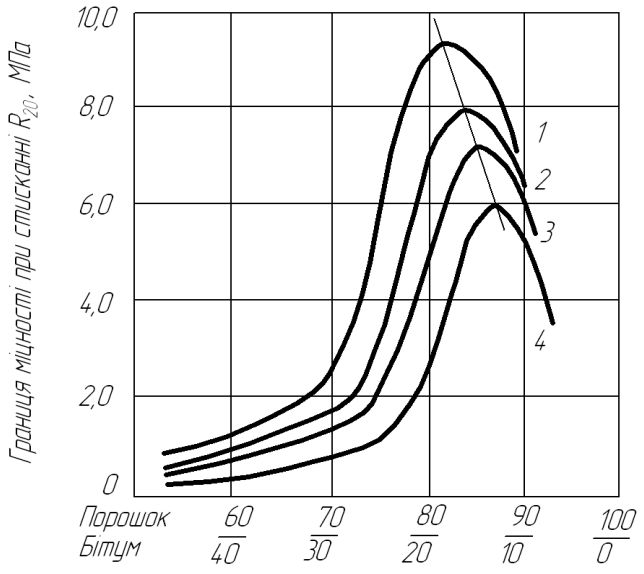

Рис.7.7. Вплив мінерального наповнювача на міцність асфальтобетону: 1– бітум БНД 40/60; 2– БНД 90/130; 3– БНД 130/200; 4– БНД 200/300
Fig. 7.7. Relationship between content of mineral filler and asphalt concrete strength: 1– bitumen 40/60; 2– 90/130; 3–130/200; 4–200/300.

Теплостійкість та тріщиностійкість асфальтобетону значно покращуються при добавці 2…3% волокнистого наповнювача – низькосортного азбесту. Надлишок азбесту приводить до негативного ефекту: підвищується пористість та знижується водостійкість бетону.

Пісок і щебінь чи гравій для асфальтових бетонів застосовуються переважно такі самі, як і для цементних бетонів. При цьому важливо створити такий гранулометричний склад мінеральної частини асфальтобетону, що забезпечував би мінімальну пустотність сумішей.

З методів проектування складів асфальтобетону найбільш поширений метод підбору по кривих щільних сумішей, який включає визначення гранулометричного складу щебеню,

Національний університет
водного господарства
та природокористування

піску і наповнювача; вибір співвідношення між мінеральними матеріалами за умови 100% сумарного вмісту всіх фракцій: призначення орієнтовної кількості в'яжучого з наступним коректуванням пробними замісами і дослідженням зразків.

В табл. 7.4 наведені орієнтовні склади піщаних і дрібнозернистих сумішей, рекомендованих для гідротехнічного асфальтового бетону.

Таблиця 7.4

Склад гідротехнічних асфальтових бетонів по масі, %

Компонент	Піщаний асфальт		Дрібнозернистий асфальтобетон		
	ущільений	литий	ущільнений	литий	пористий
Щебінь чи гравій крупністю до 15 мм	-	-	10…25	10…25	40…65
Кам'яна крихта крупністю до 5 мм	20…35	20…35	40…65	40…65	20…35
Середньозернистий пісок	40…65	40…65	15…25	15…25	15…25
Мінеральний порошок	15…25	15…25	15…25	15…25	0…5
Коротко волокнистий азбест	1…3	-	1…3	-	-
Бітум	7…12	12…18	6…10	10…15	4…7

Viscous road bitumens are used for making hot asphalt concrete. Thus more viscous bitumens are applied, if it is required to provide enhanced heat-resistance and water resistance of coverage. In warm mixtures, bitumens of reduced viscosity are used and also liquid bitumens, which thicken quickly and those, which thicken with medium speed. Cold asphalt concrete is prepared on the basis of liquid bitumens, which thicken with middle speed or slowly. For asphalt concrete, used in damp-proofing, it is more effective to use bitumen-polymeric binders.

An important component of asphalt concretes is the filler, which improves the basic properties of material, connects the bitumen on the surface and structures it. Mineral filler is instrumental in increasing the density of asphalt concrete (fig. 7.7) and the reduction of bitumen consumption. The fine powders from such materials - limestones, dolomites and asphalt rocks are applied as fillers. Sometimes pulverized industrial wastes are also used. The content of clay particles in the filler must be no more than 5%. The optimum dispersion of powder is that, at which its specific surface measures 4000…5000 cm^2/g. Mineral powder, produced from rocks, which contain acidic compounds, does not have the necessary positive influence on bitumen. An effective method of improvement of the filler quality is its activation by treatment with bitumen and surfactant matters in the process of grinding.

Heat and crack resistance of asphalt concrete is considerably improved by addition of 2…3% fibred filler (low-grade asbestos). Surplus asbestos results in a negative effect such as: increased porosity and reduced water resistance of concrete.

Sand and crushed stone or gravel, used for asphalt concrete, is mainly the same, as those used for cement concretes. It is thus important to create such grain-size distribution of the mineral part of asphalt concrete, which would provide minimum voidage of the mixtures.

Among the methods of proportioning asphalt concrete mixtures the most widespread is the method that involves the use of dense mixtures curves, which includes determination of grain-size distribution of the crushed stone, sand and filler; the choice of the proportion of mineral materials with condition of 100 % total content of all fractions: setting of approximate amount of binder with next correction by the trial batches and researching of specimens.

In table 7.4 approximate compositions of sand and fine-grained mixtures, recommended for hydraulic asphalt concrete are presented.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Table 7.4.

Compositions of hydraulic asphalt concretes, % by mass

Component	Sand asphalt		Fine-grained asphalt concrete		
	compacted	poured	compacted	poured	porous
Crushed stone or gravel of fineness to 15 mm	-	-	10…25	10…25	40…65
Stone chips of fineness to 5 mm	20…35	20…35	40…65	40…65	20…35
Medium-grained sand	40…65	40…65	15…25	15…25	15…25
Mineral powder	15…25	15…25	15…25	15…25	0…5
Shortly fibred asbestos	1…3	-	1…3	-	-
Bitumen	7…12	12…18	6…10	10…15	4…7

7.24. Властивості асфальтобетону та його виробництво
Properties and producing of asphalt concrete

Основні властивості асфальтового бетону тісно зв'язані з його структурою, яка, в свою чергу, визначається структурою мінерального остову, особливостями взаємодії мінеральних матеріалів з бітумом.

Фізико-механічні властивості асфальтового бетону зв'язані перш за все з його щільністю. Так, найбільшій щільності відповідає і найбільша міцність матеріалу. Вплив вологи на асфальтовий бетон посилюється при збільшенні кількості сполучених між собою пор. Об'єм цих пор характеризується водопоглинанням.

Бітум має найбільш високу в'язкість і міцність в зоні контакту з поверхнею мінеральних компонентів. Збільшення кількості неадсорбованого вільного бітуму приводить до послаблення структури та зниженню міцності (рис. 7.8) асфальтового бетону. Однак певна кількість вільного бітуму необхідна для надання асфальтовому бетону пластичності та корозійної стійкості.

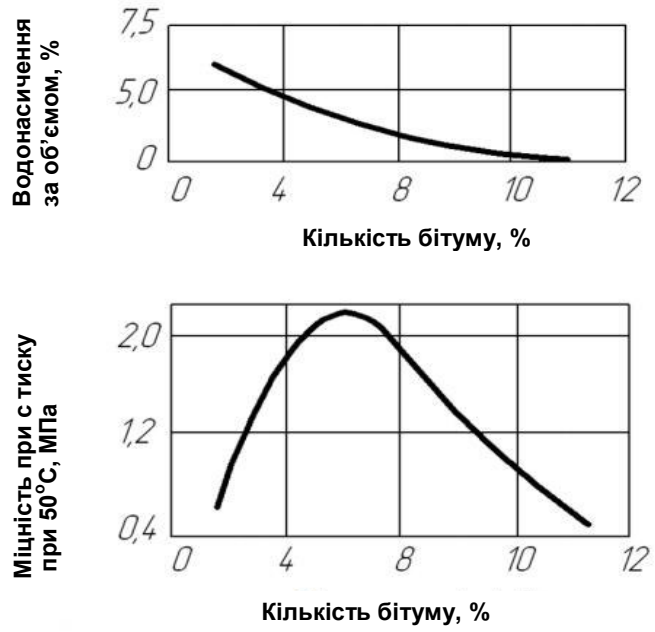

Рис. 7.8. Вплив вмісту бітуму на властивості асфальтового бетону
Fig. 7.8. Relationship between bitumen content and acphalt concrete properties.

Границя міцності асфальтового бетону на стиск визначається випробуванням на стиск зразків-циліндрів при температуріах 0; 20 і 50° С.

Відношення міцності при нормальній температурі до міцності при температурі 50° С називають коефіцієнтом теплостійкості, відношення показників міцності при 20 і 0° С – коєфіцієнтом еластичності. При недостатній теплостійкості в покриттях розвиваються деформації зсуву, які викликають спливання асфальтового бетону на відкосах, а при недостатній еластичності знижуються деформативна здатність і тріщиностійкість цього матеріалу при низьких температурах. Покращити структурно-механічні властивості асфальтових бетонів можна добавками деяких полімерів і

Національний університет
водного господарства
та природокористування

особливе каучуків. Каучукоподібні полімери в кількості 2…3% від маси бітумів збільшують інтервал пластичності асфальтобетонних сумішей до 100…120° С, понижують на 10…20° С температуру крихкості, значно підвищують їх еластичність в широкому діапазоні температур, покращують ряд інших властивостей. Для забезпечення температурної стійкості асфальтового бетону важливо також забезпечити в ньому оптимальний вміст мінерального наповнювача.

Водостійкість асфальтового бетону характеризується відношенням границь міцності на стиск водонасичених і сухих зразків при 20° С, а також водопоглинанням і набуханням під вакуумом. На водостійкість позитивно впливає підвищення щільності і покращення зчеплення бітуму з мінеральними компонентами. Водостійкість залежить від кількості і хімічного складу бітуму і мінерального порошку.

Асфальтові суміші виготовляють на спеціалізованих підприємствах стаціонарного чи тимчасового пересувного типу. В технологічний цикл виробництва гарячих асфальтових сумішей входять такі основні операції: сушка, підігрів заповнювачів до 160…200° С, розсів їх на фракції; приготування в помольних установках мінерального наповнювача; розплавлення бітуму в плавильних котлах при температурі 150…190° С, дозування і ретельне перемішування всіх компонентів.

Готова асфальтобетонна суміш з температурою 140…160°С транспортується на будівельний об'єкт, де укладається на спеціальну основу механічними укладачами та ущільнюється за допомогою статичних і вібраційних катків, поверхневих вібраторів та інших спеціальних віброущільнювачів.

Основа під асфальтовий бетон повинна бути ущільненою, сухою і рівною, забезпечувати добре зчеплення і сприймати без значних деформацій експлуатаційні навантаження.

The basic properties of asphalt concrete are closely related to its structure, which is determined by the structure of mineral part, by the features of interaction mineral materials with bitumen.

The physical-mechanical properties of asphalt concrete are related, first of all, with its density. So the maximum density correlates to the maximum strength of material. Influence of moisture on asphalt concrete is increased with the increase of the amount of connected pores. The volume of these pores correlated with the value of water absorption.

Bitumen has the most high viscosity and strength, in the area of contact with the surface of mineral components. Increasing the amount of unabsorbed free bitumen results in structure weakening and strength decreasing (fig. 7.8) of asphalt concrete. However a certain amount of free bitumen is needed for a attachment of plasticity and corrosive resistance to the asphalt concrete.

Ultimate compressive strength of asphalt concrete is determined by testing cylindrical specimens at temperatures of 0; 20 and 50° C.

The ratio between strength of acphalt concrete at the normal temperature and strength at a temperature 50° C is called the heat-resistance coefficient, whilst the ratio between the indexes of strength at 20 and 0 °C is called the elasticity coefficient. Shear deformations take place due to insufficient heat-resistance, which cause dulling of asphalt concrete on the slopes. Deformability and crack-resistance are reduced due to insufficient elasticity at low temperatures. Additions of some polymers and especially rubbers improve structural and mechanical properies of asphalt concretes. Rubbery polymers in the amount 2…3% introduced to the mass of bitumen increase the interval of plasticity of asphalt concrete mixtures up to 100…120° C, decrease the temperature of fragility by 10…20° C, considerably improve their elasticity in a wide range of temperatures, and improve a number of other properties. To ensure good resistance to temperature of asphalt concrete, it is important also to provide optimum content of mineral filler in it.

Water resistance of asphalt concrete is characterized by the ratio between ultimate compression strength of water-saturated and dry specimens at 20° C, and also water absorption and

Національний університет
водного господарства
та природокористування

swelling under vacuum. Increasing the density, improvement of bitumen adhesion with mineral components, positively influence the water resistance. Water resistance also depends on the amount and chemical composition of bitumen and the mineral powder.

Asphalt mixtures are made on the specialized enterprises of stationary or temporal movable type. Such basic operations are included in the technological cycle of hot asphalt mixtures production: drying, heating of aggregates to 160…200° C, separating them into fractions; preparation of mineral filler in the mill unit; melting of bitumen in melting tank at temperatures 150…190° C, dosage and careful mixing of all components.

Ready made asphalt concrete mixtures with the temperature 140…160° C is transported on industrial site, where it is specially placed with a mechanical paver and is compacted by static and vibrating rollers, surface vibrators and other special vibratory compactors. Bases under an asphalt concrete should be compacted, dry and plane, to provide good coupling and take up the operating loadings without considerable deformations.

7.25. Рулонні матеріали
Roll materials

Рулонні матеріали поставляють в рулонах довжиною 10…30 м. Їх підрозділяють на основні, які одержують шляхом просочування основи (картону, склотканини та ін.) органічними в'яжучими (рис.7.9) і безосновні, котрі виготовляють прокатуванням сумішей в'яжучих з наповнювачами. Основні і безосновні рулонні матеріали застосовують для обладнання покрівель та гідроізоляції. Специфічні вимоги, які висувають до покрівельних матеріалів - це атмосферо- та теплостійкість, гідроізоляційних - водонепроникність, деформативність, біостійкість. Покрівля з рулонних матеріалів для споруд промислового і цивільного призначення використовується в три - п'ять шарів у вигляді покрівельного килима, який укладається по суцільній основі. Для улаштування верхніх шарів застосовують матеріали з покращеними фізико-механічними властивостями, для нижніх - підкладні рулонні матеріали.

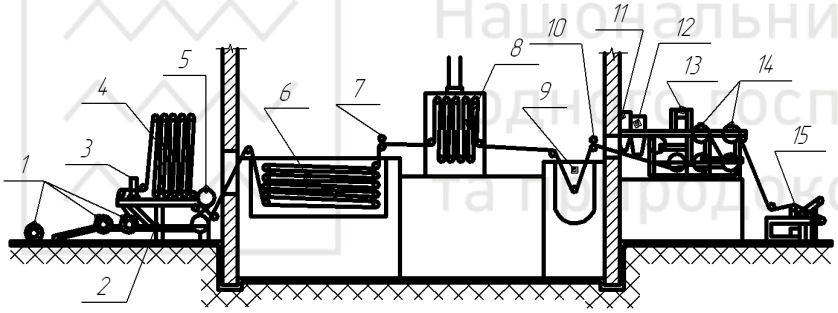

Рис.7.9. Схема установки для виробництва руберойду:
1– бабіна картону; 2– розмотувальний станок; 3– зшиваючий станок; 4– магазин запасу картону; 5– сушильні циліндри; 6– просочувальна ванна; 7,10– віджимні вальці; 8– камера для додаткового просочування; 11,12,13– бункери для посипки; 14– охолоджувальні барабани; 15– намоточний станок
Fig.7.9. Scheme of ruberoid manufacture: 1–carton reel; 2– uncoiler machine; 3– stitcher; 4– carton stock box; 5– drier roll; 6– dipping tank; 7,10– squeeze rollers; 8– additional dipping cell; 11,12,13– grit bin; 14– cooling roller; 15– reeler.

Обклеювальна гідроізоляція із рулонних матеріалів також використовується у вигляді багатошарового покриття і є найбільш поширеною.

Основні рулонні матеріали поділяють на *безпокривні* і *покривні*. Перші отримують просочуванням основи без наступного нанесення покривного шару, другі нанесенням на просочену основу з обох сторін захисних покривних шарів, які забезпечують підвищені технічні властивості і довговічність матеріалів.

До поширених безпокривних покрівельних і гідроізоляційних матеріалів відносяться *пергамін* та *гідроізол*, які одержують просоченням основи нафтовими бітумами. Основою для пергаміну є покрівельний картон масою 300 г і 350 г, виготовлений з переробленої суміші ганчір'я, паперової макулатури та волокнистої деревної маси. Його використовують

Національний університет
водного господарства
та природокористування
головним чином для покрівель тимчасових будов, а також для пароізоляції. Основою гідроізолу служить азбестовий папір.

Поширеними покрівельними основними матеріалами є *руберойд* і *толь*, які одержують просоченням покрівельного картону відповідно нафтовими бітумами чи дьогтями з наступним нанесенням на обидві сторони полотна покривного шару органічних в'яжучих з наповнювачами та посипки.

Руберойд залежно від призначення поділяється на покрівельний і підкладний. Перший служить для улаштування верхнього шару покрівельного килима, другий - нижніх шарів покрівельного килима та гідроізоляції конструкції.

Гідроізоляційні властивості рулонних матеріалів значно покращуються при заміні покрівельного картону скловолокнистими матеріалами і металічною фольгою.

Як основу для *склоруберойду* використовують - нетканий матеріал (склохолст) із хаотично розміщених скляних волокон, склеєних полімерами.

Високоякісними рулонними матеріалами являються *бітумно-гумові матеріали*. Їх отримують при використанні бітумно-гумового в'яжучого, наповнювачів та добавок. Порівняно із звичайним руберойдом, бітумно-гумові матеріали відрізняються значно більшим видовженням, меншим водонасиченням, гнилостійкістю, зберігають гнучкість навіть при від'ємних температурах.

Roll materials are supplied in rolls of 10…30 m long. They are divided into basic roll materials, which are produced by impregnation of bases (the cardboard, glass fabric, etc) by organic binder (fig. 7.9) and *wilhout base*, which are made by rolling of mixtures binder with fillers. The roll materials are applied for the installation of roofs and damp-proofing. Specific requirements, which are advanced for roofing materials are in respect to its atmospheric - and thermal resistance, to waterproofing – water-impermeability, deformability, and biostability. A roof from roll materials for industrial and civil buildings is used in three - five layers as a roofing carpet. For arranging of overlays the materials with improved physical-mechanical properties are used. For lower layers one - sarking felt can be used.

Surface waterproofing from roll materials is also used as multi-layered coverage and is the most widespread.

Basic roll materials are divided *into uncovering* and *covering*. The first are produced from impregnated bases without next application of covering layer; second – by application on the impregnated basis from both sides of protective covering layers, which provide enhanced technical properties and longevity of materials.

Asphalt paper and *asbestos-base felt*, which are produced by the impregnation respectively of paper or asbestos with bitumens, are the widespread roofing and water proofiling materials. Asphalt paper basis is a roofing carton with mass 300…350 g/cm^2, made from the mixture of rag, waste-paper and fibred wood-pulp. It is used mainly for the roofs of temporary structures, and also for vapor sealing. Asbestos paper serves as the basis for asbestos-base felt.

Widespread roofing basic materials are *ruberoid* and *pitch felt*, which are produced by the impregnation of roofing carton respectively with oil bitumens or tars with the next covering the layer of organic binder with fillers and grit.

Ruberoid is divided into roofing and lining depending on setting. The first one serves for arranging of overlay of roofing carpet, second one is for lower layers of roofing carpet and waterproofing of structures.

Waterproofing properties of the roll materials are improved considerably by the replacement of roofing cardboard of fiberglass materials and metallic foil.

The nonwoven fabric made of chaotically placed fiberglass, agglutinated by polymers is used as the basis for *glass-ruberoid*.

*Rubber-bitumen material*s are high-quality roll materials. They are produced by the use of bitumen-rubber binder, fillers and admixtures. By comparison to an ordinary ruberoid, rubber-

Національний університет
водного господарства
та природокористування
bitumen materials differ of higher extensibility, lesser water saturation, rotresistance and flexibility even at subzero temperatures.

7.26. Полімерні матеріали. Загальні відомості
Polymer materials. Overview

Полімерними називають матеріали, які одержують на основі високомолекулярних речовин – *полімерів*. В будівництві застосовують переважно синтетичні органічні полімери, які одержують синтезом з найпростіших речовин – *мономерів*. Молекулярна маса полімерів перевищує 5000 і досягає сотень тисяч одиниць, тоді як для молекул звичайних низькомолекулярних речовин вона досягає лише декількох сотень (як правило, менше 500). Така істотна різниця в молекулярній масі приводить до різкої відмінності фізичних властивостей полімерів від властивостей низькомолекулярних речовин.

