

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра технології будівельних виробів
і матеріалознавства

03-09-65М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи з навчальної дисципліни
«Бетони і будівельні розчини. Заповнювачі для бетону»

(розділ «Заповнювачі для бетону») для здобувачів вищої
освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-
професійною програмою «Технології будівельних
конструкцій, виробів і матеріалів» спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
усіх форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою
з якості ННІБА
Протокол № 2 від 04.10.2022 р.

Рівне – 2022

Методичні вказівки до самостійної роботи з навчальної дисципліни «Бетони і будівельні розчини. Заповнювачі для бетону» (розділ «Заповнювачі для бетону») для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання [Електронне видання] / Бордюженко О. М. – Рівне : НУВГП, 2022. – 29 с.

Укладач: Бордюженко О. М., к.т.н., доцент кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства.

Відповідальний за випуск: Дворкін Л. Й., проф., д.т.н., завідувач кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства.

Керівник групи забезпечення спеціальності: Караван В. В.

Зміст

1. Загальні рекомендації до самостійної роботи з дисципліни	4
2. Основні питання для підготовки за темою "Заповнювачі для бетону"	5
2.1. Функціональне призначення заповнювачів у бетоні.....	5
2.2. Види заповнювачів	6
2.3. Особливості впливу дрібного і крупного заповнювачів на властивості бетону	9
2.4. Основні показники якості піску	10
2.5. Основні показники якості крупного заповнювача.....	12
2.6. Особливості використання гравію і гравійно-піщаної суміші	14
2.7. Фракціонування заповнювачів, його значення	15
2.8. Пористі заповнювачі для бетону та показники якості	18
2.9. Стандартні способи визначення якості заповнювачів.....	21
2.10. Прискорені способи визначення якості заповнювачів	27
3. Рекомендована література	29

1. Загальні рекомендації до самостійної роботи з дисципліни "Бетони і будівельні розчини. Заповнювачі для бетону"

Під час вивчення навчальної дисципліни «Бетони і будівельні розчини» розглядаються технологічні та експлуатаційні властивості бетонів і розчинів, характеристики матеріалів для приготування бетонних і розчинових сумішей а також їх структуроутворення і процеси тверднення, характеристика та призначення бетонів і розчинів та розрахунок їх складів, основи виробництва бетонних і розчинних сумішей, види корозії бетонів та методи захисту.

Більшу частину часу, відведеного навчальним планом на вивчення дисципліни, передбачається для виконання самостійної роботи. Повноцінне засвоєння теоретичного матеріалу неможливе без його обговорення та розв'язування задач на практичних заняттях, тому окремі теми розглядаються на передбачених планом аудиторних практичних заняттях. В той же час, у зв'язку з недостатністю аудиторного часу для повного охоплення всіх тем дисципліни, самостійна робота набуває особливо важливого значення.

Самостійна робота включає такі види діяльності:

- 1) поглиблене вивчення програмного матеріалу, викладеного на лекційних заняттях, за конспектами лекцій, підручниками та посібниками;
- 2) самостійне вивчення за підручниками та навчальними посібниками розділів програми, не включених у лекційний курс;
- 3) самостійне розв'язання задач за відповідними розділами дисципліни;
- 4) виконання студентами індивідуальної розрахункової роботи протягом семестру під керівництвом і контролем викладача.

Короткі теоретичні відомості дисципліни викладені в навчальному посібнику [1].

В даних вказівках наведено матеріал, що необхідний для підготовки до поточного та підсумкового контролів з дисципліни за темами "Заповнювачі для бетону", "Добавки в бетонну суміш".

2. Основні питання для підготовки за темою "Заповнювачі для бетону"

2.1. Функціональне призначення заповнювачів у бетоні

Заповнювачами називають собою природні або штучні сипучі матеріали визначеного зернового складу і є важливою складовою частиною бетону.

Заповнювачі займають у бетоні до 80 % об'єму і впливають на властивості бетону, його довговічність і вартість. Введення в бетон заповнювачів дозволяє різко скоротити витрату цементу, що є найбільш вартісним і дефіцитним компонентом. Крім того, заповнювачі поліпшують технічні властивості бетону.

Твердий жорсткий кістяк з високоміцного заповнювача дещо збільшує міцність і модуль деформації бетону, зменшує деформації конструкцій під навантаженням, а також повзучість бетону – необоротні деформації, що виникають при тривалій дії навантаження. Заповнювач зменшує усадку бетону, сприяючи одержанню більш довговічного матеріалу. Усадка цементного каменю при його твердінні досягає 1...2 мм/м. Через нерівномірність усадочних деформацій виникають внутрішні напруження і навіть мікротріщини. Заповнювач сприймає усадочні напруження й у кілька разів зменшує усадку бетону в порівнянні з усадкою цементного каменю.

Пористі природні і штучні заповнювачі, маючи малу густину, зменшують густину легкого бетону, покращують його теплотехнічні властивості.

У спеціальних бетонах (жаростійких, для захисту від радіації та ін.) роль заповнювача дуже висока, тому що його властивості багато в чому визначають спеціальні властивості цих бетонів.

Вартість заповнювача складає 30...50% (а іноді й більше) від вартості бетонних і залізобетонних конструкцій, тому застосування більш доступних і дешевих місцевих заповнювачів у ряді випадків дозволяє знизити вартість будівництва, зменшує обсяг транспортних перевезень, забезпечує скорочення термінів будівництва.

Правильний вибір заповнювачів для бетону, їх розумне використання – одна з важливих задач технології бетону.

2.2. Види заповнювачів

Заповнювачі, що використовуються для виготовлення бетону, діляться на крупні та дрібні. Крупний заповнювач (з розміром зерен понад 5 мм) в свою чергу ділять на гравій та щебінь. Дрібним заповнювачем (крупністю до 5 мм) у бетоні є природний або штучний пісок.



