Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра технології будівельних виробів
і матеріалознавства

03-09-67М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних занять з навчальної дисципліни «Будівельне матеріалознавство» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона праці» спеціальності 263 «Цивільна безпека»
денної і заочної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІБА
Протокол № 1 від 30.08.2022 р.

Рівне – 2022

Методичні вказівки до виконання практичних занять з навчальної дисципліни «Будівельне матеріалознавство» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона праці» спеціальності 263 «Цивільна безпека» денної і заочної форм навчання [Електронне видання] / Ніхаєва Л. І. – Рівне : НУВГП, 2022. – 43 с.

Укладач: Ніхаєва Л. І.– старший викладач кафедри технології будівельних виробів та матеріалознавства.

Відповідальний за випуск – Л.Й. Дворкін, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології будівельних виробів та матеріалознавства.

Керівник ОПП Шаталов О. С.

© Л. І. Ніхаєва, 2022
© Національний університет водного господарства та природокористування, 2022

1 . Загальні властивості будівельних матеріалів

Розрахунки по визначенню загальних властивостей будівельних матеріалів дозволяють оцінити їх відповідність технічним вимогам, можливість застосування в конкретних умовах експлуатації. Знання загальних властивостей матеріалів необхідно для різноманітних інженерних розрахунків. Наприклад, для розрахунку навантажень, визначення маси споруд, транспортних розрахунків, вибору місткості складських приміщень необхідно знати щільність матеріалів. Для оцінки міцності і стійкості споруд, прогнозу їх довговічності важливо врахування міцності матеріалів, відношення їх до вологи, температури і т.п.

В табл. 1.1, 1.2,1,3 1,4, наведені розрахункові формули основних фізичних та механічних властивостей різних матеріалів.

Таблиця 1.1

Властивість	Розмір-ність	Розрахункова формула	Пояснення до формули
Дійсна густина	кг/м^3	$\rho = m/V$	m – маса сухого матеріалу; V – об'єм в ущільненому стані
Середня густина	кг/м^3	$\rho_0 = m/V_1$	V_1 – об'єм матеріалу з урахуванням пор та порожнин
Насипна густина	кг/м^3	$\rho_н = m/V_н$	$V_н$ – об'єм матеріалу в пухкому стані
Пористість	%	$П = (1 - \rho_0/\rho)\cdot 100$	
Вологість	%	$W = \frac{m_в - m}{m}\cdot 100$	$m_в$ – маса вологого матеріалу

продовження табл.1.1

Властивість	Розмір-ність	Розрахункова формула	Пояснення до формули
Гігроскопічність	%	$W_г = \frac{m_г - m}{m} \cdot 100$	$m_г$ – маса матеріалу після досягнення рівноважної вологості при перебуванні у повітряному середовищі із 100 %–ю вологістю
Водопоглинання за масою	%	$W_m = \frac{m_н - m}{m} \cdot 100$	$m_н$ – маса насиченого водою матеріалу
по об'єму	%	$W_0 = \frac{m_н - m}{V} \cdot 100$	
Сорбційна вологість	%	$m_с = \frac{m_{сорб} - m}{m} \cdot 100$	$m_{сорб}$ – маса матеріалу після досягнення рівноважної вологості
Коефіцієнт фільтрації	м/год	$k_ф = \frac{V_в \cdot \delta}{S \cdot \Delta p \cdot \tau}$	$V_в$ – об'єм води, яка просочилась; δ – товщина стінки; S – площа стінки; Δp – різниця гідростатичного тиску на границях стінки, мм вод. ст.; τ – час
Коефіцієнт паропроникності	г/(м·год·Па)	$\mu = \frac{V_п \cdot \rho \cdot \delta}{S \cdot \tau \cdot \Delta p_п}$	$V_п$ – об'єм пари (густиною ρ), яка пройшла через стінку; $\Delta p_п$ – різниця тисків пари на границях стінки, Па