Для полімерних матеріалів характерний ряд загальних властивостей, що визначають їх застосування в будівництві: легкість в поєднанні з високою міцністю, стійкість до води та різноманітних хімічних реагентів, висока стійкість до зношування, технологічність, здатність легко фарбуватися, мала теплопровідність. Загальними недоліками полімерних матеріалів є низька теплостійкість, значне лінійне розширення, повзучість, здатність до старіння, тобто погіршення фізико-механічних властивостей під дією факторів навколишнього середовища.

Більшість полімерних матеріалів застосовують у вигляді *пластмас* які включають полімерне в'яжуче, наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори та інші компоненти. Пластмаси відносяться до найбільш прогресивних будівельних матеріалів, вони переважають по багатьох показниках традиційні матеріали. Наприклад, коефіцієнт конструктивної якості – відношення границі міцності при стиску до середньої густини для пластмас складає переважно 1...2, як і для легких металевих сплавів, в той час, як для цегли він дорівнює приблизно 0,02; важкого бетону класу В15 – 0,08; сталі марки Ст3 – 0,5; соснової деревини – 0,7.

При заміні пластмасами в будівництві металу, бетону, залізобетону, деревини досягається в багатьох випадках високий техніко-економічний ефект. Виробництво пластмас дозволяє забезпечити високий рівень комплексної механізації і автоматизації технологічних процесів, а застосування їх – високий рівень індустріалізації будівництва і його якості.

Залежно від призначення пластмаси поділяють на конструкційні (для несучих і огороджуючих конструкцій), опоряджувальні (для опорядження стін та покриття підлоги), ізоляційні і герметизуючі, матеріали для трубопроводів, санітарно-технічних виробів та ін.

Polymer materials are obtained on the basis of macromolecular substances - *polymers*. Synthetic organic polymers, obtained by syntheses of the simplest substances — *monomers,* are mainly used in construction, Polymers molecular weight exceeds more than 5000 and culminates hundred thousand units, while the weight of common low-molecular substances' molecules reachs only to few hundreds (usually lower 500). That truthful difference in molecular weight explains the big difference of polymers physical properties compared with the lowmolecular substances properties.

The row of general properties is distinctive to polymer materials, as it determines their using in construction: lightness in combination with high strength, water and chemical resistance, high wearing resistance, processability, colouring ability, low thermal conduction. Low heat-resistance, considerable linear increasing, creep, degradation ability– the deterioration of the physical and mechanical properties because of environmental factors are general defects of the polymer materials

The most of the polymer materials are used as *plastics*, including polymer binder, fillers, plasticizers, stabilizers and other components. Plastics belong to the most modern construction materials, as they prevail over traditional materials by many parameters. For example, the construction quality coefficient, which means ratio between the compressive strength and the

Національний університет водного господарства та природокористування

average density achieves for plastics usually 1…2, as for light-weight metal alloys, at the same time for bricks it achieves 0.02, for heavy-weight concrete with strength 20 MPa – 0.08; for pinewood – 0.7.

At replacement of metal, concrete, reinforced concrete, wood by plastics in construction in many cases one gains high technical economic effect. Plastics manufacturing allows providing high level of the comprehensive mechanization and automation of technological processes, their using leads to the high level of construction industrialization and its quality.

Depending on assignment plastics are separated on constructing, finishing, insulating and sealing, piping materials, hygiene and sanitary products, etc.

7.27. Синтетичні полімери
Synthetic polymers

Синтетичні полімери класифікують за різноманітними ознаками: способу одержання, особливостями розміщення атомів у макромолекулі і довжиною основного ланцюга, відношенню до температури, відмітними фізико-механічними властивостями, хімічним складом та ін.

В залежності від способу одержання полімери поділяють на *полімеризаційні* і *поліконденсаційні*. Вихідними матеріалами для їх одержання служать природний газ, кам'яне вугілля і нафта.

Приклади полімеризаційних і поліконденсаційних полімерів наведені в табл. 7.5.

Як полімеризаційні, так і поліконденсаційні полімери можуть характеризуватись лінійною, розгалуженою і просторовою будовою молекул (рис. 7.10). При розгалуженій будові ланцюгові макромолекули мають бокові розгалуження, а при просторовій вони сполучені одна з одною в трьохмірну сітку поперечними хімічними зв'язками.

Таблиця 7.5

Приклади полімеризаційних і поліконденсаційних полімерів

Полімери	Мономери	Спосіб одержання
Полімеризаційні:		
Поліетилен $(-CH_2-CH_2-)_n$	Етилен $CH_2=CH_2$	Полімеризація в газовій фазі при високому (120-250 МПа) чи низькому (0,1-0,5 МПа) тиску
Полістирол $(-C_6H_5-CH-CH_2-)_n$	Стирол $C_6H_5-CH=CH_2$	Блочна, емульсійна чи суспензійна полімеризація
Полівінілхлорид $(-CH_2-CHC1-)_n$	Вінілхлорид $CH_2=CHC1$	Суспензійна чи емульсійна полімеризація
Політетрафторетилен $(-CF_2-CF_2-)_n$	Тетрафгоретилен $CF_2=CF_2$	Теж
Поліконденсаційні:		
фенолформальдегідні	Фенол C_6H_5OH Формальдегід CH_2O	Поліконденсація фенолів з формальдегідом
Карбамідні	Карбамід $CO(N_2H)_2$ Формальдегід CH_2O	Поліконденсація карбаміду з формальдегідом
Поліефіри	Етиленгліколь $HOCH_2-CH_2OH$ Гліцерин та ін.	Поліконденсація кислот з багатоатомними спиртами
Епоксидні	Епіхлоргідрин Дифенілопропан	Поліконденсація епіхлоргідрину з дифенілопропаном

Національний університет
водного господарства
та природокористування

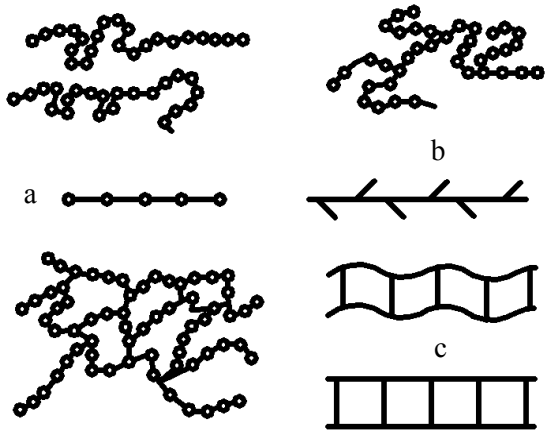

Рис.7.10. Схеми різних видів полімерів: a – лінійні; b – розгалужені; c – просторові
Fig. 7.10. Schemes of different polymer types: a– lineal; b– branched; c– spatial.

Полімери, здатні багатократно при нагріванні пом'якшуватись і набувати пластичності, а при охолодженні тверднути, називають *термопластичними*. Термопластичні полімери мають лінійну чи розгалужену будову і утворюються переважно реакцією полімеризації.

Полімери з просторовою будовою макромолекул не можуть після твердіння знову при нагріванні набути пластичності. Вони отримали назву *термореактивних* (*реактопласти*). До них належить більшість поліконденсатів.

Synthetic polymers are classified according to different signs: process of manufacture, peculiarity of atomic location in molecule and length of main chain, relation to temperature, special physical-mechanical properties, chemical composition, etc.

There are *polymerization* and *polycondensation polymers* according to process of manufacture. Initial materials that are used for synthetic polymers manufacture can be natural gas, coal and petroleum.

Examples of polymerization and polycondensation polymers are represented in table 7.5.

Polymerization the same as polycondensation polymers may be characterized by lineal, branched and spatial molecular structure (fig.7.10.) Chain macromolecules have profile forks at branched structure and at spatial structure they are bonded with each other in threedimensional net by transversal chemical bonds.

Table 7.5.

Examples of polymerization and polycondensation polymers

Polymers	Monomers	Method of production
Polymerization:		
Polyethylene $(-CH_2-CH_2-)_n$	Ethylene $CH_2=CH_2$	Polymerization in gas phase at the high (120…250 МПа) or low (0,1…0,5 МПа) pressure
Polystyrene $(-C_6H_5-CH-CH_2-)_n$	Styrene $C_6H_5-CH=CH_2$	Block, emulsion or suspension polymerization
Polyvinylchloride $(-CH_2-CHC1-)_n$	Vinyl chloride $CH_2=CHC1$	Suspension or emulsion polymerization
Polytetrafluoroethylene $(-CF_2-CF_2-)_n$	Tetrafluorethylene $CF_2=CF_2$	The same
Polycondensation:		
Phenol-formaldehyde	Phenol C_6H_5OH Formaldehyde CH_2O	Phenol polycondensation with formaldehyde
Carbamide	Carbamide $CO(N_2H)_2$ Formaldehyde CH_2O	Carbamide polycondensation with formaldehyde
Polyether	Ethyleneglycol $HOCH_2-CH_2OH$ Glycerol and other	Acid polycondensation with polyatomic alcohol
Епоксидні	Epichlorhydrin Diphenylpropane	Epichlorhydrin polycondensation with diphenylpropane

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Polymers, that are iteratively capable to softening and acquire plasticity at heating, but to hardening at cooling, call *thermoplastic*. Thermoplastic polymers have lineal or branched structure and appear mainly after polymerization reaction.

Polymers with macromolecule spatial structure after hardening cannot become plastic at heating again. They are called *thermoreactive*. The most of polycondensates belong to them.

7.28. Властивості синтетичних полімерів
Properties of synthetic polymers

В табл. 7.6 приведені характерні властивості ряду термопластичних і термореактивних полімерів.

За хімічною будовою ланцюгів макромолекули полімерів прийнято поділяти на *карболанцюгові* і *гетероланцюгові*. В ланцюг карболанцюгових полімерів входять тільки атоми вуглецю, а в ланцюг гетероланцюгових можуть входити і інші атоми. Різновидом гетероланцюгових є *елементоорганічні полімери*, які поряд з елементами, що входять до звичайних органічних сполук (вуглецем, воднем, азотом і киснем), містять і інші елементи — кремній, фосфор, алюміній, титан, олово та ін. До представників групи елементоорганічних полімерів відносяться кремнійорганічні сполуки (силікони), в яких основний ланцюг містить силоксанові зв'язки (-Si-O-Si-). Кремнійорганічні та інші сполуки завдяки особливостям хімічної будови поєднують в собі ряд позитивних властивостей матеріалів як органічного, так і неорганічного походження: теплостійкість, гідрофобність, еластичність та ін.

Таблиця 7.6

Фізико-механічні властивості синтетичних полімерів

Полімери	Істинна густина, кг/м^3	Границя міцності при розтягу, МПа	Теплостійкість (по Мартенсу), °С	Твердість по Бриннелю МПа	Подовження, %
Термопластичні: Поліетилен	940…960	22…32	75	45…58	400…1000
Поліетилен високого тиску	920…930	12…16	60	150…250	150…600
Полістирол	1050…1100	30…50	75…80	200…300	1…5
Полівінілхлорид непластифікований	1380…1400	50…70	65…80	130…160	0…50
Полівінілхлорид пластифікований	1200…1400	7…14	30…60	40…80	100…300
Політетрафторетилен	2120…2250	15…30	250	250…500	3…4
Термореактивні: Фенолформальдегідні	1250…1300	25…55	80…120	8…15	
Поліефіри	1310…1420	25…55	45…80	50…100	10…26
Епоксидні	1150…1240	40…100	50…180	25…80	18…35
Кремнійорганічні	1600…2000	10…50	250…350	1…4	25…30

Характерними фізико-механічними властивостями, за якими класифікують полімерні матеріали, є пружність і деформативна здатність. Високомолекулярні сполуки, які здатні під дією зовнішніх сил деформуватися зворотньо, називають *еластиками* (*еластомерами*), деформуватися пластично, тобто необоротно – *пластиками* (*пластомерами*). До еластиків належать, наприклад, різні каучуки, а до пластиків – більшість полімерів, що утворюють пластмаси.

Characteristic properties of thermoplastic and thermoreactive polymers are given in table 7.6.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Table 7.6.

Physical-mechanical properties of synthetic polymers

Polymers	Density, kg/m^3	Ultimate strength at stretching, MPa	Thermal resistance (according to Martens),°C	Hardness according to Brinnel, MPa	Elongation, %
Thermoplastic:					
Polyethylene of low pressure	940…960	22…32	75	45…58	400…1000
Polyethylene of high pressure	920…930	12…16	60	150…250	150…600
Polystyrene	1050…1100	30…50	75…80	200…300	1…5
Polyvinylchloride unplasticized	1380…1400	50…70	65…80	130…160	0…50
Polyvinylchloride plasticized	1200…1400	7…14	30…60	40…80	100…300
Polytetrafluoro-ethylene	2120…2250	15…30	250	250…500	3…4
Thermoreactive : Phenol-formaldehyde	1250…1300	25…55	80…120	8…15	
Polyethers	1310…1420	25…55	45…80	50…100	10…26
Epoxy	1150…1240	40…100	50…180	25…80	18…35
Organic silicon	1600…2000	10…50	250…350	1…4	25…30

Polimers according to chemical structure of macromolecule chains can be divided to into the *carbochained* and *heterochained*. Only the carbon atoms enter to the chains of carbochained polymers, and other atoms can enter to the chains of heterochained polymers. *Element-organic polymers* are the variety of heterochained polymers, which along with elements, enter into the common organic compounds (carbon, hydrogen, nitrogen and oxygen) contain and other elements – silicon, phosphorus, aluminum, titan, tin and so on. Organic silicon compounds (silicones) refer to representatives of elementorganic polymers, main silicones chain contains siloxane bonds (-Si-O-Si-). Organic silicon and other compounds due to the perculiarities of chemical structure have a series of positive properties of materials, both organic and inorganic by origin, such as thermostability, hydrophobicity, elasticity etc.

Elasticity and deformability are the characteristic physical – mechanical properties, by which polymer materials are classified. High molecular compounds capable to reverse deformation under the action of external forces are called *elastics* (*elastomers*), capable to plastic deformations which are irreversible – *plastics* (*plastomers*). Different rubbers, for example, belong to the elastics, the most of polymers form plastics.

7.29. Наповнювачі, пластифікатори та стабілізатори пластмас
Fillers, plasticizers, stabilizers of plastics

*Наповнювач*і пластмас можуть покращувати їх механічні і диелектричні властивості, підвищувати тепло- і атмосферостійкість, зменшувати. При введені наповнювачів значно понижується собівартість пластмас.

Наповнювачі пластмас поділяють залежно від походження на органічні і мінеральні, залежно від форми – на порошкоподібні, волокнисті, листові. Як порошкоподібні наповнювачі розповсюджені тирса, кварцова і слюдяна мука, тальк, сажа, графіт, каолін, азбестовий пил та ін. Застосування порошкоподібних наповнювачів разом з полімерами переважно фенолформальдегідного типу дозволяє отримати преспорошки, які широко використовуються для виготовлення різноманітних технічних, побутових і електроізоляційних виробів, а також виробів спеціального призначення, котрі мають підвищену ударну міцність, хімічну, водо- і теплостійкість.

Особливо висока механічна міцність пластмас досягається при застосуванні волокнистих (скловолокно, азбест, бавовна, синтетичне волокно та ін.) та листових (папір,

Національний університет
водного господарства
та природокористування

деревний шпон, фольга, тканина) наповнювачів. З волокнистих наповнювачів особливо ефективні скляні волокна. На їх основі із застосуванням різноманітних синтетичних полімерів виготовляють пластмаси під загальною назвою склопластики.

Поряд з наповнювачами, вміст яких коливається в самих широких межах, в пластмасу при необхідності додають пластифікатори, стабілізатори і пігменти.

Пластифікатори вводять в кількості 10...100% маси полімера для збільшення еластичності, покращення вогне- і морозостійкості, підвищення стійкості до ультрафіолетових променів і покращення умов переробки. Суть дії пластифікаторів полягає в проникненні в макромолекули полімерів і зменшенні міжмолекулярних сил зчеплення.

Добавки-стабілізатори застосовують для сповільнення процесів старіння пластмас при їх експлуатації і переробці. Залежно від природи старіння пластмас стабілізатори ділять на дві групи – термостабілізатори і світлостабілізатори.

Fillers of plastics can improve their mechanical and dielectric properties, increase thermal stability and atmosphere resistance, diminish contraction, etc. The prime price of plastics with entering filling agents falls down considerably.

Fillers of plastics are divided by origin into organic and mineral, by form – into powdery, fiber and leaf. The sawdust, quartz and mica powders, talc, soot, graphite, kaolin, asbestos dust and others are widespread powdery fillers. Application of powdery filling agents along with the polymers of mainly phenol-formaldehyde type allows obtaining molding powders, which are widely used for making of various technical, domestic and insulating goods, and also products of the special assignment, which have enhanceable shock and chemical resistance, waterproofness and heat resistance.

Especially high mechanical strength of plastics is achieved at application of fibrous (fiberglass, earth-flax, cotton, synthetic filament and other) and sheet (paper, wood venur, foil and fabric) fillers. Fibreglasses are especially effective among fibred fillers. Plastics under the general name of *glass fiber plastics* can be manu factured on their basis with application of the various synthetic polymers.

Along with fillers, content of which changes in wide limits, plasticizers, stabilizers and pigments can be added in plastic, if it is required.

Plasticizers can be added in an amount of 10…100% by polimer weight to increase the elasticity, to improve fire-retarding ability and frost-resistance, to increase resistance to the ultraviolet rays and to improve the terms of processing. Essence of plasticizers action consists in penetration in the polymers macromolecules and diminishing of intermolecular forces of linkage.

Stabilizers are applied for deceleration of the plastics senescence processes during their exploitation and processing. Depending on the nature of plastics senescence stabilizers divide into two groups - thermostabilizers and lightstabilizers.

7.30. Фізичні властивості пластмас
Physical properties of plastics

Середня густина пластмас коливається в широкому діапазоні – від 15 до 2200 кг/м^3. Найбільш низьку густину мають пористі пластмаси. Значний вплив на густину мають наповнювачі.

Теплопровідність щільних пластмас без наповнювача 0,116…0,348 Вт/м° С. Введення мінеральних наповнювачів збільшує теплопровідність пластмас. Теплозахисні властивості пластмас відкривають можливість їх широкого застосування в огороджувальних конструкціях будинків.

Поряд з низькою теплопровідністю пластмаси характеризуються великим *тепловим розширенням*. Коефіцієнт лінійного теплового розширення поліетилену $(160…230)\cdot10^{-6}$, полівінілхлориду $(80…90)\cdot10^{-6}$, фенолформальдегідних полімерів $(10…30)\cdot10^{-6}$, сталі $12\cdot10^{-6}$

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$°C^{-1}$. Теплове розширення пластмас необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації конструкцій, щоб не допускати деформацій і утворення тріщин.

Щільні пластмаси водо- та паронепроникні. Найменшим *водопоглинанням* (0,1...0,5%) характеризуються гідрофобні полімерні матеріали (поліетиленова і полівінілхлоридна плівки, склопластики, вініпласт та ін.). Вміст в пластмасах великої кількості гідрофільного наповнювача, наприклад деревинної стружки, різко збільшує водопоглинання.

Багато ненаповнених пластмас мають високу *прозорість*. Це дозволяє на їх основі виготовляти органічні стекла, що використовуються для скління оранжерей, теплиць, споруд лікувального призначення. Найбільш розповсюджене органічне скло - поліметилметакрилат – пропускає до 94% променів видимої частки спектру і 73,5% ультрафіолетових променів, в той час як звичайне силікатне скло відповідно 84...87% і 0,3…0,6%.

Полімерні матеріали, як правило, хороші діелектрики. При їх експлуатації слід ураховувати можливість накопичення на їх поверхні електростатичного заряду, що утворюється під дією сил тертя. Ступінь електризації таких рулонних матеріалів, як полівінілхлоридний лінолеум, може досягати 65 В/см^2. Це слід брати до уваги для запобігання пожежі особливо в приміщеннях, де концентруються пари легкоспалахуючих рідин. Електроакумулюючу здатність пластмас зменшують введенням в їх склад спеціальних речовин – антистатиків і наповнювачів, котрі проводять струм.

The *average density* of plastics changes in a wide range of 15…2200 kg/m^3. The porous plastics have the lowest density. Fillers have a considerable influence on density.

Thermal conductivity of dense plastics without any fillers is 0.116…0.348 W/m°C. Introduction of mineral fillers increases the thermal conductivity of plastics. Heat-protecting properties of plastics discover them the possibility of wide application in the enclosing structures of building.

Along with low thermal conductivity plastics can be characterized by large *thermal expansion*. Coefficient of linear thermal expansion of polyethylene $(160…230)10^{-6}$, polyvinylchloride $(80…90)\cdot10^{-6}$, phenol-formaldehyde polymers $(10…30)10^{-6}$, steel $12\cdot10^{-6}$° C^{-1}. Thermal expansion of plastics should be taken into account at constructions design and exploitation to shut out deformations and cracks formation.

Dense plastics are waterproof and steam-tight. Hydrophobic polymer materials (polyethylene and polyvinylchloride tapes, glass fiber plastics, vinyl plastic and other) are characterized with the least *water absorption* (0.1…0.5%). Content of the large amount of hydrophilic fillers, for example wood shavings, sharply increases the water absorption.