Рис. 2.1. Природний гравій



Рис. 2.2. Базальтовий щебінь



Рис. 2.3. Пісок кварцовий фракціонований

Гравій складається з зерен обкатаної форми (рис. 2.1), у щебеню (рис. 2.2) – зерна гострокутні. Гравій утворюється в результаті природного руйнування (вивітрювання) гірських порід. У ньому можуть міститись як зерна високої міцності, наприклад гранітні, так і слабкі зерна пористих порід (вапняки, вапняні туфи й ін.). Звичайно гравій містить домішки пилу, глини, іноді органічних речовин а також піску. Внаслідок недостатнього зчеплення з цементним розчином гравій не застосовують у бетонах, що мають міцність при стиску понад 30 МПа.

Щебінь одержують в результаті подрібнення каменів з гірських порід. Він є найбільш якісним крупним заповнювачем для високоміцних бетонів. Для приготування бетону найкраще використовувати щебінь, близький за формою до куба або тетраедра, пластинчасті (лещадні) та голкоподібні зерна – малопрідатні. Найчастіше для виробництва щебеню використовують граніт (рис. 2.1),

базальт (рис. 2.2), діабаз та інші вивержені породи.

Природний пісок, що застосовується для виробництва звичайного бетону, являє собою пухку суміш зерен (крупністю 0,16...5 мм) різних мінералів, що входять до складу вивержених або осадових гірських порід. При відсутності природного піску також можна застосовувати пісок, одержуваний шляхом подрібнення твердих гірських порід а також у вигляді відсівів подрібнення, одержуваних при розсіванні подрібнених гірських порід. Природні піски також можуть бути збагачені і фракціоновані. Збагачення полягає у вилученні фракцій понад 5 мм, відмиванні пилюватих і глинистих часток.

За густиною в насипному стані заповнювачі поділяються на важкі (насипна густина понад 1100 кг/м³) і легкі (до 1100 кг/м³).

За структурою зерен:

- щільні (пористість менше 10%);
- пористі (пористість більше 10%).

За походженням і методам одержання:

- природні, що добуваються з родовищ (пісок);
- класифіковані (відсортовані) (пісок, гравій);
- подрібнені (щебінь і пісок, що одержують подрібненням гірських порід);
- штучні – з відходів виробництва без спеціальної переробки (золи, паливні шлаки, металургійні шлаки і т.п.);
- з відходів промисловості після спеціальної переробки (шлакова пемза, зольний гравій і ін.);
- з природної сировини при спучуванні або спіканні в процесі випалу (керамзит, аглопорит).

Для приготування легких бетонів використовують легкі пористі заповнювачі природного і штучного походження:

- 1) природні: щебінь з пористих гірських порід (пемзи, вулканічних туфів і лав, вапняних туфів, черепашників тощо);
- 2) штучні:

- а) відходи промисловості: паливні (котельні) шлаки, тобто відходи від спалювання вугілля; гранульовані доменні шлаки металургійні (рис. 2.3); зольний гравій із золи ТЕЦ;
- б) спеціально виготовлені (штучні) пористі заповнювачі: керамзит (керамзитовий гравій (рис. 2.5), щебінь і пісок); шлакова пемза (термозит) – пористі доменні шлаки; агломераційні шлаки, одержувані спіканням зол або паливних шлаків (аглопорит); спучені при випалі гірських порід (перліт, шунгізит).

Штучні пористі заповнювачі відрізняються більш високою якістю, чим звичайні паливні шлаки, і дозволяють одержувати більш міцні, стійкі і легкі бетони.



Рис. 2.4. Доменний гранульований шлак



Рис. 2.5. Керамзитовий гравій

Легкі (пористі) заповнювачі повинні мати густину у насипному стані менше 1000 кг/м^3 , найчастіше $500\text{...}800 \text{ кг/м}^3$, тобто приблизно вдвічі менше, ніж у звичайного піску і гравію. Внаслідок великої пористості міцність легких заповнювачів значно менша, а поверхня їх значно більше, ніж у звичайного піску і гравію або щебеню.

2.3. Особливості впливу дрібного і крупного заповнювачів на властивості бетону

Звичайний кварцовий пісок є найбільш широко застосовуваним дрібним заповнювачем. Відходи щебеневого виробництва – дрібні частки граніту, доломіту, мармуру і т.п. (відсівні подрібнення), зола-виносу, дрібна фракція шлаків також відносяться до цієї групи.

Роль дрібного заповнювача не обмежується економією цементу, як найбільш дорогого і дефіцитного компонента бетонної суміші. Дрібний заповнювач забезпечує збільшення щільності структури (особливо важливо для важких бетонів), підвищує пластичність суміші, зменшує водовідділення і розшарування сумішей, кількість тріщин у виробі і робить їх поверхню більш гладкою. Однак надлишок дрібного заповнювача, і особливо його пилоподібної складової, знижує міцність бетону.

Дрібні пористі заповнювачі, що застосовуються в легких бетонах поряд з крупними (наприклад, керамзитом), дозволяють досягти менших значень середньої густини бетону в порівнянні з бетоном на кварцовому піску. Разом з цим пористі заповнювачі мають досить високу водопотребу, що в 2...3 рази перевищує водопотребу щільних пісків, і це призводить до підвищеної витрати води.

Функціональне призначення крупного заповнювача в бетоні пов'язане з утворенням твердого кістяка (каркаса), що є основою для формування структури штучного каменю і визначає його здатність витримувати експлуатаційні навантаження. Недостатня міцність виробу (при якісному в'язучому) може пояснюватись нестачею в бетоні крупного заповнювача. Надлишок крупної фракції заповнювача в суміші призводить до розшарування бетонної суміші, а також до того, що поверхня виробів та їх грані стають пористими і нерівної форми. Зі збільшенням розмірів зерен крупного заповнювача міцність виробів зростає.

Вид крупного заповнювача і його кількість впливає на макроструктуру бетону, тобто на структуру "розчинова частина – заповнювач". При використанні крупного заповнювача в кількості 50...60% від загальної маси суміші зазвичай утворюється щільна структура важкого бетону з найбільшою міцністю.