продовження табл 1.1

Властивість	Розмір-	Розрахункова	Пояснення

	ність	формула	до формули
Коефіці-єнт розм'якшення	—	$k_p = R_{нас}/R_c$	$R_{нас}$ – міцність насиченого в воді матеріалу; R_c – міцність сухого матеріалу
Теплопровідність	Вт/(м·°С)	$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{S \cdot (t_1 - t_2) \cdot \tau}$	Q – кількість теплоти, Дж; t_1 – температура поверхні гарячої сторони зразка, °С; t_2 – температура поверхні холодної сторони зразка, °С
Термічний опір	$м^{2}$·°С/Вт	$R_t = \delta/\lambda$	
Питома теплоємність	кДж/(кг·°С)	$C = \frac{Q}{m \cdot (t_1 - t_2)}$	
Температуропровідність	$м^2$/год	$\alpha = \frac{\lambda}{C \cdot \rho_0}$	
Коефіці-єнт лінійного теплового розширення	—	$\alpha_p = \frac{l_1 - l_0}{l_0 (l_1 - l_2)}$	l_0 – початкова довжина зразка; l_1 – довжина зразка після нагріву

Таблиця 1.2

Властивіс	Розмірн	Розрахункова	Пояснення до

ть	ість	формула	формули
Границя міцності	МПа	$\mathbf{R = F/S}$	F – руйнівне навантаження; S – розрахункова площа перерізу зразка
Твердість за Брінеллем	МПа	$HB = \frac{2F_{тв}}{\pi \cdot D \cdot (D\sqrt{D^2 - d^2})}$	D – діаметр кульки; d – діаметр відбитку
Стираність	г/см^2	$\mathbf{U = (m - m_1)/S}$	m – маса зразка до стирання; m_1 – маса зразка після стирання; S – площа стирання
Ударна міцність	МПа	$\mathbf{A = \frac{F_к \cdot (1 + 2 + 3 + \ldots + n)}{V}}$	$F_к$ – вага баби копра; n – порядковий номер удару, який руйнує зразок
Усадка	мм/м	$\boldsymbol{\varepsilon_{ус} = (l_0 - l_1)/l_0}$	l_0 – початкова довжина зразка; l_1 – кінцева довжина зразка
Повзучість	мм/м	$\boldsymbol{\varepsilon_{пз} = \varepsilon_п - (\varepsilon_{ус} - \varepsilon_у)}$	$\varepsilon_п$ – повна деформація; $\varepsilon_у$ – пружна деформація
Модуль пружності	МПа	$\mathbf{E = \sigma_н / \varepsilon_у}$	$\sigma_н$ – номінальна напруга
Межа текучості	МПа	$\boldsymbol{\sigma_т = F_т / S}$	$F_т$ – навантаження, яке відповідає межі текучості

Для орієнтовного визначення теплопровідності по

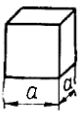
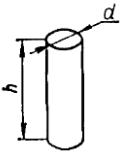
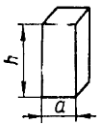
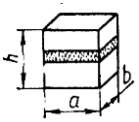
величині середньої густини можна використати формулу В.П.Некрасова:

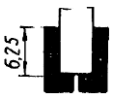
$$\lambda = 1{,}16 \cdot \sqrt{0{,}0196 + 0{,}22 \cdot \rho_o^2} - 0{,}16,$$

де ρ_o – середня густина, г/см^3.

Розміри стандартних зразків і розрахункові формули при стисненні вказані в табл. 1.3.