Number of non-filled plastics has high *transparency*. It allows production of organic glasses on their basis, used for glazing of greenhouses, hothouses and buildings of the medical assignment. Organic glass – polymethyl methacrylate is the most widespread. It transmit to 94% of radiated visible particle of spectrum and 73.5% of ultraviolet rays, in that time as ordinary silicate glass transmit approximately 84…87% and 0.3…0.6%.

Usually, polymer materials are good dielectrics. It is necessary to take into account the possibility of accumulation of electrostatic charge on their surface, which appears under the action of friction forces. The degree of electrization of such roll materials, as polyvinylchloride linoleum, can achieve 65 V/cm^2. It is necessary to take into account at prevention of the fire especially in apartments, where the vapors of inflammable liquids concentrate. Ability to the electrification of plastics diminishes by introduction to their composition of the special matters – antistatiks and filling agents, which conducts a current.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

7.31. Механічні властивості пластмас, їх деформативність
Mechanical properties and deformability of plastics

Пластмаси, як правило, мають високу *міцність* як при стиску, так і при розтягу та згині. Границя міцності при стиску і розтягу найбільш високоміцних пластмас (склопластиків, деревношаруватих пластиків та ін.) досягає 300 МПа і більше.

На відміну від металів та ряду інших матеріалів *твердість* пластмас не дає уявлення про їх міцність. Навіть для таких найбільш твердих пластмас, як текстоліти (наповнювач – бавовняна тканина), твердість приблизно в 10 разів менша чим сталі. Незважаючи на невисоку твердість, пластмаси (особливо еластичні) мають низьку здатність до стирання, що дозволяє широко використовувати їх для покриття підлоги. Здатність до стирання, наприклад, безосновного одношарового полівінілхлоридного лінолеуму 0,06, багатошарового 0,035 г/см^2, тобто приблизно така ж, як граніту.

Опір пластмас ударному впливу, який визначається відношенням ударної енергії на зруйнування до площі поперечного перерізу зразка, досягає високих значень для щільних пластмас (50...150 кДж/м^2) і може різко знижуватися в міру збільшення їх пористості.

Багато пластмас, що піддаються розтягу, характеризуються значною *деформативністю*. Наприклад, відносне видовження, тобто приріст довжини матеріалів в момент розриву до його початкової довжини, для плівок з поліетилену, складає 300, полівінілхлориду – 150, бутилкаучуку – 10%.

Характеристикою пружних властивостей матеріалів є *модуль пружності*. Цей параметр для пластмас значно менший, ніж для інших будівельних матеріалів. Так, для сталі він дорівнює $(2…2{,}2)\cdot10^5$, деревини $(0{,}063…0{,}14)\cdot10^5$, паперово–шаруватого пластика $(0{,}021…0{,}028)\cdot10^5$, поліефірного склопластика $(0{,}022…0{,}028)\cdot10^5$ МПа. Залежно від модуля пружності виділяють жорсткі, напівжорсткі, м'які та еластичні пластмаси. Прикладами жорстких пластмас, що руйнуються крихко з незначним видовженням при розриві, є фенолформальдегідні і глифталеві (поліефірні) пластмаси; вони мають модуль пружності більше 1000 МПа. М'які пластмаси (поліетилен та ін.) мають модуль пружності 20...100 МПа, для них характерне високе відносне видовження. Напівжорсткі пластмаси (поліпропілен та ін.) мають проміжні значення модуля пружності 400...1000 МПа. Для еластичних пластмас (гуми та близьких до неї матеріалів) модуль пружності не перевищує 20 МПа. При нормальній температурі деформації їх в основному оборотні.

Невисокі значення модуля пружності пластмас сприяють поступовому збільшенню необоротних деформацій при постійному навантаженні – *повзучості*. Повзучість пластмас можна в значній мірі пояснити ковзанням макромолекул полімерного зв'язуючого. Вона значно зростає навіть при незначному підвищенні температури. Для пластмас на основі просторових полімерів, молекули яких "зшиті" поперечними зв'язками, повзучість значно менша. Підвищена повзучість обмежує застосування пластмас в несучих конструкціях, що працюють під великими навантаженнями.

Plastics, usually, have high *strength* both at a compression and at tension and bend. Ultimate compression and tensile strength of the most high-strength plastics (glass-fiber material, wood laminated plastic and other) achieves to 300 MPa and more.

Hardness of plastics does not correlate directly with their strength unlike the metals and number of other materials. Even for such the hardest plastics, as textolites (filling agent is a cotton fabric), hardness approximately is in 10 times lower than steel’s. In spite of low hardness, plastics (especially elastic) have low abrasiveness that allows their wide using in floor coatings. Abrasion, for example, of one-sheeted polyvinylchloride linoleum equals 0.06, multi-layered – 0.035 g/cm^2, which approximately is equal to the granite.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Impact resistance of plastics to which is determined by the ratio of shock energy for destruction to the cross sectional area of a standard sample, reach the high levels for dense plastics (50…150 kJ/m^2) and can sharply go down according as their porosity increasing.

Lot of plastics that are stretched out may be characterized the *deformability*. For example, relative lengthening, that means increasing of materials length in the moment of breaking up to its initial length, for polyethylene tapes achieves the level of 300, to polyvinylchloride – 150, butyl rubber – 10%.

Module of elasticity is the description of elastic materials properties. This parameter for plastics is considerably lower than for others construction materials. So, it is equals for steel (2…2.2)·10^5, wood (0.063…0.14)·10^5, paper-stratified plastic (0.021…0.028)·10^5, polyester glassfiber material (0.022…0.028)·10^5 MPa.

There are rigid, semi-rigid, soft and elastic plastics depending on the module of elasticity. Phenol-formaldehyde and gliphtal (polyester) plastics are examples of rigid plastics, which fragily collapse with the insignificant lengthening at breaking up; their module of elasticity mounts to more than 1000 Pa. Soft plastics (polyethylene and other) have the module of elasticity 20…100 MPa; the high relative lengthening characteristic is for them. Semirigid plastics (polypropylene and other) have intermediate values of the module of elasticity 400…1000 MPa. The module of elasticity does not exceed 20 MPa for elastic plastics (rubber and similar materials). Their deformations are mainly reversible at the normal temperature.

The low values of the plastics elasticity module promote the gradual increase of irreversible deformations at permanent load - *creep*. The creep of plastics can be largely explained by macromolecules sliding of polymer binder. It considerably grows even at the insignificant increase of temperature. Creep is considerably less for plastics, based on spatial polymers, the molecules of which are "sewn" together by transversal bonds. Enhanceable creep limits application of plastics in structural parts which work under the large loads.

7.32. Стійкість і деструкція пластмас
Resistance and destruction of plastics

Синтетичні полімери і пластмаси на їх основі мають високу *стійкість до агресивних середовищ*. Найбільш стійкі до дії кислот, лугів, солей, різних окислювачів карболанцюгові полімери. Гетероланцюгові полімери легше піддаються дії хімічних реагентів. Наявність в макромолекулах гідроксильної групи, наприклад, в молекулах полівінілового спирту, знижує стійкість полімеру до дії води, кислот, лугів. Навпаки, заміна атомів водню в складі макромолекул фтором збільшує хімічну стійкість полімерів. Фторопласти по хімічній стійкості переважають благородні метали, спеціальні сплави, протикорозійну кераміку.

Більшість пластмас стійкі не тільки до дії хімічних реагентів, але і до дії грибків, бактерій, комах та гризунів, тобто біостійкі. Біологічно нестійкими є пластмаси, що включають деревний наповнювач (деревностружкові та деревноволокнисті плити), деякі високопористі пластмаси (міпора), вироби з поліетилену. При підвищеній вологості та температурі елементи споруд із застосуванням деревностружкових та деревноволокнистих плит, а також міпори можуть псуватися грибками і бактеріями. Труби, плівки та інші вироби з поліетилену уражаються гризунами. Біостійкість пластмас покращують добавками антисептиків. В поліетиленові вироби для запобігання від пошкодження гризунами добавляють кам'яновугільний пек та деякі інші речовини.

При застосуванні пластмас для підлог, внутрішнього облицювання стін важливо враховувати їх санітарно-гігієнічні властивості. Ряд пластмас, особливо на основі фенолформальдегідних, поліефірних, епоксидних полімерів, при неповному завершенні процесів поліконденсації чи полімеризації, вмісті токсичних пластифікаторів, отверджувачів, розчинників може виділяти в навколишнє середовище речовини, шкідливі для здоров'я

Національний університет
водного господарства
та природокористування

людей і тварин. Статична електрика, яка накопичується на пластмасах може мати стимулюючий вплив на мікрофлору.

Під впливом тепла, світла, кисню повітря в пластмасах тією чи іншою мірою проходить зміна експлуатаційних властивостей – *старіння.* Процес старіння прискорюється під дією механічних навантажень. Старіння пластмас різко сповільнюється при введенні добавок-стабілізаторів.

В міру підвищення температури розвивається деструкція, тобто руйнування полімерів, або починається їх плавлення. Температура початку плавлення більшості термопластичних полімерів 105...165° С. *Теплостійкість пластмас*, що характеризується температурою, при якій спостерігається гранично можлива деформація, знаходиться переважно в діапазоні 60...180° С. Мінімально допустима температура експлуатації, при якій пластмаси стають крихкими, коливається в широкому діапазоні: від -10°С для вінілпласта до -270° С для матеріалів з політетрафторетилену.

Більшість пластмас є легкоспалахуючими та спалимими; вони горять відкритим полум'ям як в зоні вогню, так і поза нею. До важкоспалимих відносяться пластмаси на основі полівінілхлориду, фенолформальдегідних, карбамідних, кремнійорганічних полімерів. Введення в спалимі полімери спеціальних добавок – антипіренів також переводить пластмаси в групу важкоспалимих. Не горять і не тліють під дією вогню фторопласти, перхлорвінілові пластмаси.

Synthetic polymers and plastics, based on them, have high *resistance to the aggressive environments*. Carbon chain polymers are the most proof to the action of acids, alkalies, salts and different oxidants. Heterochain polymers are easier affected the action of chemical reagents. Presence in the macromolecules of hydroxyl-group, for example, in the polivinil alcohol molecules, reduces resistance of polymer to the action of water and acids. Opposite, replacement of hydrogen atoms by the fluorine in macromolecule composition increases chemical resistance of polymers. Fluoroplastics on the chemical resistance prevail noble metals, special alloys, rust ceramics.

The most of plastics are corrosion-proof not only to the action of chemical reagents but also to the action of fungus, bacterium, insects and rodents. Plastics that consist of wood fillers (wood chipboards and fibreboards), some high-porous plastics (microporous rubber), and the polyethylene products are biologically unstable. Elements of buildings with application of wood chipboards and fibreboards, and also microporous rubber can be deteriorated by fungus and bacterium at the enhanced humidity and temperature. Pipes, tapes and other products, based on a polyethylene may be strucked by rodents. The plastics biostability is improved additives of antiseptics. Tar pitch and some other matters are added in polyethylene products to prevent the rodent damages.

It is important for take into account the *sanitary-hygienic properties* of floors plastics, internal revetment of walls at their application. Row of plastics, especially on the basis of phenol-formaldehyde, polyester, epoxy polymers, at incomplete processes of polymerization or polycondensation, containing toxic plasticizers, hardening agents, solvents can secrete matters to the environment, insalubrious for people and animals. Static electricity, which accumulates on plastics can have a stimulant influence on a microflora.

The change of operating properties – *senescence (ageing)* – passes in plastics in a certain degree under the heat, light and air oxygen action. The process of senescence is accelerated due to the action of the mechanical loadings. The senescence of plastics is sharply retarded by introduction of stabilizing additives.

Destruction of plastics is developed as temperature increasing that means the polymers collapse, or beginning of their melting. Initial melting temperature of most thermoplastic polymers is 105…165° С. *Plastics thermostability*, which is characterized by the temperature of the maximum possible deformation, is mainly in a range of 60…180 °С. The minimum possible performance temperature, when plastics become fragile changes in a wide range: from -10°С for vinyl plastic to -270° С for polytetrafluoroethylene materials.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Most of the plastics are highly inflammable and may be burned; they burn with the opened flame both in the area of fire and outside of it. Plastics based on polyvinylchloride, phenol-formaldehyde, carbamide, organic silicon polymers belong to hardly burned plastic materials. Introduction of the special additives – fire-retardants to the burned polymers also transfers plastics in the group of hardly burned.Fluoroplastic and perchlorovinyl plastics do not burn and do not smolder under the action of the fire.

7.33. Конструкційні пластмаси
Structural plastics

Для несучих та огороджувальних конструкцій, що сприймають навантаження і забезпечують захист споруд та необхідний температурно-вологісний режим, застосовують деревношаруваті пластики, склопластики, листовий вініпласт, оргскло, полімерні бетони.

Деревношаруваті пластики — різновид пластмас, наповнювачем яких є деревний шпон, тобто тонкі листи деревини товщиною 0,3…2,1 мм, що одержують за допомогою лущильних верстатів з розпарених кряжів берези, вільхи та бука. Шпон просочують розчинами полімерів і збирають в пакети, що піддають гарячому пресуванню на гідравлічних пресах. Середня густина листів складає 1250...1330 кг/м^3, границя міцності при розтязі вздовж волокон 140...260 МПа, водопоглинання за 24 год не більше 2...3%.

За основними фізико-механічними властивостями деревно-шаруваті пластики перевершують вихідну деревину. їх можна застосовувати для виготовлення різних несучих конструкцій – балок, ферм, арок та інш.

Склопластики завдяки високій міцності, легкості, стійкості в різних середовищах і прозорості широко застосовуються в будівництві.

Наповнювачем склопластиків є скляне волокно у вигляді ниток, джгутів і тканин. Скляне волокно має міцність при розтязі 300...500 МПа при діаметрі відповідно 50...3 мкм. Як зв'язуючі застосовують фенолформальдегідні, епоксидні, поліефірні, поліамідні та кремнійорганічні смоли.

Властивості склопластиків залежать від виду скловолокнистого наповнювача, смоли та від їх співвідношення. При паралельному розміщенні скляних волокон чи джгутів склопластики мають особливо високу міцність. Міцність матеріалу при повздовжньому чи поперечному розтязі не менша 350...450 МПа, а при розтязі під кутом 45° – майже в 2 рази нижча. Міцністні показники склопластиків знижуються під дією підвищених температур і води. Склопластики можуть піддаватися всім видам механічної обробки.

Легкі конструкції на основі склопластиків дозволяють зводити будови в 8 раз легші, ніж з крупних залізобетонних панелей.

Поліефірні склопластики і склотекстоліти використовують для обшивки непрозорих тришарових панелей стін і перекриття, віконних і дверних блоків, санітарно-технічних виробів. Висока хімічна стійкість дозволяє застосовувати склопластики для конструкцій, що експлуатуються в різноманітних агресивних середовищах.

Вініпласт являє собою жорсткий матеріал, який одержують гарячим пресуванням пакетів, що набираються з полівінілхлоридної композиції. Вініпласт випускають у вигляді прозорих і непрозорих забарвлених і незабарвлених листів з середньою густиною близько 1400 кг/м^3. Вініпласт нетеплостійкий, і при 40° С міцність його знижується приблизно вдвоє. Температурний інтервал експлуатації цього матеріалу в умовах, що виключають вплив ударних і вібраційних навантажень – від мінус 50 до плюс 60° С. Вініпласт легко оброблюється і зварюється, але склеюється тільки деякими клеями (наприклад, перхлорвініловим).

Вініпласт використовується в світлопрозорих огороджуючих конструкціях, для обшивки панелей, перегородок, підвісних стель, в елементах споруд з хімічно агресивним

Національний університет
водного господарства
та природокористування
середовищем. З вінілпласта виготовляють також вентиляційні короби, труби, резервуари, профільні вироби.

Wood laminated plastics, glass fiber plastics, sheet vinyl plastics, plexiglas and polymer concrete are widely used for bearing and enclosing structures.

Wood -laminated plastics – are the variety of plastics with filler - wood veneer - thin sheets of wood of thickness 0.3…2.1 mm, obtained from the steamed out blocks of birch, alder and beech. The veneer is satured by polymer solutions and collected in packages which are subjected to the hot pressing on hydraulic press. An average density of sheets is 1.250…1.330 kg/m^3, the ultimate tensile strength along fibers – 140…260 MPa, water absorption after 24 hours is no more than 2…3%.

Usually, physical - mechanical properties of wood-laminated plastics are better than initial wood. They can be applied for making of different bearing structures - beams, farms, archs, etc.

Glass-fiber materials are widely used in construction due to the high strength, lightness, resistance in different environments and transparency.

The fiberglass as filaments, plaits and fabrics is a filler of glass-fiber materials.Fiberglass has tensile strength 300…500 MPa at diameter approximately 50…3 μm. Phenol-formaldehyde, epoxy, polyester, polyamide and silicon organic resins are applied as binding agents.

Fiberglass plastics properties depend on the type of glass-fiber filling material, resin and on their correlation. The oriented fiberglass imparts glass-fiber plastic especially high strength at the parallel placing of fibers or plaits. Strength of material at longitudinal or transversal stretching is not lower than 350…450 MPa, and at stretching under the corner of 45° – lower almost in 2 times. The strength indexes of fibreglasses plastics are reduced under the action of enhanceable temperatures and water. Fibreglasses can be treated by all the types of mechanical operations.

Light-weight structures, based on the glass fiber plastics, allow to erect building in 8 times lighter than from heavy-weight reinforced concrete panels.

Polyester fibreglasses and glass-cloth laminate can be used for facing of the walls and ceilings panels, window and door blocks and sanitary products. High chemical resistance allows applying glass-fiber materials in structures, exploited in various aggressive environments.

Vinyl plastic is a rigid material, which is obtained by the hot pressing of the polyvinylchloride mixtures. Vinyl plastics are produced as the transparent and opaque painted and unpainted sheets with the average density of about 1400 kg/m^3. Vinyl plastic is nonheatproof, and its strength decrease approximately twice at 40° C. Temperature interval of the material functioning is from -50 to + 60° C. Vinyl plastic is easily processed and welds, but sticks together only with some glue (for example, perchlorovinyl).

Vinyl plastic can be used in translucent enclosing structures, for facing of panels, partitions and ceilings and also for chemically-proof structures. It can be also used for manufacture of ventilation boxes, pipes, reservoirs, etc.

7.34. Пластмаси для підлог
Floor plastics

Пластмаси для підлог поділяють на рулонні, плиточні та мастичні.

Рулонні матеріали, чи *лінолеуми*, виготовляють з полівініл-хлоридних, алкідних, колоксилінових та гумових полімерів без підоснови або на тканинній, повстяній та інших видах підоснови. Найбільш масові лінолеуми без підоснови виготовляють каландровим та екструзійним методами (рис. 7.11).

Провідне місце серед рулонних матеріалів для підлог займає поліві-нілхлоридний лінолеум.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

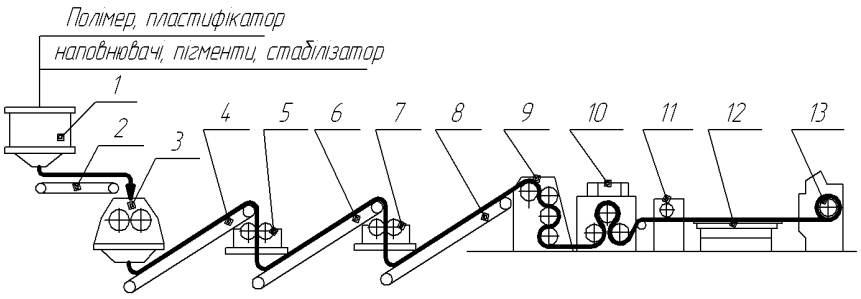

Рис. 7.11. Схема виробництва одношарового полівінілхлоридного лінолеуму каландровим методом:
1, 3– змішувачі; 2,4,6,8– конвеєри; 5,7– вальці; 9– каландр; 10– охолоджувач; 11– станок для обрізки; 12– стіл; 13– рулон
Fig. 7.11. Scheme of single-layer polyvinylchloride linoleum manufacture by calander method: 1, 3- mixers; 2,4,6,8- conveyers; 5,7- rollers; 9- calander; 10- cooler; 11- trimming machine; 12- table; 13- roll.

Полівінілхлоридний лінолеум випускають одно- і багатошаровим, як однотонним, так і з декоративним оздобленням. Його не рекомендується використовувати при вологісному режимі експлуатації, впливі жирів, масел і абразивних матеріалів. Водопогли-нання безосновного лінолеуму – не більше 1,5%, здатність до стирання – 0,05 г/см^2.

В приміщеннях з вологим режимом експлуатації ефективне застосування *гумового лінолеуму – релину*, який має високу водо- і хімічну стійкість та звукопоглинання.

Лінолеумні покриття широко застосовують в житлових і громадських будівлях. Вони дозволяють у декілька разів скоротити тривалість виробництва робіт порівняно з іншими матеріалами..