Використання крупних пористих заповнювачів зменшує середню густину бетону і його теплопровідність. Однак пористі заповнювачі внаслідок особливостей своєї структури мають невисоку міцність що, як правило, нижча за міцність цементного розчину. Введення їх у бетон призводить до зниження його міцності порівняно зі звичайним важким бетоном на міцних щільних заповнювачах, причому тим сильніше, чим більшим є вміст заповнювача і меншою його густина.

2.4. Основні показники якості піску

Якість піску щільного природного визначається такими показниками згідно ДСТУ БВ.2.7-32-95:

- зерновим складом;
- вмістом пиловидних і глинистих часток, в тому числі глини у грудках;
- вмістом органічних домішок;
- міцністю (для подрібнених пісків);
- значенням сумарної питомої активності природних радіонуклідів.

Підприємство-виробник повинно мати і надавати споживачеві на його вимогу такі характеристики:

- густину зерен піску;
- насипну густину та порожнистість;
- хімічний склад;
- форму та характер поверхні зерен;
- питому поверхню зерен піску;

Крупність зерен визначають просіванням піску через стандартний набір сит з отворами 5, 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм. Наявність у піску зерен крупніше 10 мм допускається до 0.5% за масою, вміст зерен розміром 5...10 мм повинен бути не більше 10% для рядових пісків. Після просівання, в залежності від вмісту зерен різної крупності, визначають модуль крупності піску (M_k), що характеризує суму повних залишків (%) на ситах стандартного набору (рис. 2.5), ділену на 100.

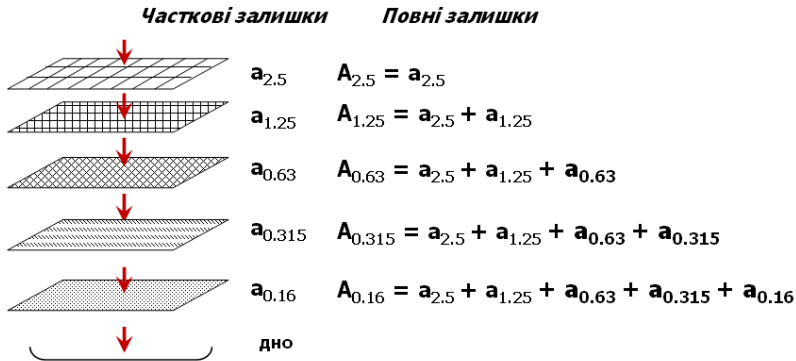


Рис. 2.5. Часткові і повні залишки на стандартних ситах

Як дрібний заповнювач для бетонів можуть використовуватись піски з модулем крупності (M_k) від 1,0 до 4,0.

Доцільність використання дрібних пісків із $M_k = 1...1,5$ а також дуже крупних із $M_k = 3,25...4$ визначається після проведення технологічних випробувань і техніко-економічного обґрунтування. При використанні пісків рекомендованого зернового складу ($M_k = 2...2,5$), забезпечується одержання бетонної суміші з необхідними властивостями при мінімальній витраті цементу.

Поряд з модулем крупності для повної характеристики піску важлива величина його п у с т о т н о с т і . Пісок, відсіяний на ситах двох близьких номерів, тобто складений із зерен майже однакової крупності, має велику пустотність (40...47%). При найкращому поєднанні в піску крупних, середніх і дрібних зерен пустотність може бути зменшена до 30%. У високоякісному піску пустотність не повинна перевищувати 38%. Для бетону найбільш придатний крупний пісок, що містить достатню кількість середніх і дрібних зерен. При такій комбінації зерен об'єм порожнин буде малим, а площа поверхні зерен – невелика, що позитивно позначається на необхідній витраті цементу.

Насипна густина піску залежить від його істинної густини (2.2...2.8 г/см³), пустотності та вологості і визначається в сухому пухкому стані. Пісок, призначений для бетону класу В15 і вище або для бетону в конструкціях, що піддаються замерзанню в

насиченому водою стані, повинен мати густину не нижче 1550 кг/м³; в інших випадках – не нижче 1100 кг/м³. При струшуванні пісок ущільнюється і густина його збільшується до 1600...1700 кг/м³. Найбільший об'єм пісок займає при вологості близько 5...7%; з підвищенням або зі зниженням вологості об'єм піску зменшується. Цю властивість варто враховувати при дозуванні піску для приготування бетонної суміші.

Комплексну оцінку якості піску як дрібного заповнювача для бетону дає показник в о д о п о т р е б и піску V_p . Його визначають для цементно-піщаного розчину складу 1:2 за масою з таким вмістом води в суміші, при якому забезпечується консистенція розчину, аналогічна консистенції цементного тіста нормальної густоти. Для піску середньої крупності $V_p = 7...7,5\%$.

Показник водопотреби дозволяє порівнювати різні заповнювачі та більш повно прогнозувати їх вплив на водовміст й легкоукладальність бетонних сумішей, властивості бетону.

2.5. Основні показники якості крупного заповнювача

Крупний заповнювач оцінюється показниками якості, які аналогічні до показників дрібного заповнювача (піску).

Загальною вимогою до всіх заповнювачів є наявність стабільності показників властивостей і показників якості заповнювача в кожній пробі, що забезпечують отримання бетону гарантованої якості.

Важливою властивістю крупних заповнювачів є міцність при стиску, що визначають за стандартною методикою (ДСТУ Б В.2.7-71-98) безпосереднім випробуванням зразків (циліндрів або кубів) або при випробуванні щебеню або гравію на д р о б и м і с т ь у сталевому циліндрі. При цьому міцність заповнювача визначається не тільки міцністю гірської породи з якої він отриманий, але й крупністю зерен. Зі зменшенням розміру зерен міцність їх, як правило, підвищується.

Для всіх видів важкого бетону збірних і монолітних конструкцій необхідно використовувати щебінь з вивержених гірських порід марки не нижче 800, метаморфічних порід не нижче 600 і осадових порід не нижче 300. Марка щебеню з природного

каменю повинна бути вищою за марку бетону не менше ніж у 1,5 рази для бетону класу В 22,5 і вище.