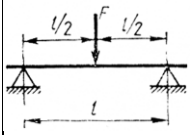
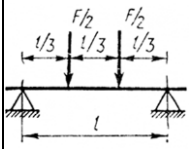
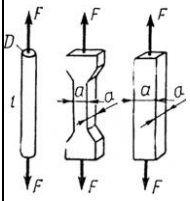
Таблиця 1.3

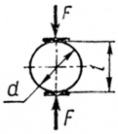
Зразок	Ескіз	Розрахункова формула	Мат	Розмір стандартного зразка, см
Куб		$R = F/a^2$	Бетон	15×15×15
			Розчин	7,07×7,07×7,07
			Природний камінь	5×5×5, 15×15×15
Циліндр		$R = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2}$	Бетон	d=15; h=30
			Природний камінь	d=h=5; 7; 10; 15
Призма		$R = F/a^2$	Бетон	a=10; 15; 20; h=40
			Деревина	a=2; h=3
Складений		$R = F/S$	Цегла	a=12; b=12; h=14



Половина призми		$\mathbf{R = F/S}$	Цемент	a=4; S=25 см^2

Таблиця 1.4

Зразок	Ескіз	Розрахункова формула	Матеріал	Розмір стандартного зразка, см
Призма, цегла (в натурі)		При згині $\mathbf{R_{зг} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}}$	Цемент	4×4×16, l=10
			Цегла	12×6,5×25, l=20
Призма		$\mathbf{R_{зг} = \frac{F \cdot l}{b \cdot h^2}}$	Бетон	15×15×60, l=45
			Деревина	2×2×30, l=24
Стержень, "вісімка", призма		При осьовому розтязі $\mathbf{R_p = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2}}$	Бетон	5×5×50, 10×10×80
			Сталь	d=1; l=5; l≥10d

Циліндр		При розтязі розколюванням $\mathbf{R_p = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot l}}$	Бетон	d=l=15

П р и к л а д 1 . Розрахувати об'єм бункерів закритого складу заповнювачів, що забезпечують загальний нормативний запас на τ=10 діб роботи бетонного заводу із добовим випуском бетонної суміші $v_{доб.}$=500 м^3. Витрата піску і гравію на 1 м^3 бетонної суміші (з врахуванням виробничих витрат) складає відповідно П=712 кг/м^3 і Г=1320 кг/м^3. Коефіцієнт заповнення бункерів 0,9. Насипна густина піску $\rho_{н.г}$=1500 кг/м^3 і гравію $\rho_{н.г.}$=1400 кг/м^3.

Нормативний запас заповнювачів:

Піску по масі – $П_н = v_{доб.} \cdot \tau \cdot П$=500·10·0,712=3560 т;

по масі – $Г_н = v_{доб.} \cdot \tau \cdot Г$=500·10·1,32=6600 т;

Піску за об'ємом – $v_{п.н.} = П_н / \rho_{н.п.}$=3560:1,5=2380 м^3;

Гравію за об'ємом – $v_{г.н.} = Г_н / \rho_{н.г.}$=6600:1,4=4360 м^3.

З поправкою на коефіцієнт заповнення 0,9 необхідні об'єми бункерів складів піску ($v_{б.п.}$) і гравію ($v_{б.г.}$) буде відповідно $v_{б.п}$=2650 м^3 і $v_{б.г}$=4840 м^3.

П р и к л а д 2 . Водопоглинання бетону по масі і об'єму дорівнює відповідно w_m=4,2%; w_o=9,5%. Знайти загальну пористість бетону при його дійсній густині ρ=2,7 г/см^3.

Середня густина бетону $\rho_o = w_o / w_m$=9,5/4,2=2,26 г/см^3,

або ρ_o=2260 кг/м^3.пористість бетону:

$$\mathbf{П = \frac{\rho - \rho_o}{\rho} \cdot 100 = \frac{2700 - 2260}{2700} \cdot 100 = 16{,}2\ \%}.$$

П р и к л а д 3 . Яка швидкість розповсюдження темпе-

ратури в ніздрюватому бетоні і деревині з середньою густиною $\rho_о$=600 кг/м^3? Теплопровідність бетону, $\lambda_б$=0,5 Вт/(м·°С), деревини $\lambda_д$=0,15 Вт/ /(м·°С), питома теплоємність бетону $С_б$=0,838 кДж/(кг·°С), деревини

$С_д$=1,9 кДж/(кг·°С).