Лінолеуми приклеюють бітумними, бітумно-каучуковими та іншими мастиками.

Поряд з лінолеумними матеріалами в цивільному будівництві розповсюджені *синтетичні килимові матеріали*, які відрізняються високими акустичними та декоративно-художніми властивостями. До них належать, наприклад, синтетичний килимовий матеріал, підосновою якого служить плівка з емульсійного полівінілхлориду, а для верхнього шару використовується ворсова пряжа з поліамідних чи поліпропіленових волокон.

З *плиточних полімерних виробів* для підлоги основними є полівінілхлоридні і кумаронові. Плитки одержують пресуванням або іншими методами. Звичайні розміри плиток для підлоги: 300×300, 200×200, 300×150, 200×100 мм, товщина 1,5...3 мм.

Мастичні матеріали для підлог являють собою в'язкотекучі полімерні (переважно полівінілацетатні або латексні) композиції, які наносять шляхом поливу або розпилення на різні основи з наступним затвердінням. Латексні наливні підлоги відрізняються більшою водостійкістю ніж полівінілацетатні. Останні не рекомендуються в приміщеннях з вологим режимом експлуатації, при ударних навантаженнях, впливі кислот або лугів.

Floor plastics are divided into roll, tiles and mastic.

Roll materials - *linoleums*, are made from polyvinylchloride, alkide and rubber polymers without the underlying layer or on textile, wool and other types of the underlying layer. The most mass linoleum without the underlying layer is formed by calander and extrusion methods (fig. 7.11).

Polyvinylchloride linoleum is the most widely used roll floor material. It can be manufactured single- and multi-layered, both with the decorative finishing and without it. It is not recommended to use polyvinylchloride linoleum in humid operational conditions, at action of fats, oils and abrasive materials. Water absorption of linoleum without the underlying layer equals not more than 1.5%, wearability – 0.05 g/cm^2.

Rubber linoleum can be successfully used in humid operational conditions. It has high waterproofness, chemical resistance and sound absorption.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Linoleum coatings are widely applied in dwelling houses and industrial buildings. They allow decreasing the duration of floor arrangement works in few times comparatively with application of other materials.

Linoleums are glued by bituminous, bituminous-rubber and other mastics.

Synthetic carpet materials are widespread in civil construction along with linoleum materials. They have high acoustic and decorative properties. For example, synthetic carpet material is manufactured with emulsive polyvinylchloride film as underlying layer and polyamide or polypropylene fibers as top layer.

Polyvinylchloride and coumarone tiles are the most widespread *polymer tiles* for floor arrangement. Tiles can be manufactured by pressing or other methods. Tiles can have different dimensions (for example, 300×300, 200×200, 300×150, 200×100 mm), thickness in the range of 1.5…3 mm.

Floor mastics are fluid polymer (mainly polyvinylacetate or latex) mixtures, which coated by pouring, sprinkling or spraying on different bases with their subsequent hardening. Floor coating, based on latex mastics, differs by higher water-resistance than polyvinylacetate. Application of polyvinylacetate mastic is not recommended in apartments with the humid operational conditions, at the shock loadings, acid or alkali action.

7.35. Пластмаси для оздоблення стін
Plastics for wall facing

Для оздоблення стін застосовують полістирольні, полівінілхлоридні, фенолформальдегідні та інші плиточні, листові і рулонні пластмаси. Широко розповсюджені полістирольні плитки і листи, які застосовуються для облицювань внутрішніх стін і перегородок з неспалимимих матеріалів.

Гарячим пресуванням паперу, просоченого термореактивними полімерами, одержують листи декоративного *паперово-шаруватого пластика*. Його поверхня може *імітувати* цінні породи каменю або дерева. Паперово-шаруватий пластик добре піддається механічній обробці, термостійкій і стійкий до зношування. Він гігієнічний, світло- та теплостійкий. Завдяки достатній хімічній стійкості, він не псується від дії різних миючих засобів, розчинних кислот і лугів, органічних розчинників і мінеральних масел. Пластик витримує нагрів до 130° С.

З рулонних матеріалів для оздоблення розповсюджені *полівінілхлоридні декоративно-оздоблювальні плівки*, які випускають різних кольорів і малюнків, прозорі і непрозорі, гладкі, тиснені.

Прозорі плівки використовують для влаштування водозахисних та декоративних завіс, покриття теплиць і т.п. Непрозорі застосовують для оздоблення стін, перегородок, стель, дверних полотен, вбудованих меблів в приміщеннях, до яких висувають підвищені гігієнічні вимоги.

Шпалери – рулонний матеріал на паперовій основі. Вологостійкі шпалери мають захисну плівку на лицевій поверхні з полімерних емульсій чи лаків. їх застосовують для опоряджування кухонь і санвузлів.

Styrene, polyvinylchloride, phenol-formaldehyde and other tiles, sheets and roll plastics can be used for wall facing. *Styrene tiles* and sheets are widely used for facing of internal walls and partitions from noncombustible materials.

Decorative *paper – laminated plastic* sheets can be manufactured by the hot pressing of paper, saturated with thermoreactive polymers. Surface of sheets can imitate valuable stone or wood surfaces. Paper - laminated plastic is thermo- and wear-resistant, can be easy processed. Sheets from this plastics are hygienic, light- and heatproof. Due to sufficient chemical resistance, it is not

Національний університет
водного господарства
та природокористування

destroyed under the action of different cleansers, soluble acids and alkalis, organic solvents and mineral oils. Also, it is stable at heating up to 130° C.

Polyvinylchloride decorative tapes, produced of different colors and patterns, transparent and opaque, smooth and embossed are widespread roll materials for finishing.

Transparent tapes can be used for arrangement of waterproof and decorative curtains, coverages of hothouses, etc. The opaque tapes are applied for finishing of walls, partitions and ceilings, to which enlarged hygienic requirements are specified.

Wallpapers are the roll material, based on paper. Moisture resistant wallpapers have protective tape on a front-face area from polymer emulsions or varnishes. They can be used for kitchens and bathrooms facing.

7.36. Полімерні плівки
Polymer films

Для ізоляції в покрівлях, резервуарах, а також як протифільтраційні екрани в штучних водоймищах, каналах застосовують *полімерні плівки*. До плівкових відносяться безосновні рулонні матеріали товщиною до 1 мм, які одержують з полімерних в'яжучих різними способами (рис.7.12). Широко використовують полівінілхлоридні і поліетиленові плівки. Поліетиленова плівка більш довговічна, ніж полівінілхлоридна, не втрачає еластичності, більш стійка до низьких температур, але її необхідно захищати від руйнуючої дії сонця. Полівінінілхлоридні плівки поступаються поліетиленовим по стійкості до старіння під дією тепла і світла та по морозостійкості. Промисловість випускає також поліізобутиленові, поліпропіленові, поліамадні та інші плівки. Полімерні плівкові матеріали відрізняються малою масою, хімічною стійкістю, міцністю, водонепроникністю. Плівки можна укладати на вологу основу.

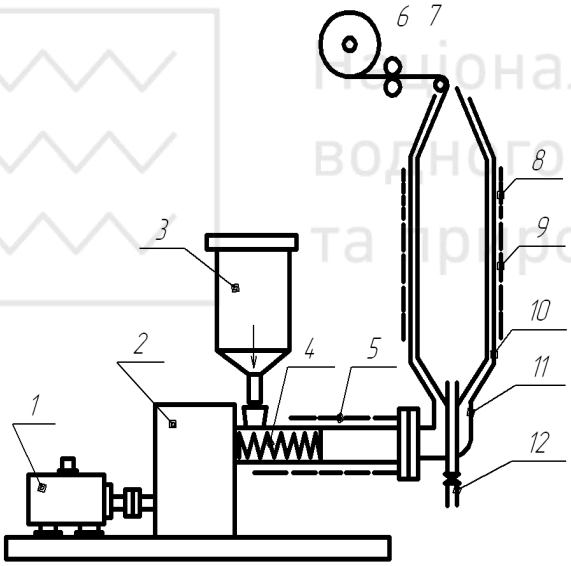

Рис. 7.12. Схема виробництва поліетиленової плівки методом роздуву: 1– електродвигун екструдера; 2– редуктор екструдера; 3– бункер гранульованого поліетилену низької густини; 4– "черв'як" екструдера; 5– пристрій для обігріву екструдера; 6– рулон поліетиленової плівки; 7– валки; 8– зона охолодження плівки; 9– пристрій для обігріву термокамери; 10– термокамера; 11– головка екструдера; 12– введення повітря для роздуву плівки
Fig. 7.12. Scheme of polyethylene film manufacture by inflate method: 1- electric motor of extruder; 2- reduction gear of extruder; 3- bunker of granular polyethylene of low density; 4- "worm" of extruder; 5- device for extruder heating; 6- roll of polyethylene film; 7- rollers; 8- area of film cooling; 9- device for thermal chamber heating; 10- thermal chamber; 11- head of extruder; 12- air introduction for film inflate.

Плівки дозволяють покращити умови праці при ізоляційних роботах і підвищити їх економічну ефективність.

Основні властивості поліетиленової та полівінілхлоридної плівок змінюються в межах, вказаних в табл. 7.7.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Таблиця 7.7

Фізико-механічні властивості плівкових матеріалів

Властивості	Поліетиленова плівка	Полівінілхлоридна плівка
Середня густина, кг/м^3	920...940	1230...1400
Границя міцності при розтягу, МПа	12...16	10...25
Відносне видовження при розриві, %	150... 600	140...400
Модуль пружності, МПа	50...250	2...8
Теплостійкість, °С	80...115	60...80
Температура крихкості, °С	-60…-75	-25…-50
Водопоглинання, %	0,035...0,22	0,5
Коефіцієнт лінійного розширення, °С$^{-1}$	$1{,}2\cdot10^{-4}$...$9{,}4\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$…$2{,}5\cdot10^{-4}$

Мастиками і клеями плівки можна приклеювати до бетону, каменю, металу і дереву. Будучи хімічно стійкими, вони захищають вказані матеріали від агресивних впливів.

Виробництво *армованих плівок* полягає в тому, що між двома плівками розміщується арматура – нейлонові, бавовняні чи льняні нитки, скловолокниста тканина. Армована плівка має більш високу пружність і міцність, ніж звичайна. Для сполучення між собою ізоляційних плівок застосовують зварку і склеювання.

Polymer films can be applied for roof, reservoirs and channels insulation. Film materials are up to 1 mm thick and made of polymer binder by different ways (fig.7.12). Polyvinylchloride and polyethylene films are widely used. Polyethylene film is more durable, than polyvinylchloride one, does not lose elasticity, more resistant to the low temperatures, but it should be protected from the destroying sun action. Polyvinylchloride films have lower than polyethylene films resistance to the heat and light action, frost-resistance. Industry also manufactures polisobutylene, polypropylene, polyamide and other films. Polymer films have the low weight, chemical resistance, strength and water tightness. Films can be placed on moist basis. Films allow improving the conditions of work at insulation works and promote their economic efficiency.

Basic properties of polyethylene and polyvinylchloride films are shown in table 7.7.

Table 7.7.

Physical-mechanical properties of film materials

Property	Polyethylene film	Polyvinylchloride film
Average density, kg/m^3	920...940	1230...1400
Ultimate tensile strength, MPa	12...16	10...25
Percent elongation, %	150... 600	140...400
Module of elasticity, MPa	50...250	2...8
Heat-resistance, °C	80...115	60...80
Fragility temperature, °C	-60…-75	-25…-50
Water absorption, %	0,035...0,22	0,5
Coefficient of linear expansion, °С$^{-1}$	$1{,}2\cdot10^{-4}$... $9{,}4\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$… $2{,}5\cdot10^{-4}$

Films can be glued to concrete, stone, metal and wood. They protect these materials against aggressive environments.

The production of the *reinforced films* consists in placing reinforcement - nylon, cotton or flax filaments and glass-fiber fabric between two films. The reinforced films have a higher elasticity and strength, than ordinary one. Welding and agglutination can be used to connect films between themselves.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

7.37. Клеї та мастики
Glues and mastics

Клеї складають велику групу полімерних матеріалів. їх клеюча здатність визначається силами адгезійної взаємодії, міцність самого клеєвого шару обумовлена когезійними силами. Клеї, що являють собою розчини лінійних полімерів, тверднуть при звичайній температурі. Більшість клеїв на основі просторових полімерів затвердівають при підвищеній температурі. Вибір оптимальних значень температури і тривалості твердіння полімеру значно покращує якість клеєвого з'єднання.

Застосування розплавів полімерів як клеїв більш ефективне, ніж розчинів, оскільки дозволяє одержати більш щільний клеєвий шар.

На якість склеювання суттєво впливають характер і стан поверхні матеріалів, що склеюються, вміст в клеї розчинників, наповнювачів, пластифікаторів, товщина склеюваних плівок та умови їх формування. При оцінці поверхні матеріалів, що склеюються, в більшості випадків слід враховувати відоме правило – полярні матеріали склеюються полярними клеями і навпаки. Якість склеювання покращується при очистці та обезжирюванні поверхонь, а також при хімічній чи механічній обробці з метою видалення послаблюючих прошарків. В умовах формування клеєвої плівки з розчину важливо забезпечити повне відділення розчинника. Позитивно впливає на властивості клеєвого з'єднання зменшення товщини клеєвого шару та підбір необхідного тиску при склеюванні, а також введення пластифікаторів і наповнювачів.

Високоміцні та теплостійкі з'єднання утворюють клеї на основі термореактивних полімерів: фенолформальдегідних, епоксидних, карбамідних та ін. Такі клеї можуть застосовуватися при виготовленні силових конструкцій як з металів, так і з неметалічних матеріалів. Вони, як правило, є двокомпонентними – полімер і отверджувач. Змішування компонентів здійснюється перед використанням клею.

Мастики за властивостями близькі до клеїв і відрізняються від них підвищеною в'язкістю. Вони можуть з'єднувати різні матеріали, а також покривати їх шаром, який захищає від впливу навколишнього середовища. Як клеючі застосовують мастики на основі інденкумаронових смол, епоксидних, поліефірних та інших полімерів. Застосовують також епоксидно-поліефірні, епоксидно-каучукові та інші мастики, що мають високу адгезію до сухих і вологих матеріалів, водо- і морозостійкість.

The large group of polymer materials are *glues*. Their gluing ability is determined by the forces of adhesion interaction. Strength of the glue film is depended on the cohesive forces. Glues, based on the linear polymers solutions, harden at normal temperature. Most of glues, based on the spatial polymers, harden at increased temperature. Selection of optimal temperature and hardening duration of polymer considerably improves the quality of glue film. Application of polymer melts as glues is more effective than solutions, as allows getting more dense glue film.

Agglutination quality substantially depends on character of adhered materials surface; content of solvents, fillers, plasticizers; thickness of the glue film. At the estimation of adhered materials surface in most cases the next statement is correct: polar materials are glued together with polar glues and vice versa. Quality of agglutination is improved at surfaces cleaning and degreasing, and also at chemical or mechanical treatment with the purpose of impaired layers removal. Reduction of glue layer thickness and selection of necessary agglutination pressure, and also introduction of plasticizers and filling agents positively influences on the glue line properties.

High-strength and heatproof adhesive bonding form glues based on the thermoreactive polymers: phenol-formaldehyde, epoxy, carbamide, etc. Usually, they consist of two components: polymer and hardener. Components must be mixed before the glue using.

Mastics by their properties are similar to glues and differ from them with increased viscosity. They can connect different materials. Also, they can be used for formation of protective impermeable

Національний університет
водного господарства
та природокористування

layer on surfaces of materials Mastics, based on the indene- coumarone resins, epoxy, polyester and other polymers, are used as gluing. Epoxy-polyester, epoxy- rubber and other mastics, which have high adhesion to dry and wett materials, high water- and frost-resistance, can be also used.

7.38. Герметики
Sealants

Герметизуючі матеріали (*герметики*) використовують для ізолювання стиків збірних залізобетонних елементів в будівлях і спорудах, а також для герметизації заскління, ущільнення швів резервуарів і т.п. (рис. 7.13). Якість герметиків оцінюється адгезійною здатністю, непроникністю, стійкістю до агресивних факторів навколишнього середовища, відносним видовженням.

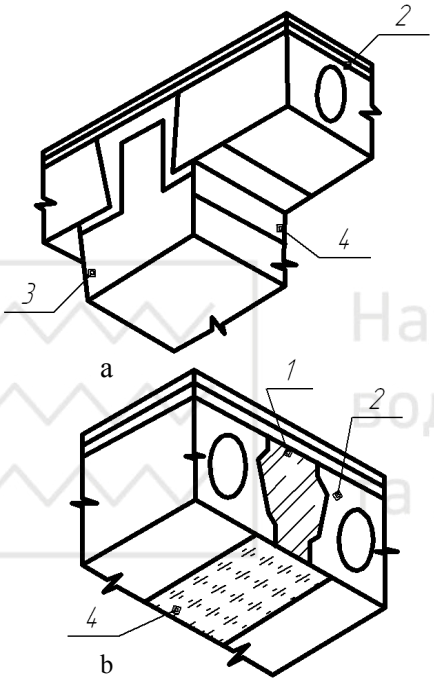

Рис. 7.13. Герметизація стиків елементів перекриття: а– герметизація місць опирання панелей перекриття на ригель; b– герметизація стиків плит перекриття; 1– цементно–піщаний розчин; 2– панель перекриття; 3– ригель; 4– мастика.
Fig. 7.13. Joints insulation of ceiling elements: a- sealing of places of ceiling panels based on crossbar; b- sealing of ceiling panels joints; 1- cement-sand mortar; 2- ceiling panel; 3- crossbar; 4- mastic.

Мастичні герметики випускають двох видів: нетвердіючі на основі поліізобу-тилену; холодного тверднення – тіоколові (на основі рідких полісульфідних каучуків), бутилкаучукові, силіконові, бітумно-полімерні.

Розповсюджені герметики складаються з поліізобутилену, пластифікатора (мінерального масла) і наповнювача (крейди, молотого вапняку та ін.)

Двокомпонентні мастики на основі тіоколів складаються з основної та отверджуючої паст. Після змішування їх в певній пропорції проходить необоротний процес вулканізації і перетворення пастоподібної маси в гумоподібний матеріал. Поряд з двокомпонентними застосовують однокомпо-нентні тіоколові герметики, процес вулканізації яких здійснюється на повітрі при 10...25° С під дією вологи і продовжується при вологості 95...100% 7...10 діб, а при 50...60% – 4...5 тижнів.

На основі бутилкаучуку виготовляють як мастики, що вулканізуються, так і мастики, що не вулканізуються. Широко застосовують двокомпонентні мастики, що вулканізуються на основі розчинів бутилкаучуку або його сумішей з іншими матеріалами.

Пінополіуретановий герметик одержують методом хімічної взаємодії основних компонентів безпосередньо в етиці конструкції.

Sealing materials (*sealants*) can be used for the sealing soints of prefabricated reinforced concrete elements in buildings and structures (fig. 7.13), and also for sealing of glazing, reservoirs, etc. Quality of sealants is estimated by the adhesion ability, impenetrability, resistance to the environmental aggressive factors, relative elongation.

There are two types of mastic sealants: non-hardening mastics, based on the polyisobutylene; cold hardening mastics - thiokols (based on liquid polysulphide rubbers), butyl-rubber, silicone, bituminous-polymer.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

The widespread sealants consist of polyisobutylene, plasticizer (mineral oil) and fillers (chalk, milled limestone, etc.).

Two - component mastics, based on the thiokols, consist of basic and hardener pastes. The irreversible process of vulcanization and transformation of paste-like mass into rubber-like material passes after components mixing in a certain proportion. Along with two-component, one-component thiokol sealants are also used. The process of their vulcanization is carried out on the air at 10…25° C under the moisture action and proceeds 7…10 days at humidity 95…100%, and 4..5 weeks at humidity 50…60%.

Mastics, which are vulcanized, and mastics, which are not vulcanized, are based on butylrubber. Two-component vulcanized mastics, based on butyl-rubber solutions or butyl-rubber mixtures with other materials, are widely applied.

Foamed polyurethane sealant is obtained by the method of chemical interaction of basic components directly in structure.

7.39. Пластмасові труби
Plastic pipes

Пластмасові труби застосовують для влаштування систем водопостачання і каналізації, дренажних і поливних систем. Вони мають високу корозійну стійкість, достатній опір руйнуючій дії замерзаючої води, малу масу. Труби виготовляють з пластмас на основі термопластичних і термореактивних синтетичних смол. В основному застосовуються труби з поліетилену, полівінілхлориду і поліпропілену.

Найбільш широко застосовують поліетиленові труби. Вони виготовляються з поліетилену високого (ВТ) та низького (НТ) тиску способом безперервного видавлювання пластика через отвір головки шнек-машини. Поліетилен НТ має більш високу міцність. Границя міцності поліетилену НТ при розтязі 20...25 МПа, а ВТ – 8...25 МПа.