До заповнювачів важкого бетону висуваються також вимоги за вмістом слабких зерен (не більше 5% за масою), пластинчастої або лещадної форми із шириною, що в три і більше разів перевищує товщину (15...35% в залежності від виду конструкції).

Вимоги за морозостійкістю диференційовані в залежності від виду бетону й умов експлуатації залізобетонних конструкцій – гідротехнічні, мостові, дорожні і т.п. В усіх випадках морозостійкість заповнювачів повинна забезпечити бетону необхідну марку за морозостійкістю.

Вміст пилюватих і глинистих часток у крупному заповнювачі з вивержених порід для важкого бетону не повинен перевищувати 1% за масою, а у щебені з осадових порід, а також для бетонів низьких класів у межах 1...3%. Щебінь зазвичай чистіший гравію і, як правило, не містить органічних домішок.

Крупний заповнювач випускають у вигляді наступних основних фракцій: 5...10; 10...20; 20...40; 40...80 (70) мм. У деяких випадках допускається випускати і поставляти суміш фракцій, а також суміш фракцій 70 (80)...120 і 120...150 мм.

В залежності від величини зерен розрізняють крупний заповнювач наступних видів: рядовий – 5...70 мм; фракціонований: особливо дрібний – 5...10, дрібний – 10...20, середній – 20...40, крупний – 40...70 (80) мм.

Крупність гравію (щебеню) визначають просіванням його через стандартний набір сит із круглими отворами розміром 70(80), 40, 20, 10 і 5 мм. При виготовленні бетону велике значення має максимально допустима крупність заповнювача, обумовлена розміром отвору сита, на якому повний залишок не перевищує 5% від загальної наважки. Максимальна крупність залежить від розміру бетонованих конструкцій: для зручного укладання бетонної суміші не можна застосовувати крупний заповнювач крупніше $\frac{1}{4}$ мінімального розміру перетину конструкції і більше мінімальної відстані між стержнями арматури в залізобетонній конструкції (наприклад, для балки шириною 200 мм можна використовувати гравій (щебінь) з найбільшою крупністю зерен $200/4=50$ мм); при бетонуванні плит, підлог та покриттів — $\frac{1}{2}$ товщини плити.

Рухомість бетонної суміші однакового складу і з однаковою кількістю води на крупному гравії (щебені) більша, ніж на дрібному. На зміну вмісту крупного заповнювача на відміну від піску вологість майже не впливає.

При виробництві щебеню і гравію повинна проводитися їх радіаційно-гігієнічна оцінка, за результатами якої встановлюють область застосування. Щебінь і гравій залежно від значень сумарної питомої ефективної активності природних радіонуклідів $A_{\text{сум}}$ застосовують:

- При $A_{\text{сум}}$ до 370 Бк / кг - у житлових і громадських новобудовах;

- При $A_{\text{сум}}$ від 370 до 740 Бк / кг - для дорожнього будівництва в межах території населених пунктів і зон перспективної забудови, а також при зведенні виробничих будівель і споруд;

- При $A_{\text{сум}}$ від 740 до 1350 Бк / кг - в дорожньому будівництві поза населеними пунктами.

2.6. Особливості використання гравію і гравійно-піщаної суміші

Гравій – це обкатані уламки гірських порід крупністю від 5 до 70 (80) мм, утворені в результаті природного руйнування (вивітрювання).

У гравії можуть міститися зерна високої міцності, наприклад гранітні, і слабкі зерна пористих вапняків та ін. Зазвичай він містить домішки пилу, глини, іноді й органічних речовин, а також піску. При великому вмісті піску (25...40%) такий матеріал називають піщано-гравійною сумішшю або гравелистим піском.

Зерна гравію, як правило, мають округлу форму з гладкою поверхнею, що перешкоджає міцному зчепленню з цементним розчином, внаслідок чого міцність бетону знижується. Для бетону бажана малообкатана (щебенеподібна) форма зерен гравію; малопридатна яйцеподібна (обкатана), ще гірше – пластинчаста або лещадна. Внаслідок недостатнього зчеплення з цементним розчином гравій не використовують у бетонах, що мають міцність при стиску понад 30 МПа. Крупні фракції гравію використовують для подрібнення на щебінь.

У гравії допускається не більше 1 % (за масою) глинистих, мулистих, пилоподібних домішок, кількість яких визначають

відмулюванням. Вміст органічних домішок у гравії встановлюють, як і в піску, колориметричним методом. Якщо в гравії кількість домішок більша припустимої, то його промивають водою.

Гравій додає бетонній суміші більшу рухомість ніж щебінь, оскільки створює менше тертя між цементним розчином і зернами заповнювача. Гравій має менший об'єм порожнин через обкатаність зерен і менше тертя при укладанні. До недоліків гравію відноситься відносно слабке зчеплення з цементним розчином. Крім того, він більше забруднений глинистими, мулистими й органічними домішками, що негативно позначається на властивостях бетону.

У природі зустрічаються готові суміші піску і гравію. У цих випадках необхідно перевіряти сталість складу і відповідність піщаної і гравійної частин існуючим стандартам. Якщо склад суміші придатний для бетону і зберігається незмінним, то суміш можна не розсіювати, але найчастіше гравійно-піщані суміші за складом не постійні і їх доводиться розділяти на пісок і 2...3 фракції гравію.

2.7. Фракціонування заповнювачів, його значення

Заповнювачі можуть постачатися рядовими (із природним зерновим складом), сортованими (з обмеженими розмірами) і фракціонованими (у вигляді окремих фракцій). Зерновий склад є од но ф р а к ц і й н и м , якщо найменша і найбільша крупність його зерен близькі і відповідають розмірам стандартного ситового набору. Зерновий склад називають б е з п е р е р в н и м , коли при послідовному просіванні проби заповнювача крізь стандартний набір сит одержують залишки на всіх ситах. Якщо деякі проміжні фракції відсутні, то зерновий склад називають п е р е р в н и м .

При змішуванні різних фракцій пустотність заповнювача, як правило, зменшується внаслідок того, що дрібні зерна можуть розміщуватись в проміжках між крупними зернами і, таким чином, більш компактно заповнювати об'єм. Найбільш щільна суміш двох фракцій заповнювача буде досягнута в тому випадку, коли розмір зерен однієї з них майже в 6,5 разів менше розміру іншої фракції, а присутність зерен проміжних фракцій небажана.