Швидкість розповсюдження температури (температуро-ппровідність) ніздрюватого бетону $\alpha_б=\lambda_б/(С_б\cdot\rho_б)$=0,5·3,6/(0,838·600)=0,0036 м^2/ /год.,

деревини $\alpha_д=\lambda_д/(С_д\cdot\rho_о)$=0,25·3,6/(1,9·600)=0,000789 м^2/год.

П р и к л а д 4 . Зразок цегли при випробовуванні зруйнувався при показі манометра Р=40 МПа.

Коефіцієнт розм'якшення цегли $k_ц$=0,9. Площа зразка $S_о$ в два рази більша площі поршня гідравлічного преса $S_п$. Визначити межу міцності цегли на стиск в насиченому водою стані.

Допустиме навантаження $F=P\cdot S_п=40\cdot S_п$

Міцність цегли в сухому стані $R_с=F/S_о=40\cdot S_п/S_о$=20 МПа.

Міцність цегли в насиченому водою стані $R_н=k_р\cdot R_с$=0,9·20= =18 МПа.

П р и к л а д 5 . 41. Розрахувати модуль пружності листового скла наступного хімічного складу, %: SiO_2 – 71,8, Na_2O – 14,9, CaO – 7, MgO – 4,1, Al_2O_3 –2,2. При розрахунку застосувати правило адитивності. Коефіцієнти для розрахунку модуля пружності: SiO_2 – 700, Na_2O – 610, CaO – 700, MgO – 400, $Al_2 O_3$ –1800.

У відповідності з правилом адитивності модуль пружності скла може бути розрахований по емпіричним формулам Е=700·71,8+1800× ×2,2+700·7+400·4,1+61·14,9=61669 МПа.

2. Природні кам’яні і керамічні матеріали

Для приближеного висновку про хімічну стійкість гірських порід в кислих і лужних середовищах використаємо оцінку модуля основності $М_о$:

$$M_0 = \frac{CaO + MgO + Na_2O(K_2O)}{SiO_2 + Al_2O_3}.$$

Питому робота при ударному розколюванні гірських порід знаходимо за формулою:

$$A_{пит} = \frac{F_г \cdot n \cdot \Delta h \cdot (h_н + h_к)}{2 \cdot S},$$

де $F_г$ – зусилля створене гирею ($F_г$=20 Н); S – площа розколу

Таблиця 2.1

Класифікація карбонатних гірських порід

Порода	Склад, %	
	$CaCO_3$– кал	$CaMg(CaO_3$
Вапняк	95–100	5–0
Доломітистий вапняк	75–95	5–25
Доломітовий вапняк	50–75	25–50
Вапняковий доломіт	25–50	25–50
Вапняковистий доломіт	5–25	75–95
Доломіт	0–5	95–100

Для орієнтованого визначення морозостійкості гірської породи використовувати табл.2.2.

Таблиця 2.2

Марка по Морозо-стійкості	Заморожування		Випробування у розчині сірчанокислого натрію	
	Число циклів	Втрата маси після випробування, %, не більше	Число циклів	Втрата маси після випробування, %, не більше
15	15	10	3	10
25	25	10	5	10
50	50	5	10	10
100	100	5	10	5
150	150	5	15	5
200	200	5	15	5

Приклад 1. 50. Визначити по масі і об’єму витрату

глини, що необхідна для виготовлення 10000 шт. потовщеної цегли із середньою густиною $\rho_{ок}$=1400 кг/м^3, об'ємом порожнин $v_п$=30%, якщо середня густина сирої глини $\rho_{ог}$=1600 кг/м^3, вологість
w=15%. При випалі сирцю в печі втрати при прокалюванні (в.п.п.)
складають 10% від маси сухої глини.