Поліетиленові труби випускають звичайно діаметром 10...640, полівінілхлоридні 10...400 і поліпропіленові 15...80 мм. Поліетиленові напірні труби можуть витримувати внутрішній гідростатичний тиск до 2,5 МПа. Сполучення їх здійснюється муфтами, гайками або за допомогою зварки.

Вініпластові (полівінілхлоридні) труби застосовують в системах водопроводу і каналізації. Вони мають високу хімічну стійкість і низьку теплопровідність, але більш важкі та менш морозостійкі, ніж поліетиленові.

Порівняльна характеристика пластмасових та сталевих труб наведена в табл. 7.8.

Таблиця 7.8

Порівняльні властивості пластмасових і сталевих труб

Властивості	Труби			
	полівініл-хлоридні	поліети-ленові	поліпро-піленові	сталеві
Густина, кг/м^3	1400	950	850... 900	7800
Температура застосування, °С	60	90	120	150
Морозостійкість, °С	-15	-60	-50	-
Границя міцності при розтягу, МПа	50	14	35	200
Стійкість:				
в 60%-ній сірчаній кислоті	+	+	+	
в 20%-ній соляній кислоті	+	+	+	-
в каустичній соді	+	+	+	-
в морській воді	+	+	+	-

Примітка. Знак "+" — стійкі труби, "-" — нестійкі.

Загальними недоліками полімерних труб є низька теплостійкість і значне лінійне розширення.

Національний університет водного господарства та природокористування

Plastic pipes are applied for arrangement of the water-supply and sewage systems, drainage and spray systems. They have high corrosive resistance, sufficient resistance to the destroying actions of freezing water, small mass. Pipes are made from plastics on the basis of thermoplastic and thermoreactive synthetic resins. Pipes from polyethylene, polyvinylchloride and polypropylene are mainly used.

Polyethylene pipes are mostly used. They are made from the polyethylene of high (HP) and low (LP) pressure with the help of extrusion machines The LP polyethylene has higher strength. Ultimate tensile strength of the LP polyethylene is in the range of 20…25 MPa, and HP polyethylene – 8…25 MPa.

Polyethylene pipes are manufactured usually with diameter 10…640, polyvinylchloride 10…400 and polypropylene 15…80 mm. Hydrostatical pressure in the polyethylene pipes can achieve up to 2.5 MPa. Connect them carried couplings, nuts or by welding.

Vinylplast (polyvinylchloride) pipes can be applied in the plumbing and sewage systems. They have high chemical resistance and low thermal conductivity, but are heavier and less frost-resistant than polyethylene pipes.

Comparative description of plastic and steel pipes is resulted in table 7.8

Table 7.8

Comparative properties of plastic and steel pipes

Property	Pipes			
	Polyvinyl chloride	Polyethy-lene	Polypro-pylene	Steel
Density, kg/m^3	1400	950	850... 900	7800
Application temperature, °C	60	90	120	150
Frost-resistance, °C	-15	-60	-50	—
Ultimate tensile strength, MPa	50	14	35	200
Resistance:				
in 60% sulphuric acid	+	+	+	
in 20% muriatic acid	+	+	+	-
in caustic soda	+	+	+	-
in salt water	+	+	+	-

Note. Sign "+" means proof pipes, "-" non-proof pipes.

Main defects of polymer pipes are low thermal stability and considerable linear expansion.

7.40. Полімербетони
Polymer concretes

Полімербетон - особливий тип бетону із застосуванням синтетичних полімерів в якості в'яжучих речовин. За своїми властивостями полімерні бетони займають проміжне місце між пластмасами і цементними бетонами. Полімербетони можуть бути класифіковані залежно від щільності, особливостей структури та сфери застосування. Крім того, полімерні бетони класифікують відповідно до типу в'яжучих. Від інших пластмас полімер бетони відрізняються високим вмістом мінеральних наповнювачів і заповнювачів. Термореактивні полімери - карбамідні, фенольні, поліефірні, фуранові, поліуретанові та епоксидні смоли можуть бути використані в якості в'яжучих для полімербетонів. Термопластичні полімери використовуються значно меншою мірою. Найбільш поширені як в'яжучі матеріали для полімер бетонів фуранові, поліефірні і карбамідні смоли.

Твердіння полімербетону на основі термореактивних смол досягається при нормальній температурі (іноді з попереднім підігрівом) і, як правило, після введення затверджувачів.

Поряд з заповнювачами, дисперсні мінеральні наповнювачі істотно впливають на властивості полімербетону.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міцність на стиск полімербетонів на основі фуранових, поліефірних і епоксидних смол знаходиться в діапазоні 50…125; на згин – 15…40; на розтяг – 8…16 МПа.

Позитивними властивостями порлімербетонів є висока зносостійкість і ударна міцність. Стійкість до стирання полімербетона залежно від типу полімерної в'яжучої речовини знаходиться в діапазоні 0,001…0,04 г/см^2. Ударна міцність полімербетону в 5…10 разів вище, ніж у цементного бетону. Однією з важливих особливостей полімербетону є висока хімічна стійкість.

Полімербетон може бути використаний в якості будівельного матеріалу при впливі хімічно агресивного середовища завдяки поєднанню високої хімічної стійкості з міцністю і довговічністю.

Цей вид бетону можна розглядати як швидкотверднучий матеріал. Він досягає високої міцності вже декількох перших днів за нормальних умов тверднення. В наступний період тверднення міцність зростає меншою мірою.

Короткочасна термічна обробка, яка прискорює полімеризацію вяжучого, має позитивний вплив на міцність полімерних бетонів.

Основні недоліки полімерних бетонів, які обмежують застосування цих матеріалів як несучих конструкційє висока усадка, повзучість, чутливість до температурних перепадів.

Polymer concrete is the special type of concrete with the application of synthetic polymers as the binders. According to their properties polymer concretes occupy intermediate place between plastics and cement concrete. Polymer concrete can be classified according to the density, the peculiarities of structure and the range of application. Furthermore, polymer concrete can be classified according to the type of binders. Polymer concrete differs from other plastics by the high content of the mineral fillers and aggregates. Thermoreactive polymers - carbamide, phenol, polyester, furan, polyurethane and epoxy can be used as the binders for polymer concrete. Thermoplastic polymers are used in the considerably smaller degree. Furan, polyester and carbamide resins are the mostly used.

The hardening of polymer concrete on the basis of thermoreactive resins is achieved at a normal temperature (sometimes with the preheating) and usually after introduction of hardeners.

Along with the aggregates, dispersed mineral fillers have essential influence on the properties of polymer concrete.

Compressive strength of polymer concrete, based on the furan, polyester and epoxy resin, is in the range of 50…125; bending strength – 15…40; tensile strength – 8…16 MPa.

The high wearing resistance and impact strength are the positive features of polymer concrete. The resistance to abrasion of polymer concrete depending on the type of polymer binder is in the range of 0.001…0.04 g/cm^2. The impact strength of polymer concrete is 5…10 times higher than of cement concrete. One of the important special features of polymer concrete is the high chemical stability.

Polymer concrete can be used as construction material at the influence of chemically aggressive environment due to the combination of high chemical stability with the strength and the longevity. This type of concrete can be considered as quick hardening material. It achieves the high strength already in a few first days at the normal conditions of hardening. Strength growing is insignificant in a next period of hardening. Brief heat treatment, which accelerates binder polymerization, has the positive influences on strength growing of polymer concretes.

The main defects of polymer concretes, which limit application of these materials in bearing structures, are: enhanced shrinkage, creep and low heat-resistance.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

7.41. Ніздрюваті пластмаси
Cellular plastics

Ефективними органічними теплоізоляційними матеріалами є *ніздрюваті газонаповнені пластмаси.* Якщо структура пластмас являє собою систему ізольованих комірок, їх називають *пінопластами*, сполучені між собою пори - *пороластами*, порожнини, що регулярно повторюються - *сотопластами* (рис. 7.14).

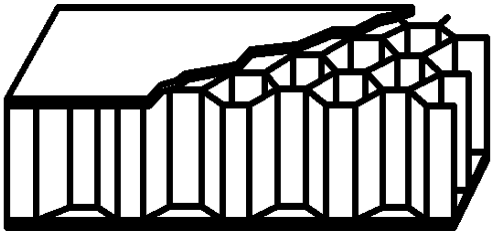

Рис. 7.14. Сотопласт
Fig. 7.14. Honeycomb plastic.

Найбільш розповсюджені в будівництві пінопласти на основі полістиролу, полівінілхлориду, поліуретанів і фенолформальдегідних смол. Залежно від виду полімерів та способу одержання змінюються і основні властивості ніздрюватих пластмас (табл. 7.9). Відношення міцності теплоізоляційних пластмас до їх густини значно вище, ніж для інших теплоізоляційних матеріалів. Пінопласти мають більш низьке водопоглинання і більшу звуконепроникність в порівняні з пороластами.

Маса пінопластів порівняно з такими традиційними матеріалами як мінераловатні плити, скловолокнисті плити і піноскло менше в 3,8…4,6 рази при покращенні теплоізоляційних властивостей – в 1,5…2,2 рази.

До числа найбільш перспективних пінопластів відносять *піноуретани.* Вони знаходять застосування, головним чином, як утеплювачі в трьох- і двошарових панелях. Високі теплоізоляційні властивості піноуретанів, їх закрита комірчаста структура, яка забезбечує мінімальне водопоглинання, відсутність корозійного впливу на метали та хороша адгезія до більшості матеріалів дали можливість застосування цього виду пінопластів для напилення на будівельні конструкції, особливо металічні. Напилений шар слугує одночасно теплоізоляцією і захистом металу від корозії. Напилені поліуретани застосовують для покриття інженерних споруд, переважно нафтосховищ. Можливе їх застосування для теплової ізоляції покриття будинків, огороджувальних конструкцій, холодильників, труб та ін.

Таблиця 7.9

Основні властивості ніздрюватих пластмас

Вид пластмаси	Середня густина, кг/м^3	Границя міцності, МПа		Гранична температура застосу-вання, °С	Теплопро відність, Вт/м°С	Водопоглинан ня за об'ємом за 30 діб, %
		на стиск	на згин			
Пінополістирол	30…200	0,15…3	0,4…7	60	0,11…0,2	1…15
Пінополівініл-хлорид	50…270	0,23…2,5	0,4…4	60	0,15…0,19	3…10
Пінополіуретан	30…200	0,15…3,5	1…5	150	0,12…0,21	5…18
Фенольний пінопласт	80…150	0,25…0,7	0,3…0,6	130	0,14…0,19	8…28
Сечовино-формальдегідний пороплаcт	10…25	0,02…0,04	-	110	0,11…0,15	75…85

Основною перешкодою для застосування пінопластів, в тому числі і напилених, є їх висока спалюваність. Тому пластмасова теплова ізоляція застосовується переважно в спорудах з пониженими вимогами до пожежної безпеки або за умови надійного захисту від дії вогню.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

В останні роки розроблені пінопласти пониженої спалимості. З цією метою на їх поверхню наносять вогнезахисні покриття.

Gas-filled cellular plastics are the most effective organic heat-insulation materials. Plastics, which consist of the system of isolated cells, are called *foam plastics*;system of connected pores – *porous plastics*; system of repeating hollows - *honeycomb plastics* (fig.7.14).

Foam plastics, based on polysterene, polyvinylchloride, polyurethanes and phenol-formaldehyde resins, are the most widespread in construction. Basic properties of cellular plastics change depending on the type of polymers and method of manufacture (table. 7.9).

Ratio between strength of heat-insulating plastics and their density is considerably higher than for other heat- insulating materials. Foam plastics have lower water absorption and higher sound insulating ability than porous plastics.

Weight of foam plastics is less in 4…5 times in comparison with such traditional materials as mineral wool boards, glass-fiber boards and foam-glass at improvement of heat-insulation properties in 1.5…2.2 times.

Foam urethanes are one of the most effective foam plastics. They are used mainly as heaters in three- and double-layer panels. High heat-insulating properties of foam urethanes, their closed cellular structure, which provide minimal water absorption, absence of corrosive influence on metals and good adhesion to the most of materials enable application of this type of foam plastics for spraying on different (especially metal) structures. Sprayed layer can be used simultaneously as heat-insulation and protection of metal against corrosion. Sprayed polyurethanes can be used for coating of engineering structures, mainly oil storage tanks. Their application is possible for the thermal insulation coatings of houses, refrigerators, pipes, etc.

Basic obstacle for application of foam plastics is their high combustibility, including sprayed ones. Therefore a plastic thermal insulation must be reliably protected from the action of fire.

Table 7.9.

Basic properties of cellular plastics

Type of plastic	Average density, kg/m^3	Ultimate strength, MPa		Limit temperature of application, °C	Thermal conductivity, W/(m·K)	Water absorption for (30 days), % by volume
		Compressive strength	Bending strength			
Expanded polystyrene	30…200	0,15…3	0,4…7	60	0,11…0,2	1…15
Foamed polyvinyl chloride	50…270	0,23…2,5	0,4…4	60	0,15…0,19	3…10
Foamed polyurethane	30…200	0,15…3,5	1…5	150	0,12…0,21	5…18
Phenolic foam plastics	80…150	0,25…0,7	0,3…0,6	130	0,14…0,19	8…28
Ureaformaldehyde porous plastic	10…25	0,02..0,04	-	110	0,11…0,15	75…85

In the last years foam plastics with decreased combustibility are developed. Their surface is coated with fireproof materials for this purpose.

7.42. Лакофарбові матеріали
Varnishes and paints

До лакофарбових відносяться природні або штучні матеріали, які наносять у в'язкорідкому стані тонким шаром на будівельні конструкції і деталі з метою утворення плівки для захисту їх від шкідливого впливу оточуючого середовища, архітектурно-художнього оформлення і покращення санітарно-гігієнічних умов. Їх поділяють на основні і допоміжні. Основні - це фарби, лаки та емалі, допоміжні - ґрунтувальні та шпаклювальні суміші, які використовують при підготовці поверхонь для фарбування, розчинники,

Національний університет
водного господарства
та природокористування
розріджувачі тощо. Лакофарбові матеріали розрізняють також по типу плівкоутворюючих речовин (олійні, глифталеві, епоксидні, вапняні, силікатні та ін.), по виду рідкої фази (водні і безводні), відношенню до дії води (водо- і неводостійкі), переважному призначенню (хімічно-стійкі, термостійкі, електроізоляційні та ін.)

Фарби використовують для створення непрозорого кольорового декоративного і захисного покриття, що приховує текстуру матеріалу, який фарбується, лаки - для створення прозорого безфарбового покриття та остаточного опорядження поверхні, що фарбується, а також для захисту фарбової плівки від механічних пошкоджень. В склад фарб входять зв'язуючі або плівкоутворювальні та фарбуючі речовини - пігменти. Вони можуть містити наповнювачі, завдяки яким можна знизити витрату пігментів, та спеціальні компоненти, котрі покращують технологічні та експлуатаційні якості матеріалів (прискорювачі твердіння - сиккативи, розріджувачі тощо).

Лаки - це дисперсії природних або синтетичних полімерів, бітуму, оліфи в летких розчинах. При необхідності в склад лаків вводять пластифікатори, сиккативи та інші добавки.

Емалеві фарби (емалі) - суспензії пігментів в полімерних або олійних лаках; на відміну від фарб, вони вміщують менше наповнювачів, мають більш інтенсивний блиск.

Ґрунтовочні суміші забезпечують необхідне зчеплення між зачищеною поверхнею і покриттям. Ґрунтовки складаються із таких матеріалів, що і фарби, але мають менший вміст пігментів.

Шпатлівки застосовують для заповнення пор та вирівнювання поверхонь для фарбування. Поряд з розчином клеючої речовини вони вміщують значну кількість наповнювача, як правило, крейди.

Natural or synthetic materials, which are applied in a viscous liquid state by thin layer at the structures and elements with the film formation for their protection against the harmful influence of the environment, also for decorative design and improving of the hygiene and sanitary conditions, are related to the varnishes and paints. They are divided into basic and auxiliary materials. Paints, varnishes and enamels are the basic materials. Primers and spacklings, for the surface preparation and the painting, solvents, diluents as auxiliary materials are used. Paints and varnishes are also divided by the next features: type of film-forming substances (oil, glyphtal, epoxy, lime, silicate, etc.); kind of liquid phase (aqueous and waterless); relation to the water action (water-resistant and water-nonresistant); main purpose (chemically resistant, thermal resistant, electric insulating, etc.)

Paints are used for the formation of the opaque coloured decorative and protective films, which hide the texture of material under paining; *varnishes* - for creation of transparent colourless coating and finishing of painted surface and also for protecting from mechanical damages. The composition of paints includs of the binding or film-forming substances and colouring agents or pigments. They can contain fillers, due to which it is possible to reduce the content of pigments, and special components, which improve technological and operating qualities of materials (hardeners - siccatives, diluents, etc.).

Varnishes are dispersions of natural or synthetic polymers, bitumens, drying oil in volatile solutions. Plasticizers, siccatives and other admixtures can be added in composition of varnishes.

Enamel paints (enamels) are suspensions of pigments in polymer or oil varnishes; unlike paints, they contain less fillers and have more intensive glance.

Priming paints provide the required adhesion between the cleaned surface and coating. Usually the primer consists of the same materials as paints, but has less content of pigments.

Spacklings (putties) are applied for filling of voids and smoothing of surfaces before painting. They contain not only adhesive substance but also a large amount of filler (usually chalk).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Література
References

1.Дворкін Л.Й., Лаповська С.Д. Будівельне матеріалознавство. Підручник. -Рівне: НУВГП,2016. – 448 с.

2.Дворкін Л.Й. Будівельне матеріалознавство (підручник) Рівне, НУВГП, 2009. – 309 с.

3.Дворкін Л.Й. Будівельне матеріалознавство.Підручник. Рівне: РДТУ, 1999. – 478 с.

4.Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.Учебно-практическое пособие "Строительное материаловедение. М.: Инфра-Инженерия, 2013. – 832 с.

5.Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.Справочник по строительному материаловедению М.: Инфо-инженерия, 2010. – 472 с.

6.ДворкінЛ.Й., Дворкін О.Л. Мінеральні в'яжучі матеріали. Підручник Рівне, РДТУ,2000.

7.Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л.Основи бетонознавства Київ, "Основа", 2007. – 613 с.

8.ДворкінЛ.Й., Дворкін О.Л. Опоряджувальні будівельні матеріфали: навчю посіб./ ДворкінЛ.Й., Дворкін О.Л. – Рівне: НУВГП, 2011.–291 с.

9.Дворкін Л.Й., Гавриш О.М., Безусяк О.В. Мироненко А.В., Поліщук-Герасимчук Т.О., Ковалик І.В. Ефективні гіпсові матеріали (Монографія) К.: "СПД Павленко", 2013. – 240 с.

10.Дворкин Л.И., Дворкин О.Л., Бордюженко О.М., Гарницкий Ю.В., Житковский В.В. Практическое бетоноведение в вопросах и ответах (Справочник) С.Петербург, ООО «Стройбетон», 2008. – 328с.

11.Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Пушкарьова К.К. Використання техногенних продуктів у будівництві (Посібник) Рівне, НУВГП, 2009. – 339 с.

12.Кривенко П.В., Пушкарева Е.К. и др. Строительное материаловедение. К.: Основа, 2007. – 704 с.

13. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини: підручник/ В.І.Гоц.– К.: ТОВ УВПК «ЕксОб», – К.: КНУБА, 2003. – 472 с.

14.Дворкін Л.Й. Довідникз будівельного матеріалознавства: навч. Посіб./ Л. Й.Дворкін, О.Л.Дворкін, О.М. Бордюженко. – Рівне: НУВГП, 2011. – 438 с.

15.Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Бетони і будівельні розчини: підручник/ Л.Й.Дворкін, О.Л.Дворкін. – Київ, "Основа", 2008. – 613 с.

16.Дворкін Л.Й. Випробування бетонів і розчинів. Проектування їх складів.: навч. Посіб./ Л.Й. Дворкін, В.І. Гоц, О.Л Дворкін. – Київ:"Основа", 2014. – 304 с.

17.Будівельне матеріалознавство. Курс лекцій і практикум:навч. Посіб./ За ред. Л.Дворкіна. – Рівне: УДУВГП, 2002. – 366 с.

18.Будівельне матеріалознавство: підручник./ П.В.Кривенко, К.К.Пушкарева, В.Б.Барановський та ін. – К.: «Ліра-К», 2012. – 624 с.

19.Матеріалознавство (для архітекторів і дизайнерів): підручник./ К.К.Пушкарева, М.О. Кочевих, О.А. Гончар, О.П.Бондаренко. – К.: «Ліра-К»,2012. – 592 с.

20. В'яжучі речовини:/підручник/ Р.Ф.Рунова, Л.Й.Дворкін, О.Л.Дворкін, Ю.Л.Носовський . – Київ, «Основа», 2012. – 448 с.

21.Сучасні українські будівельні матеріали, вироби та конструкції: довідник./ Зав ред.. К.К. Пушкарьової. – К.: Асоціація «ВСВБМВ», 2012. – 664 с.

22.Dvorkin L., Nwaubani S., Dvorkin O. Construction materials. Nova Science Publishers, New York, USA, 2010. – 409 p.