Хоча суміші з перервним складом при виключенні фракцій

середніх розмірів і забезпечують меншу пустотність, однак при їхньому застосуванні для одержання визначеної рухомості бетонної суміші товщина обмазки зерен цементним тістом повинна бути більшою, ніж у сумішах з безперервним зерновим складом, причому це особливо характерно в умовах, коли зростає вміст дрібної фракції, а отже, і питома поверхня заповнювача. У результаті збільшується витрата цементу на обмазку зерен і зменшується можливість економії цементу за рахунок зменшення пустотності заповнювача. Крім того, суміші з перервними зерновим складом схильні до розшарування, що негативно позначається на однорідності бетону.

Ідеальна крива зернового складу підбирається з умови, щоб кількість порожнин у суміші і сумарна поверхня зерен потребували мінімальної витрати цементу для одержання визначеної рухомості бетонної суміші і міцності щільного бетону. При підборі співвідношення зерен різних розмірів за ідеальною кривою виходять найбільш рухомі суміші при тій самій витраті цементу, що менше схильні до розшарування.

На практиці підбір складу заповнювачів точно за ідеальною кривою вимагає додаткових операцій з розсіву піску та щебеню. Частина матеріалу окремих фракцій може виявитися зайвою, а для поповнення інших фракцій іноді потрібне додаткове подрібнення. Тому на практиці подібна методика не одержала поширення.

На будівельних об'єктах або заводах збірного залізобетону зерновий склад заповнювача підбирають з урахуванням рекомендацій стандарту (рис. 2.6, 2.7), використовуючи реальні пісок і щебінь і встановлюючи таке співвідношення між ними, щоб крива зернового складу по можливості наближалася до ідеальної кривої, однак припустимі деякі відхилення. Деяке погіршення зернового складу в цьому випадку легко компенсується або дуже незначним підвищенням витрати цементу, або більш ефективним способом ущільнення бетонної суміші, при цьому досягається помітне спрощення технології і зниження вартості бетону.

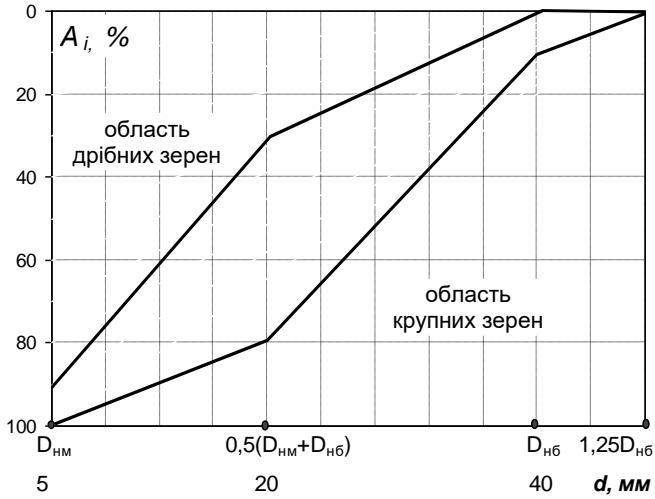


Рис. 2.6. Зерновий склад щебеню (гравію)

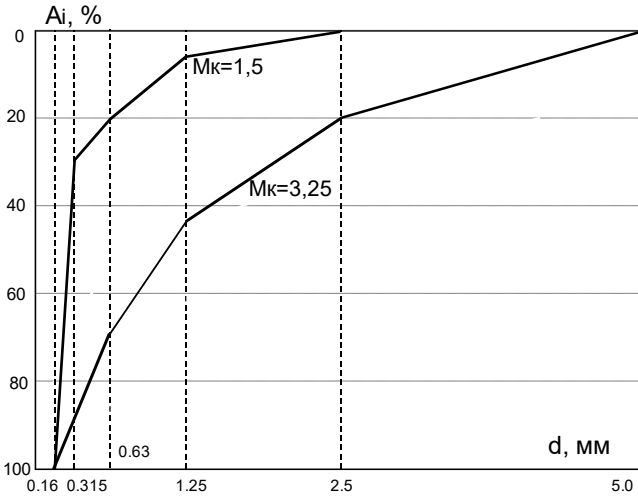


Рис. 2.7. Область зернового складу піску, допустимого для бетону

2.8. Пористі заповнювачі для бетону та показники якості

Пористі заповнювачі для легких бетонів використовують у вигляді щебеню, гравію та піску. На пористі заповнювачі поширюється дія ДСТУ БВ.2.7-17-95. Розрізняють природні і штучні пористі заповнювачі а також заповнювачі з відходів промисловості.

Природні пористі заповнювачі одержують подрібненням і сортуванням пористих вивержених і осадових гірських порід:

- щебеню і піску з пемзи, вулканічного шлаку, вулканічного туфу і туфових лав;
- щебеню і піску з карбонатних порід (вапняку, вапняку-черепашнику) та з кремнеземистих порід (опоки, трепелу, діатоміту).

До пористих заповнювачів з відходів промисловості належать в основному металургійні шлаки і золошлакові суміші, що одержують при спалюванні твердого палива в ТЕС і котельнях.

Домінуюче положення займають штучні заповнювачі, що складають близько 85 % загального обсягу застосування неорганічних пористих заповнювачів. Вони відрізняються більш високою якістю, ніж звичайні паливні шлаки, і дозволяють одержувати більш міцні, стійкі і легкі бетони.

Штучні пористі заповнювачі одержують механічною або термічною обробкою мінеральної (силікатні й алюмосилікатні матеріали) і органічної сировини з подальшим розсіюванням на фракції. Найбільш широко використовують керамзитовий гравій і його різновиди, аглопорит, шлакову пемзу (термозит), спучені перліт і вермикуліт, термоліт і т.п.