Об'єм одної цегли:
без врахування порожнин (брутто) $v`_к$=0,25·0,12·0,088=0,00264 м^3;
з урахуванням порожнин (нетто)
$v_к=v`_к–v_п/100$=0,00264–0,00264· ·0,3=0,0018 м^3.

Об'єм 10000 шт. цеглин $v_п=v_к·n$=0,0018·10000=18 м^3.

Маса 10000 шт. потовщеної цегли $m_п=v_п·\rho_{ок}$=18·1400=25200 кг.

Маса сухої непрокаленої глини, що необхідна на 10000 шт. цегли,

$$\mathbf{m_{пр.г} = \frac{25200 \cdot (100 + в.п.п.)}{100} = 25200 \cdot 1{,}1 = 27720\ кг}\ .$$

Маса сирої глини, необхідної на 10000 шт. цегли,

$$\mathbf{m_г = \frac{m_{пр.г} \cdot (100 + w)}{100} = 27720 \cdot 1{,}15 = 31878\ кг}$$

Об'єм необхідної глини $v_г=m_г/\rho_{ог}$=31878:1600=19,92 м^3.

3. Мінеральні в'яжучі речовини

Таблиця 3.1

Клінкер	Приблизний вміст, %			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Алітовий	Більше 60	Менше 15	—	—

Нормальний(по вмісту аліту)	60 – 37,5	15 – 37,5	—	—
Белітовий	Менше 37,5	Більше 37,5	—	—
Алюмінатний	—	—	Більше 15	Менше 10
Нормальний(за вмістом алюмінату)	—	—	15 – 7	10 – 18
целітовий	—	—	Менше 7	Більше 18

Мінералогічний склад цементних клінкерів, %, можна визначити за формулами, запропонованими В.А.Кіндом:

$$C_3S=3,8\cdot SiO_2(3КН–2)$$

$$C_2S=8,6\cdot SiO_2(1–КН)$$

де КН – коефіцієнт насичення, що показує відношення кількості оксиду кальцію в клінкері, фактично зв'язаного з кремнеземом. До кількості його, теоретично необхідному для повного зв'язування кремнезему в трьохкальцієвий силікат.

Коефіцієнт насичення вираховують по спрощеній формулі:

$$КН=\frac{CaO-1,65\cdot Al_2O_3-0,35\cdot Fe_2O_3}{2,8\cdot SiO_2}.$$

Формули для розрахунку C_3A і C_4AF вибираються в залежності від значення глиноземистого модуля ГМ, рівного відношенню процентного вмісту Al_2O_3 і Fe_2O_3.

При ГМ>0,64: $C_3A=2,65\cdot(Al_2O_3–0,64\cdot Fe_2O_3)$; $C_4AF=3,04\cdot Fe_2O_3$.

При ГМ<0,64: $C_3A=1,7\cdot(Al_2O_3–1,57\cdot Fe_2O_3)$; $C_4AF=4,77\cdot Al_2O_3$.

Вміст сульфату кальцію визначають за формулою

$$CaSO_4=4,77\cdot SO_3.$$

Приклад 1. Скільки вапнякового тіста (по масі і об'єму), із вологістю $w_т$=50% можна отримати із $m_в$=15 т негашеного вапна із активністю А=85%. Середня густина вапняного тіста $\rho_т$=1400 кг/м^3.

Склад активного CaO в 15 т негашеного вапна

$$\mathbf{CaO_{акт.}=(A\cdot m_в)/100=(85\cdot 15)/100=12,75\ т.}$$

Гашення вапна проходить за рівнянням $CaO+H_2O=Ca(OH)_2$.