23.Dvorkin L., Dvorkin O. Basic of concrete science. Amazon, (Kindle edition) /(e-book)/ 2011. – 382 p.

24.Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. Mathematical Experiments Planning in Concrete Technology. Nova Science Publishers, New York, USA, 2012. – 172 p.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

25.Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. Multi-Parametric Concrete Compositions Design. Nova Science Publishers, Inc.New York, 2013.– 223 p.

26.Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. Construction materials Based on industial Waste Products. Nova scitnce publisers, 2016. – 242 p.

27.Dvorkin L., Bolshakov V. Structure and Properties of Building Materials. Trans Tech Publication ine, Zurich, 2016 . – 220 p.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

А
абсолютна вологість – 45
автоклав – 81
аглопорит – 191
адгезія – 39
адсорбція – 13
азбест – 263
азбестоцементні вироби – 263
азбестоцементні панелі – 263
азбестоцементні труби – 264
активні мінеральні добавки – 165
активність мінеральних добавок – 165
активність цементу – 30174
аліт – 172
алюмінієві сплави – 137
аморфна структура – 9
андезити – 88
анізотропія – 7
антипірени – 279
антисептики – 279
арболіт – 286
арматурна сталь – 148
арматурні елементи – 255
армоване скло – 120
армовані плівки – 319
армоцемент – 224
асфальтени – 288
асфальтовий бетон – 297
атомний (іонний) радіус –6
аустеніт –138

Б
базальна цементація – 205
базальти – 88
безпокривні рулонні матеріали – 302
беліт – 172
бетони – 185
бетонна суміш – 196
бетонозмішувачі вільного падіння – 197
білий чавун – 130, 131
бітуми – 288
бітумно–гумові матеріали – 303
бітумнополімерні композиції – 295
блиск – 55
блоки з ніздрюватих бетонів – 266
блок–полімеризація – 25
бортове каміння – 98
бронзи – 137
бруски – 280
брусся – 280
брущатка – 98
будинки заводського виготовлення – 283
будівельна фанера – 284
будівельне вапно – 157
будівельний гіпс – 155
булижне каміння – 98
бутовий камінь – 95

В
важкі бетони – 185
важкі розчини – 4250
вакуумування – 203
вапняки – 88
вапняк-черепашник –88
вапняне тісто – 160
вапняно–піщані декоративні розчини – 249
вермікуліт –191
виверженні породи – 84
вилиті породи – 84
випал – 77
високовуглецеві сталі – 133
високолеговані сталі –136
високоміцний (модифікований) чавун – 131
високоміцні бетони – 232
високоміцні цементи – 176
високоякісні бетони – 232
вібропресування – 71
віброштампування – 202
вібрування – 73, 202
відносна вологість – 45
відносна густина – 40
відпалювання металів – 143
відпусканні сплавів – 143
віконне скло – 118
віконні блоки – 282
вініпласт – 314
вітринне скло – 119
вогнестійкість – 53
вогнетривкі матеріали – 111
вогнетривкість – 53
водневий зв'язок – 8
водні емульсії – 293
водовміст бетонної суміші – 200
водонепроникний розширний цемент – 184
водонепроникність бетону – 215
водопоглинання – 45, 310
водопроникність – 46
водостійкість –47
водоутримуюча здатність розчинової суміші – 244
вологість –45
волочіння – 146
втомленість – 62
в'яжучі низької водопотреби – 177, 232
в'язкість – 33

Г
габро –87

Національний університет
водного господарства
та природокористування

газобетони – 226
газова полімеризація – 25
газопроникність 54
газосилікати – 226
гарячі мастики – 296
гарячоламкість сталі – 132
гелеві пори – 20
гелі – 14
геміцелюлоза – 269
герметики – 321
гетерогенний матеріал – 23
гетероланцюгові полімери – 307
гігроскопічність – 44
гідравлічне вапно – 164
гідравлічний модуль – 164
гідравлічні вапновміщуючі в'яжучі –165
гідравлічні в'яжучі – 154
гідратація – 24
гідратне вапно (пушонка) – 160
гідратне твердіння вапна – 161
гідратні бетони – 237
гідроізол – 302
гідроізоляційні мастики – 296
гідроізоляційні розчини – 249
гідромеханічні процеси – 63
гідросилікати – 175
гідросилікатне твердіння вапна – 161
гідрослюди – 102
гідросульфоалюмінат кальцію – 175
гідросульфоферит кальцію – 175
гідротехнічний бетон – 228
гідрофілізуючі ПАР – 181
гідрофільність –43
гідрофобний портландцемент – 181
гідрофобність –43
гіпотеза безперервної невпорядкованої сітки – 14
гіпсова корозія – 218
гіпсові бетони – 240
гіпсові в'яжучі – 155
гіпсові розчини – 248
гіпсоволокнисті листи – 267
гіпсоглиноземистий цемент – 184
гіпсокартонні листи – 267
гіпсоцементопуцоланові в'яжучі речовини – 155
гірські породи – 83
глазурі – 112
глибинне вібрування – 202
глибинні породи – 84
глини – 101
глиноземистий цемент – 183
гнейси – 88
гниль деревини – 272
гомогенний матеріал –23
горбилі – 280
гравій – 189
гравітаційні бетонозмішувачі – 197
границя витривалості сталі –132
границя гігроскопічності деревини – 273
границя міцності – 35
границя насичення деревини – 273
границя повзучості – 34
границя пружності – 30
границя текучості – 32
граніти – 87
гриби деревини – 272
грохоти – 66
грохочення – 66
груба кераміка – 100
ґрунти – 93
ґрунтовочні суміші – 327
гумобітумні в'яжучі – 295
гумовий лінолеум – 316
густина – 40
густина деревини – 276

Д

дверні блоки – 282
двотаври – 147
декоративні бетони – 234
декоративні розчини – 248
декоративність – 91
деревина – 268
деревно-волокнисті плити –285
деревно-стружкові плити – 285
деревношаруваті пластики – 314
деформативність – 311
деформації деревини – 272
деформація повзучості бетону – 216
дзета–потенціал – 12
динасові вогнетриви – 111
дислокація – 27
дисперсні мінеральні добавки (наповнювачі) –195
дисперсні системи – 11
діабаз – 88
діорити – 87
добавки до бетонів – 192
доевтектоїдна сталь –139
доломіт – 88
доменна піч – 140
доменний процес – 140
дорожні керамічні матеріали – 101
дошки – 280
дрібнозернисті бетони – 224
дрібнозернисті структури – 21
дуктильність бітуму – 289
дуплекс-процес – 142
дюралюміній –137
дьогтеві мастики – 296
дьогті – 288, 292

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Е
евтектоїдна сталь –139
екзотермія–212
експериментальні методи проектування складу бетону – 219
еластики – 307
еластомери – 307
електрична міцність – 57
електричне очищення газів – 68
електроізоляційні бетони – 235
електрокінетичний потенціал – 12
електрокорозія – 60,150
електронна мікроскопія – 10
електронно–графічний аналіз – 10
електронно–променеве переплавлення – 142
електроосмос – 12
електроплавлення –142
електропровідний бетон – 236
електропровідність – 57
електротехнічні бетони – 4235
електрофорез – 12
електрохімічна корозія металів – 150
електрохімічний метод захисту від корозії – 152
електрошлакове переплавлення – 142
елементоорганічні полімери – 307
емалеві фарби – 327
емалі – 112, 327
емальовані скляні плитки – 123
емульсії – 17
емульсійна полімеризація – 25
емульсійні пасти – 293
еттрингіт –175

Ж
жаростійкі бетони – 233
жердини – 280
заболонь – 270
загартоване листове скло –120
загартовування металів – 143
заевтектоїдна сталь –139
залишковий бітум – 291
залізобетон – 253
збірні залізобетонні конструкції – 254
збірно–монолітні залізобетонні конструкції – 254
звукопоглинання – 56
звукопоглинаючі легкі розчини – 250
здатність до гашення вапна – 160
змішування – 69
змішувачі примусового перемішування – 197
зносостійкість – 39
зола–винесення – 195, 231

І
імітувати породи каменю – 317
інтенсивність вібрування – 73
іонна адсорбція – 13
іонний зв'язок – 7
істинна густина – 40

К
камбій – 269
каменеподібні розчини – 249
кам'яне литво – 127
каолініт – 101
капілярне всмоктування – 44
капілярні пори – 20, 204
кар'єр – 99
карбени – 288
карбоїди – 288
карболанцюгові полімери – 307
карбонатне твердіння вапна – 161
касетний спосіб виробництва – 260
каустичний доломіт – 164
каустичний магнезит – 164
кварцити – 88
кварцові вогнетриви – 111
керамзит –191
керамічна цегла – 106
керамічні блоки – 106
керамічні дренажні труби – 110
керамічні камені – 108
керамічні каналізаційні труби – 110
керамічні матеріали – 100
керамічні матеріали для підземних комунікацій – 101
керамічні матеріали спеціального призначення – 101
керамічні плитки для внутрішнього облицювання – 109
керамічні плитки для підлоги (метлаські) – 109
керамічні стінові матеріали – 101
керамічні фасадні плитки – 109
килимово–мозаїчна скляна плитка – 123
киплячі сталі – 133
кислототривка цегла – 111
кислототривкі розчини – 250
кислототривкі цементи – 163
киснево-конверторний спосіб – 141
кладочні розчини – 246
класифікація зернистих матеріалів – 66
клеєні вироби з кускових відходів деревини – 284
клеї – 320
коагуляційні структури – 14
коагуляція – 12
коалесценція – 18
ковалентний зв'язок – 7
ковкий чавун – 131
когезія – 39
коефіцієнт якості грохочення – 66
коефіцієнт заломлення скла – 115

Національний університет
водного господарства
та природокористування

коефіцієнт конструктивної якості – 225
коефіцієнт лінійного розширення деревини – 276
коефіцієнт розм'якшення –47
коефіцієнт фільтрації – 46
коефіцієнт якості цементу – 179
колір – 55
колоди – 280
колоїдні системи – 11
колоте каміння – 98
конвеєрний спосіб виробництва – 259
конверторний спосіб – 141
конденсаційно-кристалізаційні структури – 14
конструкційні бетони – 185, 225
конструкційно-теплоізоляційні бетони – 225
контактна структура – 205
координаційне число – 6
кора – 269
корк – 269
корозія – 59
корозія бетону першого виду – 217
корозія бетону другого виду – 217
корозія бетону третього виду – 218
корозія вилуговування бетону – 217
кратність піни – 19
крейда – 88
крива витривалості – 62
кристалізація – 26
кристаліти – 113
крихкість скла – 115
кристалітна гіпотеза – 113
круглі лісоматеріали – 280
крупні блоки та панелі – 97, 106
крупнозернисті структури – 21
крупнопористий бетон –224
ксилоліт – 164, 287
кування – 146
кутиковий профіль – 147

Л
лабораторний склад бетону – 219
лазерне нагрівання – 144
лаки – 327
латунь – 2137
легкі бетони – 185, 225
легкі заповнювачі – 100
легкоукладальність розчину – 243
легкоукладальність бетонної суміші – 198
леговані чавуни – 131
ледебурит – 138
листова сталь – 147
листове скло – 116
литі бетони – 231
лицьова керамічна цегла – 108
лігнін – 269
лінія ліквідуса –139
лінія солідуса –139
лінолеуми – 315
луб – 269

М
магматичні породи – 84
магнієві сплави – 137
майоліка – 100
макрокапіляри – 20
макроструктура матеріалу – 21
марбліт – 123
мармури – 88
мартенівський спосіб – 141
масообмінні процеси – 63
мастики – 295, 320
мастичні матеріали – 316
матеріали автоклавного тверднення – 265
металеві кристали –7
металеві покриття – 152
металеві труби – 149
метаморфічні гірські породи – 86
метод абсолютних об'ємів проектування складу бетону – 219
метод Мооса – 38
метод шлікерного виробництва – 72
механічна класифікація – 66
механічне (сухе) очищення газів –68
механічні процеси – 63
мідні сплави – 137
мікрогетерогенні системи – 11
мікрокапіляри – 20
мікроструктура бетону – 3204
мінерали – 84
мінеральні в'яжучі – 154
міцели – 16
міцність – 35
міцність бетону – 206, 232
міцність деревини – 277
міцність пластмас –311
міцність при стиску – 89
міцність при стиску деревини – 277
міцність розчинів – 244
міцність скла –115
модуль крупності піску – 186
модуль пружності – 30
модуль пружності пластмас – 311
мозаїчні бетони – 235
мокре очищення – 68
мокрий спосіб отримання клінкеру – 167
молекулярна адсорбція – 13
молекулярні кристалічні ґратки – 7
монолітні залізобетонні конструкції – 254
мономери – 304
монтморилоніт – 102
морозостійкість – 47, 90
морозостійкість бетону –214

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Н
набрякання деревини – 274
надміцний гіпс – 155
надшвидкотверднучий портландцемент – 177
наклеп – 145
напівкислі вогнетриви – 111
напівспокійні сталі – 133
напівсухий спосіб виробництва керамічних виробів – 104
наповнювачі – 19, 195
наповнювачі пластмас – 308
напружуючі цементи – 182
насипна густина – 40
«натягання на бетон» – 258
натягання на упори – 258
нафтові бітуми – 290
негашене грудкове вапно – 158
неруйнівні методи контролю міцн209
низьковипалювані гіпсові в'яжучі – 155
низьковуглецеві сталі – 133
низьколеговані сталі – 136
ніздрюваті бетони – 226
ніздрюваті газонаповнені пластмаси – 325
номінальний склад бетону – 219
нормалізація сплавів – 143

О
облицювальні керамічні матеріали – 101
оброблюваність – 91
окислений бітум – 291
опір пластмас ударному впливу – 311
оптимальний склад бетону – 3218
органогенні осади – 86
осадові гірські породи – 85
особливо важкі бетони – 185,230, 237
особливо легкі бетони – 185
особливо швидкотверднучі надміцні цементи – 176
очищення газів від пилу – 68

П
паперово–шаруватий пластик – 317
паркет – 282
паропрогрів – 213
пасти – 17
пек – 289
пенетрація – 5289
пептизація – 14
пергамін – 302
період релаксації – 32
перліт – 138, 191
пиломатеріали – 280
пиляні штучні камені – 97
питома поверхня – 41
питома поверхня порошків – 16
пігменти – 55
підтоварник – 280
піни – 18
пінобетони – 226
пінопласти – 325
піносилікати – 4226
піноуретани – 325
пісковики – 88
пісок –186
піщаний бетон – 224
плавлення – 79
плазменно-променеве переплавлення – 142
пластики – 307
пластини – 280
пластифікатори пластмас – 309
пластифікований портландцемент – 181
пластифікуючі добавки – 193
пластичний спосіб виробництва керамічних виробів – 104
пластичність – 32
пластмаси – 304
пластмасові труби – 322
пластомери – 307
плиточні полімерні вироби – 316
поверхнева енергія – 41
поверхневе вібрування – 202
поверхнево-активні речовини –13
повзучість – 34
повзучість пластмас – 311
повітряна класифікація – 66
повітряні в'яжучі – 154
повний залишок піску – 187
подрібнення зернистих матеріалів – 64
покривні рулонні матеріали – 302
покрівельні керамічні матеріали – 101
покрівельні мастики – 296
полівінілхлоридний лінолеум –316
поліконденсаційні полімери – 305
поліконденсація – 26
полікристали – 7
полімербетон – 323
полімери – 304
полімеризаційні полімери – 305
полімеризація – 24
полімеризація в розчині – 25
полімерні плівки – 318
полімерцементні розчини – 249
половинчастий чавун – 130
попереднє напруження залізобетону – 4256
пористі заповнювачі –241
пористі керамічні 00
пористість – 20, 42
порова структура – 205
пороласти – 325
порошки – 16
портландцемент – 166

Національний університет
водного господарства
та природокористування

портландцементний клінкер – 166
порфірити – 88
порфірові структури – 21, 85
поточно–агрегатний спосіб виробництва – 259
правило постійності водовмісту – 201
пресування – 71, 146, 203
призмова міцність – 207
природні кам'яні матеріали – 83
прихована теплота плавлення 79
прозорість – 55
прозорість пластмас – 310
прокатування – 146
пропарювання – 80
профільні деталі – 282
пружність – 29
пуцолановий портландцемент – 180

Р
радіаційна стійкість – 58
радіаційностійкі бетони – 238
радіоактивність – 57
реактопласти – 306
редиспергованні сополімерні порошки – 252
релаксація – 31
релин – 316
рентгенівські методи –9
рідке скло – 162
робочий склад бетону – 219
розрахунково-експериментальні методи – 219
розтріскування деревини – 272
розчинення – 23
розчинне скло – 162
розшаровуваність бетонної суміші – 199
розширні цементи – 182
руберойд – 303
рулонні матеріали – 302

С
самоущільнювані бетони – 231
санітарно-технічні керамічні матеріали – 101
світлопропускання скла – 115
седиментаційний аналіз – 16
середня густина – 90
середня густина пластмас – 309
середньовуглецеві сталі – 133
середньозернисті структури – 21
середньолеговані сталі – 136
серцевинна трубка – 269
силікат-брила – 162
силікат-гранулят – 162
силікатизація – 92
силікатна цегла – 265
силікатні бетони – 240
силове вібропрокатування – 202
силуміни –137
сильногідравлічне вапно – 164
синтетичні килимові матеріали – 316
синтетичні полімери – 305
сита – 124
ситовий аналіз – 16
сієніти – 87
сірі чавуни – 130
складені блоки – 97
складені панелі – 97
скло – 112
скло з напівпрозорим дзеркальним покриттям – 120
скло, що поглинає ультрафіолетові промені – 120
склобетони – 121
склоблоки – 117, 121
склокремнезит – 123
склокристаліт – 123
скломармур – 123
склопакети 119
склопластики – 314
склоподібний стан – 27, 113
склопрофіліт – 117, 122
склоруберойд – 303
скляне волокно – 117, 124
скляні труби – 117, 122
слабогідравлічне вапно – 164
смальта – 123
смоли – 288
сольватні оболонки – 18
сотопласти – 325
спалимість – 53
спектроскопічні методи – 10
спеціальні бетони – 185
спеціальні чавуни – 131
спікання – 28
спіла деревина – 270
спілодеревні породи – 270
спокійні сталі – 133
спосіб термосу – 213
стабілізатори пластмас – 309
сталефібробетони – 239
сталі – 129, 132
сталі звичайної якості – 133
старіння пластмас – 313
стендовий спосіб виробництва – 259
стиранність – 38
стійкість деревини – 279
стійкість до вивітрювання – 91
стійкість піни – 19
стійкість пластмас до агресивних середовищ – 312
стінові матеріали – 106
структура –5
структура бетону – 185
структура породи – 85
судини – 271

Національний університет
водного господарства
та природокористування

сульфатна корозія – 218
сульфатостійкий портландцемент – 178
сульфатостійкий портландцемент з мінеральними добавками – 178
сульфатостійкий шлакопортландцемент – 179
сульфоалюмінатна корозія – 218
сульфоалюмінатні цементи – 177
суперпластифікатори – 193
суспензії – 17
суспензійна полімеризація – 25
сухий спосіб отримання клінкеру – 167
сухі будівельні суміші – 242
сучкуватість деревини – 490
сушіння – 75

Т
тампонажні розчини – 250
тверді розчини – 27
твердість – 37
твердість деревини – 278
твердість пластмас – 311
текстура породи – 85
текучість – 32
температура розм'якшення – 289
температурний коефіцієнт лінійного розширення – 51
теплове розширення – 51
теплове розширення пластмас – 309
тепловиділення – 212
теплові процеси – 63
тепловологісна обробка – 80, 211
тепловологість –80
теплоємність – 49
теплоізоляційні бетони – 225
теплоізоляційні керамічні матеріали – 101
теплопровідність – 50
теплопровідність пластмас – 309
теплопровідність скла – 115
теплостійкість пластмас – 313
теразитові штукатурки – 249
теракота – 100
термічна обробка металів – 143
термічний опір – 50
термомеханічна обробка металів – 144
термопластичні полімери 306
термостійкість – 52
технічне залізо – 139
тиксотропія – 14
титанові сплави – 137
тісто нормальної густоти – 172
толь – 303
тонка кераміка 00
топохімічний процес – 24
торкретування –204
точка насичення деревини – 273
точкові дефекти – 27
травертин – 88
трамбування – 72
трахеїди – 269
тривалість реверберації – 56
трикальцієвий алюмінат – 172
тріщини – 21
тріщиностійкість бетону – 216
тужавлення –172

У
увіолеве скло – 2120
ударна в'язкість – 39
ударна міцність – 39
уламкові породи – 85
ультрамікропори – 20
умовна розтяжність бетону – 216
усадка – 35
усадка бетону – 216
усушка деревини – 273