Різновиди керамзитового заповнювача:

- шунгізитовий гравій, що одержують спученням шляхом випалу шунгізитомістких порід (шунгізит – мінеральна речовина, що складається з аморфного вуглецю і диспергованого графіту з домішками неорганічних речовин);
- глинозольний керамзит, що одержують спученням при випалі гранул маси, що складається з глинистих порід і золошлакових сумішей – відходів ТЕС;

- зольний гравій у вигляді випалених до спучення гранул, що складаються з золошлакових відходів ТЕС, лігносульфонатів і води;
- спучений аргіліт у вигляді високопористого тендітного матеріалу з зернами різної форми, що одержують випалом до ламкого аргіліту (глинистої гірської породи зі значним коефіцієнтом спучення).

Дрібні пористі заповнювачі одержують безпосередньо у випалювальних агрегатах або подрібненням пористого щебеню або гравію. Назва дрібного заповнювача збігається з назвою вихідної сировини для його виготовлення. Пористий пісок за зерновим складом розділяють на три групи: для теплоізоляційного, для конструкційно-теплоізоляційного і конструкційного бетону.

Якість пористих заповнювачів оцінюють рядом показників їх властивостей, до яких відносять: насипну густину, середню густину, міцність, зерновий склад, водопоглинання, коефіцієнт розм'якшення, морозостійкість та ін.

Насипна густина являє собою відношення маси заповнювача до об'єму, який він займає, включаючи простір між зернами. Пористі гравій, щебінь і пісок за насипною густиною, кг/м³, поділяють на марки: 100, 160, 200, 250, 300...1100.

Середню густину (густину зерна) визначають відношенням маси зерна до його об'єму, включаючи наявні в ньому пори. Залежно від виду заповнювача вона може коливатися від 0,7 до 1,8 г/см³.

Міцність пористого заповнювача визначають шляхом стискання в циліндрі. На окремі види заповнювачів відповідними стандартами встановлені марки за міцністю при стисканні в циліндрі (від П 15 до П 400) залежно від марки за насипною густиною.

Розмір зерен крупного заповнювача встановлений від 5 до 40 мм. Застосовують фракції: 5...10; 10...20; 20...40 мм. Найбільш поширена фракція 10...20 мм. Зі зменшенням фракції зерен збільшується насипна густина заповнювача, а отже, і середня густина бетону. Використання фракції зерен 20...40 мм супроводжується труднощами технологічного характеру (приготування, укладання бетонної суміші та ін).

Загальна пористість легких заповнювачів 40...75%, причому більшість пор зазвичай сполучуються між собою. Закрита пористість для більшості легких заповнювачів не перевищує 10...20%. Пустотність легких пористих заповнювачів залежить від їх зернового складу і, як і для звичайних піску і щебеню, складає 30...45%.

Водопоглинання заповнювачів виражають процентним вмістом поглинутої вологи до маси сухого матеріалу. Для кожного виду заповнювача граничні значення водопоглинання встановлюють відповідні стандарти.

Коефіцієнт розм'якшення являє собою відношення міцності заповнювача в насиченому водою стані до міцності в сухому стані. Для конструкційних бетонів коефіцієнт розм'якшення пористих заповнювачів повинен бути не менше 0,6, для конструкційно-теплоізоляційних – не менше 0,7.

Морозостійкість крупного пористого заповнювача визначають втратами маси наважки у відсотках після її почергового заморожування і відтавання. Для заповнювачів кількість циклів почергового заморожування і відтавання не повинна бути меншою 15, при цьому втрата маси не повинна перевищувати 8 %.

У гравії, щебені й піску не повинно бути сторонніх забруднюючих домішок, (рослинних залишків, ґрунту, цегли, металевих включень у вигляді окремих кусків і т.п.).

Теплопровідність гравію, щебеню і піску, які застосовують для звуко- і теплоізоляційних засипок, повинна бути не більшою 0,12 Вт/(м·°С).

Для оцінки впливу легкого заповнювача на витрату води й інші властивості бетонної суміші також використовують поняття про його водопотребу. Найбільш показова повна водопотреба. Вона зазвичай складає 50...70% від повного водопоглинання. Водопотребу легкого піску і щебеню визначають у розчині і бетоні через 30 хв. після їх виготовлення. Водопотреба легких заповнювачів коливається в широких межах і може досягати для піску 30%, а для щебеню – 20%.

Основні показники густини і міцності найважливіших видів легких заповнювачів наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Властивості легких (пористих) заповнювачів

Заповнювач	Насипна густина, кг/м ³	Границя міцності на стиск зерна, МПа
Щебінь із: звичайної природної пемзи	400...600	1,0...3,5
легких туфів	700...800	5,0...10
легких черепашників	700...800	1,0...2,5
Шлакова пемза (зі спучених доменних шлаків) :		
легка	400...600	2,5...10
середня	700...800	5,0...20
Керамзитовий гравій (зі спучених глин):		
легкий	300...400	2,5...10
середній	500...700	5,0...20
Керамзитовий пісок	600...800	—
Агломераційні (або вторинні) шлаки (щебінь зі спечених шлаків і зол)	600...1000	2,5...10
Гранульовані доменні шлаки:		
легкі	500...600	—
середні	800...1000	—
Спучені гірські породи (перліт)	200...800	0,5...1,5

2.9. Стандартні способи визначення якості заповнювачів

Випробування різних видів заповнювачів бетону виконують за методиками, викладеними у відповідних державних стандартах.

Основними нормативними документами, що використовуються при проведенні випробувань, є такі:

- ДСТУ Б В.2.7-71-98. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань;

- ДСТУ Б В.2.7-232:2010. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань;

- ДСТУ Б В.2.7-264:2011. Заповнювачі пористі неорганічні для будівельних робіт. Методи випробувань.

Стандартні випробування заповнювачів виконують при проведенні геологічної розвідки, контролі якості на підприємстві-виробнику і вхідному контролі на підприємстві-споживачі заповнювачів бетону.

В табл.2.2 наведені основні показники якості заповнювачів, сутність методів їх визначення і напрямки використання.