Із 56 масових частинок CaO можна отримати 74 частини сухого гідратного вапна, а із 12,75 т CaO

$$\mathbf{m_{Ca(OH)_2}=(12,75\cdot 74)/56=16,84\ т.}$$

Можлива кількість вапнякового тіста:

по масі $\mathbf{m_т=\dfrac{100\cdot m_{Ca(OH)_2}}{100-w_т}=\dfrac{100\cdot 16,84}{50}=33,68\ т}$

по об'єму $\mathbf{V_т=\dfrac{m_т}{\rho_т}=\dfrac{33,68}{1,4}=24,05\ м^3}$.

4. Бетони і розчини

Об'єм рідкого пластифікатора $v_д$, необхідний для приготування заданого об'єму робочої концентрації, знаходять за формулою

$$\mathbf{v_д=\frac{v\cdot Ц\cdot c}{100\cdot В\cdot Д}},$$

де Д – вміст сухої речовини добавки в 1 л, тобто концентрація розчину.

Концентрація розчину добавки знаходиться за довідковими даними за заданою густиною розчину. Стосовано до добавки ЛСТ(стара назва СДБ) концентрація, %, може бути знайдена за емпіричною формулою

$$\mathbf{Д=\frac{237(\rho_д-1)}{\rho_д}}.$$

Проектування складу важкого бетону

Проектування складу має на меті встановити таку витрату матеріалів на 1 $м^3$ бетонної суміші, при якій найбільш економічно забезпечується отримання даної легкоукладальності суміші, міцності та інших властивостей бетону.

Існує два способи вираження складу бетону:

- у вигляді витрати цементу, води, піску та щебеню (гравію) на 1$м^3$ бетонної суміші.

- у вигляді співвідношення цемент : пісок : щебінь = I : X : Y при В/Ц = Z.

Проектування складу важкого бетону складається з розрахунку складу і його коригування. Розрахунок складу проводиться з урахуванням вихідних даних про складові бетону одним з методів:

- розрахунково - експериментальним за формулами і таблицями, коли є дані про активність цементу і якість заповнювачів;

- номографічним або з використанням математичних моделей - коли є докладні дані про якість матеріалів - складових бетону.

Ці методи дозволяють розв'язати задачу розрахунку номінального (лабораторного) складу бетону для пробних замісів на сухих матеріалах. Підібрані (розрахункові) склади бетону потрібно коригувати на дослідних замісах по рухливості бетонної суміші і оптимальній кількості піску в суміші заповнювачів з наступною перевіркою бетону на міцність та інші властивості у відповідності із завданням.

Виробничі склади бетону потрібно розраховувати з урахуванням фактичної вологості заповнювачів, які застосовуються при виготовленні бетону шляхом коригування кількості води замішування та витрати вологих заповнювачів.

Вправа 1. Розрахунково - експериментальний

метод визначення
складу важкого бетону нормального твердіння

Для розрахунку складу важкого бетону необхідно мати наступні дані: задану середню міцність бетону на стиск (марку бетону) $R_б$, необхідну легкоукладальність бетонної суміші, яку характеризують осадкою конуса (ОК, см), або жорсткістю (Ж, с), а також характеристику вихідних матеріалів: вид і активність цементу $R_ц$, насипну густину складових $\rho_{нц}$, $\rho_{нп}$, $\rho_{нщ}$ (кг/м^3) та їх дійсну густину $\rho_ц$, $\rho_п$, $\rho_щ$ (кг/м^3), пустотність щебеню або гравію $V_{п.щ.}$, найбільшу крупність їх зерен та вологість заповнювачів $W_п$, $W_щ$ (%).

Склад бетону для пробних замісів розраховують у такій послідовності: обчислюють водоцементне відношення, витрату води, витрату цементу, після чого визначають витрату крупного та дрібного заповнювачів на 1 м^3 бетонної суміші.