Ф
фазовий склад – 23
фарби – 327
фарфор – 100
фаянс – 100
ферит – 137
феросплави – 131
фібробетони – 239
фіброліт – 164, 286
фільтрування газів – 68
флюати – 92
флюат-спосіб – 116
флюатування – 92
формування литтям – 72
хемосорбція – 13
хіміко-термічна обробка металів – 145
хімічна корозія металів – 150
хімічна стійкість скла – 116
хімічний склад матеріалу – 22
хімічні добавки в бетони – 193
хімічні осади – 85
хімічні процеси – 63
"холодні бетони" – 213
холодні мастики – 296
хризотил-азбест – 263

Ц
целюлоза – 269
цементація сплавів – 145
цементи для будівельних розчинів – 246
цементит –137
цементні розчини – 247
цементно–вапняні розчини – 248
центрифугування – 203

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Ч
чавун з вермикулярним графітом –131
чавуни – 129
частковий залишок піску – 187
червоточини деревини – 272
черепиця – 108
четвертини деревини – 280
чотирьохкальцієвий алюмоферит – 172

Ш
шамотні вогнетриви – 111
швелери – 147
швидкотверднучий шлакопортландцемент – 179
швидкотверднучі цементи – 176
шлакова пемза – 191
шлакове литво – 127
шлаколужні бетони – 240
шлакопортландцемент – 179
шлакоситал – 112, 125
шлікер – 104
шлікерний спосіб виробництва керамічних виробів – 104
шпалери – 317
шпатлівки – 327
шпон 281
шприц-бетонування – 204
штампування – 71, 146
штукатурне покриття – 247
штукатурні розчини – 247

Щ
щебінь – 189
щити – 282
щільні керамічні матеріали – 100

Я
ядрові породи – 270
якісні вуглецеві сталі – 134

INDEX

A
abrasion –39
absolute density 40
absolute humidity – 46
acid-proof brick – 112
acid-proof cements – 163
acid-proof mortars – 250
active mineral additives – 166
activity of cement – 174
activity of mineral additives – 166
adhesion – 40
admixtires – 192
adsorption – 13
aggloporite – 191
air classification – 67
air-hardening binders – 154
air-seting – 159
alite – 172
alloyed cast iron – 132
alpha gypsum – 156
alumina cement – 184
aluminum alloys – 137
amorphous structure – 9
andesites – 89
angle sections – 148
anisotropy –8
annealing – 144
antiseptics – 280
asbestos – 264
asbestos-base felt – 303
asbestos-cement panels – 265
asbestos-cement pipes – 265
asbestos-cement products – 264
asphalt concrete – 297
asphalt paper – 303
asphaltenes – 288
atomic (ionic) radius – 8
austenite – 138
autoclaves – 82
average density – 40, 91, 310

B
basal cementation – 206
basalts – 89
bast – 270
bark – 270
bars – 281
beams – 148
belite – 172
binders of low water demand – 178
binders with low water consumption – 233
biocorrosion – 61
bitumen-polymeric compositions – 295
bitumens – 288
blast furnace – 141
blast-furnace cement – 179
blast-furnace process – 141
block-polymerization – 25
blocks from cellular concrete – 266
boards – 282
border stone – 98
brass – 137
bronze – 137

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет водного господарства та природокористування

building mixtures – 242
building mortars – 242
bulk density – 40
burning – 78

C
calcareous tuff – 89
calculation–experimental methods – 219
called minerals –85
cambium – 270
cane fiber boards – 286
capillary pores – 20
capillary pores – 20, 205
capillary suction – 45
carbenes – 288
carbochained polymers – 308
carboides – 288
carbonate hardening – 161
carpet-mosaic glass – 123
cassette method of production – 260
cast concretes – 231
cast iron with vermicular graphite – 132
cast irons –129, 130
caustic dolomite – 164
caustic magnesite – 164
cellular concrete – 227
cellulose – 270
cement mortars – 248
cement wood – 287
cementation – 145
cementite – 138
cement-lime mortars – 248
cements for building mortars – 247
centrifugation – 204
ceramic blocks – 107
ceramic brick – 107
ceramic materials – 101
chamotte – 111
channel – 148
chemical – 86
chemical admixtures – 194
chemical composition –23
chemical corrosion – 151
chemical firmness of glass – 116
chemical protection methods – 93
chemical technological processes – 63
chemical thermal treatment – 145
chemisorption – 13
classification of grain material – 67
claydite – 191
clays – 102
coagulation – 13
coagulation structures – 15
coalescence – 18
coarse-grained – 21
cobblestone – 98
coefficient of linear expansion of wood – 276
coefficient of quality – 179
coefficient of sieving quality – 67
coefficient of softening – 47
coefficient of structural quality – 226
cohesion –40
"cold concrete" – 214
cold mastics – 296
cold-hardening – 146
colloid systems –12
color – 56
compacting (pressing) – 147
complete residue – 188
composite block – 97
compressive strength – 91
concrete – 185
concrete casting bed method – 260
concrete microstructure – 205
concrete mixture – 198
concrete shrinkage – 217
condensation-crystallization structure – 15
conditional extensibility – 217
construction lime – 159
construction plywood – 284
constructive methods – 93
contact structure – 206
continuous (conveyer) method of production –260
converter method – 142
coordination number – 8
copper alloys – 137
core tube – 270
cork – 270
corrosion – 60
corrosion concrete of the first type – 218
corrosion concrete of the second type – 218
corrosion concrete of the third type – 218
corrosion of leaching – 218
covalent bonds – 8
covering – 303
crackings – 273
crack-resistance of concrete – 217
cracks – 22
creep – 35, 312
creep deformation – 217
crushed stone – 190
crystallite hypothesis – 114
crystallites – 114
crystallization – 27
curve of stamina – 62
cycle method of production – 260

D
decorative concretes – 235
decorative mortars – 249
defects of woods – 272
deformability – 312

Національний університет
водного господарства
та природокористування

deformations – 273
dense ceramic materials – 101
density – 40
density of wood – 277
dinas refractories – 111
diorites –88
dislocations – 28
disperse systems – 11
dispersible mineral admixtures – 196
dissolution – 24
dolomite – 89
dragging – 146
drain-pipes – 110
dry building mixture – 242
dry method – 168
drying – 76
ductile cast iron – 132
duplex processis – 143
duralumin – 137
duration of reverberation – 56

E
effusive igneous rocks – 85
elasticity – 31
elastics – 308
elastomers – 308
electric curing – 82
electric gas cleaning –69
electric strength –57
electrical conductivity –57
electrical heating – 82, 214
electrical insulating concrete – 235
electrocorrosion – 61, 151
electrochemical corrosion – 151
electroconductive concrete – 237
electrokinetic, (ζ –potential) – 13
electron beam remelting – 143
electron microscopy – 11
electron-diffraction analysis – 11
electroosmosis – 12
electrophoresis – 12
electroslag remelting – 143
electro-smelting – 143
electrotechnical concrete – 236
element-organic polymers – 308
emulsion pastes – 294
emulsion polymerization – 26
emulsions – 18
enamel paints (enamels) – 327
enameled glass tiles – 124
enamels – 113, 327
especially rapid-hardening cements – 177
ettringite – 176
eutectoid – 140
exothermal reaction – 212
experimental methods – 219
extended cements – 183
extension – 289
extra heavy-weight concrete – 186, 237
extra light-weight concrete – 186
extra-rapid hardening cement – 178

F
facade tiles – 109
face ceramic blocks – 109
face ceramic bricks – 109
facing – 101
factory-made houses – 283
faience – 101
fatigue – 62
ferrite – 138
ferrocement – 224
ferrous alloys – 132
fiber reinforced concretes – 239
fibreglass – 124
fibroline – 287
fibrolite – 164, 287
figured glass – 120
fillers – 19, 309
filling agents – 196
filtration coefficient – 46
fine-grain concrete – 224
fine-grained – 21
fire resistance – 53
fire-retarding agents – 280
flammability – 54
floor mastics – 317
floor tile – 110
fluate-method – 117
fluates – 93
fluating process – 93
fly ash – 196
foam plastics – 326
foam urethanes – 326
foam-concrete – 227
foams – 19
forced types of mixers – 198
forging – 147
fragility – 116
fragmental rock – 86
free falling (gravity) types of concrete mixers – 198
freeze-thaw resistance of concrete – 215
frost resistance – 48, 92
fungi – 273

G
gabbro – 88
gas concrete – 227
gas filtration – 69
gas or foam silicates – 227
gas permeability – 54

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

gas polymerization – 26
gases cleaning from dust – 69
gas-filled cellular plastics – 326
gel pores – 20
gels – 15
glass block – 117, 122
glass ceramic – 126
glass crystalline materials – 112
glass crystallite – 123
glass fiber plastics – 309
glass fibers – 118, 124
glass packs – 119
glass piper – 117, 122
glass state – 114
glass with semi-transparent mirror coating – 121
glass-crystalline materials – 112
glasses absorbing ultraviolet rays – 121
glass-fiber materials – 315
glass-marble – 123
glass-ruberoid – 303
glassy state – 28
glazes – 113
glitter – 56
glued products from the lump timber waste – 284
glues – 320
gneisses – 89
granites – 88
granulated slag – 191
gravel – 190
grey cast irons – 130
grinding – 65
grouting mortars – 250
gypsum paper boards – 267
gypsum binders – 156
gypsum concretes – 240
gypsum corrosion – 218
gypsum fiber boards – 267
gypsum mortars – 248
gypsum plaster – 156
gypsum-alumina cement – 184
gypsum-cement-pozzolan cements – 156

H
hardness – 38, 311
heartwood wood – 271
heat capacity – 49
heat conductance – 51
heat generation – 212
heat hardening – 144
heat resistance – 51
heat treatment –144
heat-and-moisture processing – 211
heat-insulation – 101
heat-resistant concrete – 234
heavy-weight concrete – 186
heavy-weight mortars –251
hemicelluloses – 270
heterochained polymers – 308
heterogeneous – 23
hidden melting heat – 80
high performance concrete – 233
high strength cements – 177
high-alloy steels – 136
high-carbon steels – 134
high-strength (modified) cast iron – 131
high-strength concrete – 233
homogeneous – 23
honeycomb plastics – 326
hot mastics – 296
hot-shortness steels – 133
humidity – 46
hydrated concrete – 237
hydrated hardening – 161
hydrated lime – 161
hydration processes – 24
hydraulic binders – 154
hydraulic concrete – 229
hydraulic index – 165
hydraulic lime – 165
hydraulic lime containing binders – 166
hydrogen bond – 9
hydromechanical technological processes – 63
hydromicas – 102
hydrophilic SAS – 182
hydrophilicity –44
hydrophobic portland cement – 182
hydrophobicity – 44
hydrosilicate hardening – 162
hydrosilicates calcium – 175
hydrosulphoaluminate – 173
hydrosulphoaluminate calcium – 176
hydrosulphoferrite calcium – 176
hygroscopicity – 44
hypereutectoid – 140
hypoeutectoid – 140
hypogene rocks – 85
hypothesis of continuous random grid – 114

I
igneous or magmatic rocks – 85
impact resistance – 39, 312
intensity of vibration – 74
internal vibration – 203
intrusive rocks – 85
ionic adsorption – 13
ionic bond – 8

J
jetcreting – 204

K
kaolinite – 102

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

killed steels – 134
knottiness – 272

L
laboratory composition of concrete – 219
large blocks – 107
laser heating – 144
law of water-cement ratio –210
ledeburite – 138
light aggregates – 101
lightweight concrete – 186, 225
lignin – 270
lime-sand decorative mortars – 249
lime-sand bricks – 266
limestones – 89
limit of creep – 35
limit of elasticity – 31
limit of endurance – 133
limit of hygroscopic property – 275
limit of saturation – 275
linoleums – 316
liquid glass – 163
liquidus line – 139
logs – 281
low-alloy steels – 136
low-carbon steels – 134
lump quicklime – 159

M
macrocapillaries – 20
macroporous concrete – 224
macrostructure – 21
magnesium alloys – 137
marbled glass – 123
marbles – 89
masonry – 101
masonry materials – 107
masonry mortars – 246
mass-transfer –63
mastics – 296, 320
materials of autoclave hardening – 266
mechanical (dry) gas cleaning – 69
mechanical classification – 67
mechanical technological processes – 63
medium-alloy steels – 136
medium-carbon steels – 134
medium-grained – 21
melting – 79
metal coatings – 153
metal pipes – 150
metallic crystals – 8
metamorphic rocks – 87
method of absolute volumes – 220
method of slurry production – 73
method of vibration – 74
micelle – 16
microcapillaries – 20
micro-heterogeneous –11
mineral binders – 154
mixing –70
module of elasticity – 31, 312
mohs scale method – 38
molecular adsorption – 13
molecular crystalline lattices – 8
monolithic concrete – 254
monomers – 304
montmorillonite – 102
mosaic concrete – 235
multiplicity of foams – 19

N
natural stone material –83
nominal composition of concrete – 219
nondestructive methods of control of concrete strength –209
normalization –144

O
oil bitumen – 291
open-hearth method – 141
optimum composition of concrete – 219
ordinary quality steels – 135
organogenic – 86
outpoured igneous rocks – 85
oxidized bitumen – 292
oxygen-converter method – 142

P
paints – 327
panels are made – 107
paper-laminated plastic – 317
parquet – 283
partial cast iron – 131
partial residue – 188
paste lime – 161
paste with normal consistency – 173
pastes – 18
pavestone – 98
penetration – 289
peptization – 15
perlite – 138, 191
phase composition – 23
pigments –56
pitch – 282
pitch felt – 303
plasma-beam remelting – 143
plaster coverage – 248
plaster mortars – 248
plastic pipes – 323
plasticity – 33
plasticized portland cement – 182
plasticizers – 194, 309

Національний університет
водного господарства
та природокористування

plastics – 304, 308
plastics thermostability – 313
plastomers – 308
plate glass – 119
plates – 281
point defects – 28
poles – 281
polycondensation – 26
polycondensation polymer – 306
polycrystalline state – 8
polymer concrete – 324
polymer films – 319
polymer tiles – 317
polymer-cement mortars – 249
polymerization – 25
polymerization polymer – 306
polymers – 304
polyvinylchloride decorative tapes – 318
polyvinylchloride linoleum – 316
porcelain – 101
porosity – 21, 42
porous ceramic materials – 101
porous plastics – 326
porous structure – 206
porphyritic – 21,89
porphyritic structures – 85
portland cement – 166
portland cement clinker – 166
post-tension – 258
powders – 17
pozzolanic portland cement – 180
precast concrete – 254
precast-monolithic concrete – 254
pressing – 72, 204
prestressing – 257
pre-tension – 258
priming paints – 327
prism strength – 208
profile details – 283

Q
quality carbon steels – 135
quarry – 100
quarters – 281
quartz refractories – 111
quartzites – 89

R
radiation protective concrete – 238
radiation resistance –59
radioactivity –58
ramming –72
rapid hardening – 179
rapid-hardening cements – 177
redispersible polymer powders – 253
refraction coefficient – 116
refractoriness – 53
reinforced concrete – 254
reinforced films – 319
reinforced glass – 120
reinforcement elements – 256
relative density – 41
relative humidity –46
relaxation – 32
relaxation period – 32
residual bitumen – 292
resin-bonded chipboards – 286
resins – 288
resistance – 39
resistance of wood – 279
resistance to the aggressive environments – 313
resistance to wear – 39
rickers – 281
ripe wood – 271
road – 101
road concrete – 230
roll materials – 303
rolling – 146
roof – 101
roof tile – 108
roofing mastics – 297
rotary cut veneer – 282
rots – 273
rough ceramics – 101
round timber – 281
rubber linoleum – 316
rubber-bitumen binders – 295
rubber-bitumen materials – 303
rubble stone – 95
ruberoid – 303
rule of water content constancy – 202

S
sand – 187
sand concrete – 224
sandstones – 89
sanitary-hygienic properties – 313
sapwood – 271
saturation point – 275
sawn timber – 281
scantlings – 282
screen – 17
sealants – 321
sedimentary – 86
sedimentation analyses – 17
segregation of mixtures – 200
self-compacting concrete – 231
semi-acid – 111
semi-dry method – 105
semikilled steels – 134
senescence (ageing) – 313
setting – 173

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

sewage-pipes – 110
sewage-technique – 101
shaping by casting – 73
sheet glass – 117
sheet steel – 148
shelly limestone – 89
shields – 283
shock-and-vibration machines – 75
shortcreting – 204
shrinkage – 35, 275
sieving machines – 67
silicate concrete – 241
silicate granulate – 162
silicatization – 93
silicate boulder – 162
silumins – 137
sintering – 29
slag castingis – 127
slag ceramics – 126
slag pumice – 191
slag-alkaline concretes – 241
slaking – 160
sledged stone – 98
slip method – 105
smalt – 124
softening temperature of bitumens – 289
soft-mud method – 105
soils – 94
solid solutions – 28
solidus line – 139
soluble glass – 162
solution polymerization – 25
solvate shells – 18
sound absorbing light mortars –251
sound absorption – 56
spacklings – 327
special concrete – 186
special assignment – 101
special cast irons – 132
specific surface – 17, 41
spectroscopic methods – 10
stabilizers – 309
stableness of the foam – 19
stamping – 72, 147
steam-heating – 214
steaming – 81
steel – 129, 133
steel-fiber concrete – 239
stone castingis – 127
stone-like mortars – 249
straining cements – 183
strength – 37, 207, 311
strength class – 207
strength of glass – 116
strength of mortars – 245
strength of wood – 278
strongly hydraulic limes – 165
structural concrete – 186
structural glass – 117, 122
structure – 5
structure of concrete – 186
structure of rocks – 85
sturene tiles – 317
sulfate corrosion – 218
sulfate-resistant blast-furnace cements – 179
sulfate-resistant portland cement – 178
sulfate-resistant portland cement with mineral additives – 179
sulphoaluminate cements – 178
sulphoaluminate corrosion – 218
superplasticizers – 194
surface energy – 42
surface vibration – 203
surface-active substances – 14
suspensions – 18, 26
swelling – 275
syenites – 88
synthetic carpet materials – 317
synthetic granite – 123
synthetic polymer – 306

T

tar mastics – 297
tar-bitumen composites – 295
tars – 288, 293
technical iron – 140
temperature coefficient of linear expansion – 52
tempered sheet glass – 120
tempering – 144
termal conductivity – 116
terrazite plasters – 249
tetracalcium aluminoferrite – 172
texture of rocks – 85
thermal conductivity – 116, 310
thermal expansion – 52, 310
thermal shock resistance – 52
thermal technological processes – 63
thermomechanical treatment – 145
thermoplastic polymers – 307
thermoreactive polymer – 307
thermos method – 214
thin ceramics – 101
thixotropy – 15
tiles for internal facing – 110
titanic alloys – 137
topochemical process – 24
tracheides – 270
transparency – 56
transparency plastics – 310
travertine – 89
tricalcium aluminate – 172

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

U
ultimate strength – 37
ultramicropores – 20
uncovering – 303
underground communications – 101
unkilled steels – 134
uviol glass – 121

V
vacuumization – 204
various non-destructive methods of control of concrete strength –373
varnishes – 327
veneer – 282
vermiculite – 191
vessel – 271
vibration – 74, 203
vibrocompaction – 72
vibrorolling method – 203
vibrostamping –204
vinyl plastic – 315
viscosity – 33

W
wallpapers – 318
water absorption – 45, 310
water content – 201
water emulsions – 294
water impermeability – 46, 215
water resistance –47
waterproof expanded cement – 184
waterproofing mastics – 297
waterproofing mortars – 250
water-retaining capacity – 244
weakly hydraulic lime – 165
weathering resistance – 92
wet cleaning – 69
wet method – 168
white cast irons – 130, 132
wilhout base – 303
window and door blocks – 283
window-pane – 119
wood – 268
wood hardness – 279
wood-laminated plastics – 315
work materials – 282
workability – 199, 244
workability concrete mixture – 199
working composition of concrete – 219
wormholes – 273

X
x-ray methods – 10
xylolite – 164, 287

Y
yield – 33
yield stress – 33

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

ЗМІСТ
CONTENTS

ПЕРЕДМОВА
PREFACE ……..…….…... 3

1. СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ
STRUCTURE AND PROPERTIES OF BUILDING MATERIALS ……..…….. 5

1.1. Структура матеріалів. Загальні відомості
Structure of materials. Overview……..……..... 5

1.2. Кристалічна структура
Cristalline structure …….……..…….…… 6

1.3. Аморфна структура
Amorphous structure ..…….……..……. 9

1.4. Рентгенівські методи
X-ray methods…….…….……..……..... 9

1.5. Спектроскопічні методи
Spectroscopic methods …….. 10

1.6. Електронно-графічний аналіз і електронна мікроскопія
Electron-diffraction analysis and electron microscopy…..... 10