Діючі стандарти вказують на необхідність урахування умов експлуатації споруд (ДСТУ Б В.2.7-43-96). Оцінку деструктивного впливу реакційної здатності наповнювачів можна робити за величиною деформацій розширення зразків - балочок з цементно-піщаного розчину, які тверднуть у заданому режимі до року. Для більш раннього виявлення деформацій розширення проводять тепловологісну обробку зразків. Аналогічним чином перевіряють допустимість присутності в заповнювачі інших шкідливих домішок (оксидів заліза, слюди, сірчаноокислих і сірчистих сполук, вапна).

Таблиця 2.2

Основні показники якості заповнювачів і методи їх визначення

Показник якості, розрахункова формула	Метод визначення	Напрямок використання
Насипна густина: $\rho_n = \frac{m}{V},$ де m – маса заповнювача в насипному стані; V – об'єм заповнювача	За допомогою стандартних мірних циліндричних посудин	Для встановлення марки пористих заповнювачів. Для розрахунку складських приміщень, бункерів, дозаторів, складів бетонних сумішей і ін.

<p>Густина зерен і речовини заповнювача:</p> $\rho = \frac{m}{V},$ <p>де m – маса зерен; V – об'єм зерен</p>	<p>Гідростатичне зважування (для визначення густини зерен); пікнометричний метод (для визначення густини речовини – істинної густини)</p>	<p>Для розрахунку складів бетонних сумішей; розрахунку пустотності заповнювачів; пористості зерен та ін.</p>
<p>Міжзернова пустотність ($V_{\text{пуст}}$) і пористість зерен заповнювача ($V_{\text{пор}}$):</p> $V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_n}{1000\rho_3}\right) 100,$ $V_{\text{пор}} = \left(1 - \frac{\rho_3}{\rho}\right) 100,$ <p>де ρ_3 – густина зерен, г/см³; ρ – густина речовини заповнювача</p>	<p>Розрахунковий метод; експериментальне визначення об'єму порожнин за об'ємом непоглиненої води</p>	<p>Для розрахунку складів бетонних сумішей; розрахунку необхідного об'єму цементного тіста та ін.</p>
<p>Вологість (W) і водопоглинання ($W_{\text{вп}}$) заповнювача:</p> $W = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} 100,$ $W_{\text{вп}} = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} 100,$ <p>де $m_{\text{вл}}$, $m_{\text{сух}}$, $m_{\text{нас}}$ – маса проби відповідно в стані природної вологості, сухому і водонасиченому стані</p>	<p>Зважування проби в природному, сухому і водонасиченому стані</p>	<p>Розрахунок виробничих складів бетонних сумішей</p>

Показник якості, розрахункова формула	Метод визначення	Напрямок використання
<p>Коефіцієнт форми зерен:</p> $K_{\phi} = \frac{D_{\text{найб}}}{D_{\text{найм}}},$ <p>де $D_{\text{найб}}$ і $D_{\text{найм}}$ відповідно найбільший і найменший розміри зерна, мм</p>	<p>Вимір розміру зерен, співвідношення товщини і ширини зерен до їх довжини</p>	<p>Визначення вмісту пластинчастих (лещадних) і голкоподібних зерен (з товщиною або шириною менше довжини в 3 і більше раз); розрахунки питомої поверхні та ін.</p>
<p>Зерновий (гранулометричний) склад з визначенням часткових (a_n) і повних (A_n) залишків на ситах:</p> $a_n = \left(\frac{m_n}{M} \right) 100,$ <p>$A_n = a_1 + \dots + a_n$, де m_n – маса проби, що залишилася при просіванні на ситі n; M – маса всієї проби</p>	<p>Просівання на стандартних ситах</p>	<p>Розрахунок модуля крупності (для піску) $M_k = \frac{\sum A_i}{100}$; побудова кривої просівання; розрахунок питомої поверхні та ін.</p>
<p>Вміст відмулюваних (пилоподібних, глинистих і мулистих) домішок:</p> $P_{\text{відм}} = \frac{m - m_1}{m} 100,$ <p>де m, m_1 – маса проби заповнювача відповідно до і після відмулювання</p>	<p>Промивання проби заповнювача з послідовним зливанням забрудненої і додаванням чистої води</p>	<p>Оцінка можливого впливу заповнювача на водопотребу бетонної суміші, міцність, морозостійкість та інші властивості бетону</p>

<p>Міцність (R) і дробимість (D_p):</p> $R = \frac{P}{F},$ $D_p = \frac{(m - m_1)100}{m},$ <p>де P – руйнуюче зусилля; F – площа поперечного перерізу зразка; m – маса випробуваної проби; m₁ – маса залишку на контрольному ситі після випробування</p>	<p>Випробування на стиск кубічних або циліндричних зразків вихідної породи; роздавлювання проби однофракційного щебеню (гравію) у циліндрі на гідравлічному пресі з зусиллям 200 кН і просіванням через сито з розміром отвору в 4 рази менше найменшого розміру вихідних зерен. Для пористих заповнювачів визначають навантаження, необхідне для здавлювання проби на 1/5 частину займаного нею об'єму</p>	<p>Оцінка придатності заповнювача для бетону необхідного класу міцності</p>
<p>Показник якості, розрахункова формула</p>	<p>Метод визначення</p>	<p>Напрямок використання</p>
<p>Коефіцієнт розм'якшення K_p (водостійкість):</p> $K_p = \frac{R_{нас}}{R_{сух}},$ <p>де R_{нас} і R_{сух} границя міцності заповнювача відповідно у</p>	<p>Визначення міцності заповнювача при прямому або непрямому (у циліндрі дробимістю) випробуванні в сухому і</p>	<p>Оцінка придатності використання заповнювача в бетоні, що піддається систематичному впливові води</p>

водонасиченому й у сухому стані	водонасиченому стані	
<p>Морозостійкість:</p> $m_F = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100,$ <p>де m_1 – маса проби до випробування; m_2 – маса залишку на ситі, що відповідає мінімальному розмірові випробовуваної фракції після випробування на необхідне число циклів заморожування і відтавання</p>	<p>Визначення втрат маси в % після випробування проби заповнювача в лабораторній морозильній камері при температурі заморожування $-17...-25^{\circ}\text{C}$ з попереднім насиченням у воді</p>	<p>Оцінка придатності застосування заповнювача для бетонів, що піддається заморожування і відтаванню</p>
Вміст органічних домішок	За допомогою колориметричної (колірної) проби	Оцінка можливого впливу заповнювача на міцність і довговічність бетону

Стиранність щебеню (гравію) визначають за втратою маси зерен при випробуванні проби в поличному барабані з кулями (ДСТУ Б В.2.7-71-98). Підготовлену пробу завантажують в поличний барабан разом з чавунними або сталевими кулями і обертають його зі швидкістю 30-33 об / хв. Після закінчення випробування вміст барабана просівають через сито з розміром

отворів 5 мм і контрольне сито 1,25 мм. Залишки на ситах зважують.