Водоцементне відношення (В/Ц) обчислюють, виходячи з вимог до міцності бетону і з урахуванням активності цементу, виду та якості складових за наступними формулами:

- для бетонів з водоцементним відношенням В/Ц > 0.4

$$R_б = A\, R_ц\, (Ц/В - 0{,}5); \qquad (5.1)$$

- для бетонів з водоцементним відношенням В/Ц $\leq$ 0.4:

$$R_б = A_1\, R_ц\, (Ц/В + 0{,}5), \qquad (5.2)$$

де $R_б$ - марка бетону, МПа; $R_ц$ - активність цементу, МПа; А, $А_1$ - коефіцієнти, які враховують якість матеріалів (табл.4)

4. Коефіцієнти, які враховують якість матеріалів для бетону

Якість заповнювачів і цементу	А	$А_1$
Висока	0,65	0,43
Рядова	0,6	0,4
Понижена	0,55	0,37

До високоякісних матеріалів відносять щебінь зі щільних гірських порід високої міцності, пісок оптимальної крупності і портландцемент високої активності без добавок або з мінімальною кількістю гідравлічної добавки в його складі, заповнювачі повинні бути чисті і фракційні. До рядових матеріалів відносять заповнювачі середньої якості, у тому числі гравій, портландцемент середньої активності, або високомарочний шлакопортландцемент.

До матеріалів пониженої якості відносять крупні заповнювачі низької міцності і дрібні піски, цементи низької активності.

Після розв'язання відносно В/Ц наведені вище формули (5.1…5.2) матимуть вигляд:

$$В / Ц = \frac{AR_ц}{R_б + 0{,}5AR_ц} > 0{,}4; \quad (5.3)$$

$$В / Ц = \frac{A_1 R_ц}{R_б + 0{,}5A_1 R_ц} \le 0{,}4. \quad (5.4)$$

Для гідротехнічного бетону водоцементне відношення визначають не тільки з умови міцності, а й з умови забезпечення необхідної довговічності. Для цього значення В/Ц повинне не перевищувати величини, наведені в табл.5.

Витрату води (водопотребу бетонної суміші), л/м^3, орієнтовно визначають, виходячи з даної легкоукладальності бетонної суміші за таблицею 6, яка складена з урахуванням виду та крупності зерен заповнювача.

Витрату цементу на 1м^3 бетонної суміші обчислюють за вже відомими водоцементним відношенням та витратою

води:

$$Ц = В:(В/Ц). \quad (5.5)$$

5. Максимально допустимі значення В/Ц для гідротехнічного бетону

Умова служби	Немасивні залізобетонні конструкції		Зовнішня зона масивних конструкцій	
	В о д а			
	морська	прісна	морська	прісна
Надводний бетон, який епізодично омивається водою	0,55	0,6	0,65	0,65
Підводний бетон:	0,55	0,58	0,56	0,58
- в напірних спорудах	0,5	0,62	0,62	0,62
- в безнапірних спорудах	0,42	0,47	0,45	0,48
	0,45	0,5	0,47	0,52
Бетони зони змінного рівня води	0,5	0,55	0,55	0,53
- в особливо суворих кліматичних умовах				
- в сурових умовах				
- в помірних умовах				

Марка суміші	Жорсткість, с	Рухливість, см	Витрата води, $л^3$/м при крупності, мм							
			Гравію				Щебеню			
			10	20	40	70	10	20	40	70
$Ж_0$	≥31	-	150	135	125	120	120	160	150	135
$Ж_1$	30…21	-	160	145	130	125	170	165	160	140
$Ж_2$	20…11	-	165	150	135	130	175	165	150	155
$Ж_3$	10…5	-	175	160	145	140	185	175	160	155
$Р_1$	-	1…4	190	175	160	155	200	190	175	170
$Р_2$	-	5…9	200	185	170	165	210	200	185	180
$Р_3$	-	10…15	215	205	190	180	225	215	200	190
$Р_4$	-	12…16	225	220	205	195	235	230	215	205