1.7. Дисперсні системи
Disperse systems……...……. 11

1.8. Колоїдні системи
Colloid systems……..…….... 11

1.9. Адсорбція
Adsorption……...……..…….. 13

1.10. Поверхнево-активні речовини
Surface-active substances……..…….…… 13

1.11. Коагуляційні структури
Coagulation structures…….……... 14

1.12. Міцелярна структура
Micellar structure……...… 16

1.13. Порошки
Powders……..……..……... 16

1.14. Суспензії та емульсії
Suspensions and emulsions……..... 17

1.15. Піни
Foams……...……...……..….. 18

1.16. Наповнювачі
Fillers ……...……...……... 19

1.17. Види пор
Types of pores…….……...…….…..... 20

1.18. Макроструктура
Macrostructure…….……...……..……..... 21

1.19. Тріщини
Cracks…….……...……...…… 21

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1.20. Склад матеріалів
Composition of materials …………………………………………………………… 22
1.21. Розчинення і гідратація
Dissolution and hydration…………………………………………………………… 23
1.22. Полімеризація
Polymerization……………………………………………………………………… 24
1.23. Поліконденсація
Polycondensation…………………………………………………………………… 26
1.24. Кристалізація
Crustallization ……………………………………………………………………… 26
1.25. Спікання
Sintering……………………………………………………………………………… 28
1.26. Пружність
Elasticity……………………………………………………………………………… 29
1.27. Релаксація
Relaxation…………………………………………………………………………… 31
1.28. Пластичність
Plasticity……………………………………………………………………………… 32
1.29. Реологічні властивості
Reological properties………………………………………………………………… 33
1.30. Повзучість
Creep………………………………………………………………………………… 34
1.31. Усадка
Shrinkage…………………………………………………………………………… 35
1.32. Міцність
Strength……………………………………………………………………………… 35
1.33. Твердість
Hardness……………………………………………………………………………… 37
1.34. Стираність
Abrasion……………………………………………………………………………… 38
1.35. Ударна міцність
Impact strength……………………………………………………………………… 39
1.36. Адгезія
Adhesion……………………………………………………………………………… 39
1.37. Густина
Density………………………………………………………………………………… 40
1.38. Питома поверхня і поверхнева енергія
Specific surface and surface energy………………………………………………… 41
1.39. Пористість
Porosity………………………………………………………………………………… 42
1.40. Гідрофільність та гідрофобність
Hydrophilicity and hydrophobicity………………………………………………… 43
1.41. Гігроскопічність
Hygroscopicity………………………………………………………………………… 44
1.42. Капілярне всмоктування
Capillary suction……………………………………………………………………… 44
1.43. Водопоглинання та вологість
Water absorption and humidity……………………………………………………… 45

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1.44. Водопроникність
Water permeability……..……..……..……..…..... 46
1.45. Водостійкість
Water resistance…….……..……..……..…..... 47
1.46. Морозостійкість
Frost resistance…….……..……..……..…..... 47
1.47. Теплоємність
Heat capacity…….……..……..……..…..... 49
1.48. Теплопровідність
Heat conductance……..……..……..……..…..... 50
1.49. Теплове розширення
Thermal expansion……..……..……..……..…..... 51
1.50. Термостійкість
Thermal shock resistance……..……..……..……..…..... 52
1.51. Вогнетривкість
Refractoriness…….……..……..……..…..... 53
1.52. Вогнестійкість
Fire resistance…….……..……..……..…..... 53
1.53. Газопроникність
Gas permeability…….……..……..……..…..... 54
1.54. Оптичні властивості (колір, блиск, прозорість)
Optical properties (color, glitter, transparency) ……..…..... 55
1.55. Звукопоглинання
Sound absorption……..……..……..……..…..... 56
1.56. Електропровідність
Conductivity…….……..……..……..…..... 57
I.57. Радіоактивність
Radioactivity..……..……..……..…… ……..…..... 57
1.58. Радіаційна стійкість
Radiation resistance……..……..……..……..…..... 58
1.59. Корозійна стійкість
Corrosion resistance……..……..……..……..…..... 59
1.60. Втомленість
Fatigue……..……..……..……..…..... 62
2. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ
MAIN TEXNOLOGICAL PROCESSES …….……..……..…..... 63
2.1. Класифікація технологічних процесів
Classification of the technological processes……..……..……..…..... 63
2.2. Подрібнення
Grinding…….……..……..……..…..... 64
2.3. Класифікація матеріалів за крупністю
Grain-size classification…….……..……..……..…..... 66
2.4. Очищення газів від пилу
Cleaning of gases from dust…….……..……..……..…..... 68
2.5. Змішування
Mixing…….……..……..……..…..... 69

Національний університет
водного господарства
та природокористування

2.6. Пресування
Pressing…… 71
2.7. Формуванням литтям
Shaping by casting…… 72
2.8. Вібрування
Vibration…… 73
2.9. Сушіння
Drying…… 75
2.10. Випал
Burning…… 77
2.11. Плавлення
Melting…… 79
2.12. Тепловологісна обробка
Steam curing…… 80
3. ПРИРОДНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ. КЕРАМІКА.СКЛО
NATURAL STONE MATERIALS. CERAMIC.GLASS.. …… 83
3.1. Природні кам'яні матеріали. Загальні відомості
Natural stone materials. Overview…… 83
3.2. Виверженні (магматичні) гірські породи
Igneous (magmatic) rocks…… 84
3.3. Осадові гірські породи
Sedimentary rocks…… 85
3.4. Метаморфічні гірські породи
Metamorphic rocks…… 86
3.5. Основні види гірських порід як сировини для виробництва природних кам'яних матеріалів
Main types of rocks as a raw for producing of natural stone materials…… 87
3.6. Властивості гірських порід
Rocks properties…… 89
3.7. Підвищення довговічності природних кам'яних матеріалів
Increased durability of natural stone materials…… 92
3.8. Ґрунти як природні матеріали
Soils as natural materials…… 93
3.9. Бутовий камінь
Rubble stone…… 95
3.10. Облицювальні кам'яні вироби
Facing stone products…… 96
3.11. Стінові кам'яні вироби
Walling stone products…… 97
3.12. Природний камінь в дорожньому і гідротехнічному будівництві
Natural stone in road and hydraulic construction …… 98
3.13. Виробництво природних кам'яних матеріалів
Production of natural stone materials…… 99
3.14. Керамічні матеріали. Загальні відомості
Ceramic materials. Overview …… 100

Національний університет
водного господарства
та природокористування

3.15. Глини як сировина для керамічних матеріалів
Clays as raw materials for ceramic ……..…….……...…..... 101
3.16. Склади керамічних сумішей
Composition of ceramic mixtures …… ……...…..... 103
3.17. Основні способи виробництва керамічних виробів
Main methods of ceramic products manufacture ……..…..... 104
3.18. Стінові керамічні матеріали
Masonry ceramic materials ……...……..…..... 106
3.19. Керамічна черепиця
Ceramics roof tile ……..…..... 108
3.20. Облицювальні керамічні вироби
Facings ceramics products ……..…..... 108
3.21. Керамічні труби
Ceramic pipes ……..…..... 110
3.22. Вогнетривка та кислототривка кераміка
Refractory and acid-proof ceramics ……..……..…..... 111
3.23. Скло і склокристалічні матеріали. Загальні відомості
Glass and glass-ceramic materials. Overview ……..…..... 112
3.24. Склоподібний стан
Glass state ……..……..…..... 113
3.25. Склад будівельного скла
Composition of building glass ……..…..... 114
3.26. Властивості скла
Properties of glass ..…… ……..…..... 115
3.27. Технологія виготовлення скла
Technology of glass manufacture ……..…..... 116
3.28. Листове скло та склопакети
Sheet glass and glass packs ..…… ……..…..... 118
3.29. Спеціальні види листового скла
Special types of glass ……..……..…..... 119
3.30. Склоблоки, склопрофіліт, скляні труби
Glass blocks, structural glass, glass pipes ……..…..... 121
3.30. Облицювальні скляні вироби
Facing glass products ……..……..…..... 123
3.32. Скловолокнисті матеріали
Glass-fibre materials …….. ……..…..... 124
3.33. Склокристалічні матеріали
Glass crystalline materials ……..……..…..... 124
3.34. Шлакоситали
Slagceramics ……..…..... 125
3.35. Кам’яне та шлакове литво
Stone and slag casting ……..…..... 127
4. МЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ
METALLIC MATERIALS ……..…..... 129
4.1. Металеві матеріали у будівництві. Загальні відомості
Metallic materials in construction. Overview ……..…..... 129

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

4.2. Чавуни
Cast irons ……. 130
4.3. Спеціальні види чавунів
Special types of cast irons ..…… 131
4.4. Склад сталі
Steel composition …… 132
4.5. Вуглецеві сталі
Carbon steels ……. 133
4.6. Леговані сталі
Alloy steels ……. 136
4.7. Сплави з кольорових металів
Nonferrous metals alloys ... ...…… 137
4.8. Структурні компоненти сплавів заліза з вуглецем
Structure components of alloys of iron with carbon ……. 137
4.9. Діаграма залізо-цементит
Diagram of iron-cementite …… 138
4.10. Доменний процес
Blast-furnace process ...…… 140
4.11. Мартенівський і конверторний способи виплавлення сталі
Open-hearth and converter method of steel smelting ……. 141
4.12. Електроплавильний спосіб. Електрошлакове та плазменно-променеве переплавлення
Electro-smelting method. Electroslag and plasma-arc and electron-beam remelting… 142
4.13. Термічна обробка металів
Heat treatment of metals ……. 143
4.14. Термомеханічна і хіміко-термічна обробка металів
The thermomechanical and thermochemical treatment of metals ……. 144
4.15. Обробка металів тиском
Metal forming ……. 145
4.16. Сортова та листова сталь
Steel shape and sheet steel ...…… 147
4.17. Арматурний прокат
Reinforcing bar ……. 148
4.18. Металеві труби
Metal pipes ……. 149
4.19. Корозія металів
Corrosion of metals ..…… 150
4.20. Захист металів від корозії
Protection of metals against corrosion …… 151
5. МІНЕРАЛЬНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ
MINERAL BINDERS ……. 154
5.1. Мінеральні в'яжучі речовини. Загальні відомості
Mineral binders. Overview …… 154
5.2. Основні види гіпсових в'яжучих
Main types of gypsum binders ….…… 155
5.3. Основні властивості гіпсових в'яжучих
Main properties of gypsum binders ……. 156

Національний університет
водного господарства
та природокористування

5.4. Повітряне вапно
Air-setting lime ……..…….....……... 157
5.5. Гашення вапна
Slaking of lime ……..…….....…….. 160
5.6. Тверднення вапна
Lime hardening ……..…….....……. 161
5.7. Розчинне та рідке скло
Soluble and liguid glass ……..…….....……... 162
5.8. Кислототривкі цементи
Acid-proof cements ……..…….....……... 163
5.9. Магнезіальні в'яжучі
Magnesia binders …..……..…….....……... 164
5.10. Гідравлічне вапно
Hydraulic lime ……..…….....……. 164
5.11. Гідравлічні вапновміщуючі в'яжучі
Hydraulic lime containing binders …..……..…….....…….. 165
5.12. Типи портландцементів загальнобудівельного призначення
Portland cement types of the common designation …… ……..…....……. 166
5.13. Портландцементний клінкер. Способи виробництва
Portland cement clinker. Methods of clinker production ……..…..... 167
5.14. Випал цементного клінкеру
Burning of cement clinker ……..…….....…… 168
5.15. Помел цементу
Milling of cement ……..…….....……. 169
5.16. Мінералогічний склад портландцементного клінкеру
Mineralogical composition of portland cement clinker ...…. ……..…..... 171
5.17. Нормальна густота і строки тужавлення цементу
Normal consistency and time of cement setting …..……..…….....…… 172
5.18. Міцність цементу
Strength of cement ...…… ……..…….....……. 173
5.19. Гідратація та тверднення портландцементу
Hydration and hardening of Portland cement …… ……..…….....….. 175
5.20. Швидкотверднучі та надміцні цементи
Rapig hardening and high-strength cements ..…… ……..…….....…. 176
5.21. Сульфатостійкі портландцементи
Sulfate-resistant Portland cements ……..…….....….. 178
5.22. Шлакопортландцементи
Blastfurnace cements …..……..…..... 179
5.23. Пуцолановий портландцемент
Pozzolanic Portland cement …..……..…….....…… 180
5.24. Цементи з добавками ПАР
Cements with admixtures of SAS ...…… ……..…….....…….. 181
5.25. Розширні та напружуючі цементи
Extended and straining cements ……..…….....…….. 182
5.26. Глиноземистий цемент
Alumina cement ……..…….....…… 183

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6. МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ
MATERIALS BASED ON MINERAL BINDERS ……..…..…..…. 185
6.1. Цементні бетони. Загальні відомості
Cement-based concrete. Overview ……..……..…..…..…… 185
6.2. Дрібний заповнювач бетонів
Fine aggregate of concrete …..……..…..…..…… 186
6.3. Крупний заповнювач бетону
Coarse aggregate of concrete ..……..…..…..…… 189
6.4. Пористі заповнювачі
Porous aggregates …..……..…..…..….. 191
6.5. Добавки до бетонів. Класифікація
Additives for concrete. Classification ..……..…..…..…… 192
6.6. Хімічні добавки в бетони
Chemical additives for concrete ……..…..…..... 193
6.7. Дисперсні мінеральні добавки
Dispersible mineral additives ……..…..…..…… 195
6.8. Технологія бетонних сумішей
Concrete mixtures technology ..……..…..…..…… 196
6.9. Легкоукладальність бетонних сумішей
Workability of concrete mixtures ……..…..…..…. 198
6.10. Водовміст бетонної суміші
Water content of concrete mixtures ……..…..…..…. 200
6.11. Ущільнення і формування бетонних виробів вібраційними методами
Compacting and forming of concrete products by vibration methods …….. 202
6.12. Невібраційні методи ущільнення бетонних сумішей
Vibration- free methods of concrete mixtures compaction ……..…..... 203
6.13. Структура бетону
Structure of concrete ……..…..…..…… 204
6.14. Міцність бетону
Concrete strength ..……..…..…..…… 206
6.15. Неруйнівні методи визначення міцності бетону
Non-destructive methods for control of concrete strength ……..…..…..… 208
6.16. Закон водоцементного відношення
Law of water-cement ratio ……..…..…..…… 209
6.17. Тверднення бетону і вплив температурного фактору
Hardening of concrete and influence of temperature factor ……..…..... 210
6.18. Екзотермія бетону
Exotherm of concrete ……..…..…..…… 212
6.19. Способи зимового бетонування
Methods of winter concreting …..……..…..…..…… 213
6.20. Морозостійкість бетону
Frost resistance of concrete ……..……..…..…..…… 214
6.21. Водонепроникність бетону
Water impermeability of concrete ……..…..…..…. 215
6.22. Деформативні властивості бетону
Deformation properties of concrete ……..……..…..…..…… 216

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.23. Корозія бетону
Corrosion of concrete 217
6.24. Проектування складів бетону. Основні завдання і методи
Desing concrete mixtures. Main tasks 218
6.25. Визначення цементно-водного (Ц/В) або водоцементного (В/Ц) відношення
Determination of the cement-water (C/W) or the water-cement (W/C) ratio 220
6.26. Розрахунок витрат основних компонентів бетонної суміші
Calculation of main components content in the concrete mixture 221
6.27. Дрібнозернисті та крупнопористі бетони
Fine grain and macroporous concrete..... 224
6.28. Легкі бетони на пористих заповнювачах
Lightweight concretes on porous aggregates..... 225
6.29. Ніздрюваті бетони
Cellular concretes 226
6.30. Гідротехнічний бетон
Hydraulic concrete 228
6.31. Дорожній бетон
Road concrete 230
6.32. Литі і самоущільнювальні бетони
Cast and self-compacting concretes 231
6.33. Високоміцні бетони
High strength concretes 232
6.34. Жаростійкі бетони
Heat–resistant concrete 233
6.35. Декоративні бетони
Decorative concretes 234
6.36. Електротехнічні бетони
Electrotechnical concrete 235
6.37. Особливо важкі і гідратні бетони
Extra-heave-weight and hydrated concrete..... 237
6.38. Радіаційностійкі бетони
Radiation resistant concretes 238
6.39. Фібробетони
Fiber concretes 239
6.40. Бетони на безклінкерних в'яжучих матеріалах
Concrete based on non-clinker binders 240
6.41. Будівельні розчини і сухі суміші
Building mortars and dry mixtures. Overview 241
6.42. Приготування будівельних розчинів
Technology of building mortars 242
6.43. Властивості розчинових сумішей
Properties of mortar mixtures 243
6.44. Міцність розчинів
Strength of mortars 244
6.45. Кладочні розчини
Masonry mortars 246
6.46. Штукатурні розчини
Plaster mortars 247

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.47. Декоративні розчини
Decorative mortars …… 248
6.48. Спеціальні розчини
Special mortars …… 249
6.49. В'яжучі і наповнювачі сухих будівельних сумішей
Binders and fillers for dry building mixtures …… 251
6.50. Добавки–модифікатори сухих сумішей
Additives–modifiers of dry mixtures …… 252
6.51. Залізобетон. Загальні відомості
Reinforced concrete. Overview…… 253
6.52. Види арматури
Types of reinforcement …… 255
6.53. Способи армування залізобетону
Reinforcing methods …… 256
6.54. Способи попереднього напруження арматури
Methods of reinforcement prestressing…… 258
6.55. Способи виробництва залізобетонних виробів
Methods of production reinforced concrete products…… 259
6.56. Шляхи економії цементу
Ways of cement saving …… 260
6.57. Шляхи економії палива
Ways of fuel saving …… 262
6.58. Азбестоцементні вироби
Asbestos-cement products …… 263
6.59. Матеріали автоклавного тверднення
Materials of autoclave hardening…… 265
6.60. Гіпсові вироби
Gypsum products …… 266
7. ОРГАНІЧНІ МАТЕРІАЛИ
ORGANIC MATERIALS …… 268
7.1. Будівельні матеріали з деревини. Загальні відомості
Building materials from wood. Overview …… 268
7.2. Склад деревини
Composition of wood …… 269
7.3. Структура деревини
Structure of wood…… 270
7.4. Вади деревини
Defects of wood …… 271
7.5. Вологість та вологісні деформації деревини
Humidity and moisture deformation of wood …… 273
7.6. Теплові властивості та густина деревини
Thermal properties and density of wood…… 276
7.7. Механічні властивості деревини
Mechanical properties of wood …… 277
7.8. Стійкість деревини
Resistance of wood…… 279
7.9. Лісо- і пиломатеріали
Timber and sawn timber …… 280

Національний університет
водного господарства
та природокористування

7.10. Вироби з деревини
Wooden products…… 282
7.11. Клеєна деревина
Glued wood…… 283
7.12. Деревно-волокнисті і деревно-стружкові плити
Cane fiber boards and resin bonded chipboards …… 285
7.13. Матеріали на основі деревини і мінеральних в'яжучих
Materials based on wood and mineral binders…… 286
7.14. Бітумні та дьогтеві в'яжучі. Склад і структура
Bitumens and tar binders. Composition and structure …… 288
7.15. Якісні показники бітумів і дьогтів
Qualitative parameters bitumen and tars …… 288
7.16. Водо- та корозійна стійкість бітумів та дьогтів
Water- and corrosion resistance of bitumen and tars …… 290
7.17. Види нафтових бітумів
Types of oil bitumen …… 290
7.18. Види дьогтів
Types of tars …… 292
7.19. Бітумні і дьогтеві емульсії і пасти
Bitumen and tar emulsions and pastes …… 293
7.20. Композиційні бітумні і дьогтеві в'яжучі
Composite bitumen and tar binders …… 294
7.21. Асфальтові мастики
Asphalt mastics …… 295
7.22. Асфальтові бетони. Загальні відомості
Asphalt concrete. Overview …… 297
7.23. Склад асфальтобетонної суміші
The composition of asphalt concrete mixture …… 298
7.24. Властивості асфальтобетону та його виробництво
Properties and producing of asphalt concrete…… 300
7.25. Рулонні матеріали
Roll materials …… 302
7.26. Полімерні матеріали. Загальні відомості
Polymer materials. Overview …… 304
7.27. Синтетичні полімери
Synthetic polymers …… 305
7.28. Властивості синтетичних полімерів
Properties of synthetic polymers…… 307
7.29. Наповнювачі, пластифікатори та стабілізатори пластмас
Fillers, plasticizers, stabilizers of plastics …… 308
7.30. Фізичні властивості пластмас
Physical properties of plastics …… 309
7.31. Механічні властивості пластмас, їх деформативність
Mechanical properties and deformability of plastics …… 311
7.32. Стійкість і деструкція пластмас
Resistance and destruction of plastics …… 312

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

7.33. Конструкційні пластмаси
Structural plastics …… 314
7.34. Пластмаси для підлог
Floor plastics …… 315
7.35. Пластмаси для оздоблення стін
Plastics for wall facing …… 317
7.36. Полімерні плівки
Polymer films…… 318
7.37. Клеї та мастики
Glues and mastics …… 320
7.38. Герметики
Sealants …… 321
7.39. Пластмасові труби
Plastic pipes …… 322
7.40. Полімербетони
Polymer concretes…… 323
7.41. Ніздрюваті пластмаси
Cellular plastics …… 325
7.42. Лакофарбові матеріали
Varnishes and paints …… 326
Література
References …… 328
Предметний покажчик…… 330
Index …… 337

Національний університет
водного господарства
та природокористування