Стиранність щебеню Ст,%, визначають за формулою:

$$Cm = \frac{m - m_1}{m} 100, \quad (2.1)$$

де m – маса проби щебеню (гравію), г; m_1 – сумарна маса залишків на ситі з отворами діаметром 5 мм і контрольному ситі, г.

Опір щебеню (гравію) удару на копрі визначають за ступенем руйнування зерен, що оцінюється зміною зернового складу проби (ДСТУ Б В.2.7-71-98).

Після 40 ударів бойка копра взятую пробу просівають через сита з отворами 5; 3; 1 і 0,5 мм, залишки на кожному ситі зважують і визначають повні залишки на кожному ситі.

Опір щебеню (гравію) удару на копрі визначають за формулою:

$$V = \frac{25}{4 - A}, \quad (2.2)$$

де A – показник крупності проби після випробування, що визначається за формулою:

$$A = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}{m}, \quad (2.3)$$

де m_1, m_2, m_3, m_4 – повні залишки на ситах з отворами діаметрами 5; 3; 1 і 0,5 мм, г; m – початкова маса проби, г.

Для пористих заповнювачів може вимірюватися теплопровідність за допомогою різних приладів для уточнення впливу особливостей складу і структури.

Питому поверхню піску і щебеню (гравію) визначають адсорбційним методом або за здатністю заповнювача утримувати на своїй поверхні плівку парафіну, або орієнтовно розрахунковим шляхом. Для розрахункового визначення питомої поверхні заповнювача (в $\text{м}^2/\text{кг}$) широко використовується формула А.С.Ладинського:

$$S = \left(16,5 \frac{K_\phi}{1000} \right) (a + 2b + 4c + 8d + 16e + 32f), \quad (2.4)$$

де a, b, c, d, e, f – окремі залишки відповідно на ситах з розмірами отворів 2,5; 1,25; 0,65; 0,315; 0,16 мм і кількість заповнювача, що проходить через сито 0,16 мм.

2.10. Прискорені способи визначення якості заповнювачів

Для прискореної оцінки властивостей заповнювачів у лабораторній практиці знаходять застосування деякі прискорені методи випробувань. Так, для визначення морозостійкості заповнювачів роблять поперединне насичення проби в розчині сірчанокислого натрію і висушування в сушильній шафі при 105...110°C. Після встановленого числа циклів пробу висушують, просівають через сито і визначають втрати маси.

Поряд з безпосереднім випробуванням зерен або наважки заповнювачів у насипному або ущільненому стані проводять також випробування заповнювачів у розчинових і бетонних сумішах. Такі випробування моделюють поведження заповнювачів у композиційних матеріалах і дають важливу додаткову інформацію про їх властивості і порівняльну ефективність. Зокрема для розрахунку складів бетонів на пористих заповнювачах (ДСТУ Б В.2.7-264:2011) передбачена методика визначення густини зерен заповнювача в цементному тісті. Знаючи густину зерен заповнювачів у повітряному середовищі ρ_3 і в цементному тесті $\rho_3^{ц.т}$ можна знайти відносний об'єм відкритих пор, що заповнюються в ботоні цементним тістом:

$$\frac{V_0}{V} = \frac{\rho_3^{ц.т} - \rho_3}{\rho_3^{ц.т}}, \quad (2.5)$$

де V_0 – об'єм відкритих пор у зернах заповнювача, см^3 , V – сумарний об'єм зерен заповнювача.

Б.Г.Скрамтаєвим та Ю.М.Баженовим був запропонований метод визначення водопотреби заповнювачів, заснований на підборі сумішей однакової рухомості з випробовуваним заповнювачем і без нього. Відповідно до цього методу водопотреба піску ($V_{п}$) і крупного заповнювача ($V_{ш}$) розраховують за формулами:

$$V_{п} = \frac{(B/C)_p - (B/C)_ц}{2} 100, V_{ш} = \frac{(B/C)_б - (B/C)_п}{3,5} 100, \quad (2.6)$$

де $(B/C)_p$ – водоцементне відношення цементно-піщаного розчину; $(B/C)_ц$ – водоцементне відношення цементного тіста нормальної густоти, 2 – число частин заповнювача на 1ч. цементу; $(B/C)_б$ – водоцементне відношення бетонної суміші; 3,5 – число частин крупного заповнювача (склад бетонної суміші – 1:2:3,5).

3. Рекомендована література

1. Дворкін О. Л. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Бетони і будівельні розчини» : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2008. 153 с.
2. Дворкін Л. И., Дворкін О. Л. Бетони і будівельні розчини : підручник. К. : Основа, 2008. 445 с.
3. Дворкін О. Л. Технологія бетону : навч. посібник. Рівне : РДТУ, 2001. 150 с.
4. Дворкін Л. И., Гоц В. І, Дворкін О. Л. Випробування бетонів і розчинів. Проектування їх складів : навчальний посібник. К.: Основа, 2014. 397 с.
5. Дворкін Л. И. та Лаповська С. Д. Будівельне матеріалознавство. Рівне : НУВГП, 2016. 448 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/4741/>
6. Бетонознавство: Питання і відповіді : навчальний посібник / Дворкін Л. И. та ін.; За ред. Л. Й. Дворкіна. Рівне : НУВГП, 2016. 268 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/7516/>.