6. Орієнтовна витрата води на $1м^3$ бетонної суміші*

Примітка: * - суміші на цементі з нормальною густиною тіста 26…28% та піску з $М_{кр}$=2. При зміні нормальної густини цементного тіста на кожний відсоток в меншу сторону витрату води треба зменшувати на 3…5 $л/м^3$, у більшу - збільшувати на те ж значення. У випадку зміни модуля крупності піску у меншу сторону на кожні 0,5 його значення необхідно збільшувати, а в більшу сторону - зменшувати витрату води на 3…5 $л/м^3$. У випадку застосування при отриманні бетону пластифікуючих добавок витрата води, встановлена за таблицею 6 коригується з урахуванням значення коефіцієнта $К_п$, встановленого за таблицею 7.

7. Значення поправочного коефіцієнта $К_п$ до водовмісту бетонних сумішей при застосуванні пластифікуючих добавок

Рухливість	Цементно-водне відношення

бетонної суміші, см	1,4	1,8	2,2	2,6
1…4	0,95/0,90	0,93/0,87	0,91/0,85	0,90/0,83
5…9	0,94/0,89	0,92/0,86	0,90/0,84	0,88/0,82
10…15	0,92/0,87	0,90/0,80	0,88/0,81	0,87/0,79
12…16	0,91/0,85	0,89/0,81	0,87/0,79	0,85/0,78

Примітка: У чисельнику наведенні значення $К_п$ при використанні добавки ЛСТ 0,25% від витрати цементу, а в знаменнику - добавки С-3 у кількості 0,7%.

Витрату заповнювачів (піску, щебеню або гравію), кг/м^3 бетону обчислюють, виходячи з двох умов:

1. Сума абсолютних об'ємів всіх компонентів ущільненої бетонної суміші дорівнює 1 м^3:

$$Ц / \rho_ц + В / \rho_в + П / \rho_п + Щ(Г) / \rho_{щ(г)} = 1 \quad (5.6)$$

де Ц, В, П, Щ(Г) - витрата цементу, води, піску і щебеню (гравію), кг/м^3, $\rho_ц, \rho_в, \rho_п, \rho_{щ(г)}$ - дійсна густина цих матеріалів, кг/м^3; $Ц / \rho_ц, В / \rho_в, П / \rho_п,$ $Щ(Г) / \rho_{щ(г)}$ - абсолютні об'єми матеріалів, м^3.

2. Цементно-піщаний розчин заповнює пустоти у крупному заповнювачі з деяким розсуванням зерен, тобто

$$Ц / \rho_ц + В / \rho_в + П / \rho_п = \alpha V_{П.Щ(Г)} Щ(Г) / \rho_{нщ(г)} \quad (5.7)$$

де $V_{П.Щ(Г)}$ - пустотність щебеню (гравію) у пухконасипаному стані, виражена в долях одиниці; α - коефіцієнт розсуву зерен щебеню (гравію), який приймається за табл.8.

8. Значення коефіцієнта α для пластичних

бетонних сумішей

Витрата цементу, кг/м^3	Коефіцієнт α при В/Ц, рівному				
	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	1,46	-	-	-

Примітки: 1. При інших значеннях Ц і В/Ц коефіцієнт α знаходять інтерполяцією.

2. Значення коефіцієнта α наведені при водопотребі піску 7%. Якщо водопотреба використаного дрібного піску більша 7%, коефіцієнт α зменшують на 0,03 на кожний відсоток збільшення водопотреби піску; якщо водопотреба крупного піску менша 7%, коефіцієнт α збільшують на 0,03 на кожний відсоток зменшення водопотреби піску

Розв'язавши спільно ці дві рівності, отримаємо вираз для визначення витрати щебеню (гравію), у кг на 1 м^3 бетонної суміші:

$$Щ(Г) = \frac{1}{\alpha V_{ПЩ(Г)} / \rho_{нщ(г)} + 1/\rho_{щ(г)}}. \quad (5.8)$$

Після визначення витрати щебеню (гравію) розраховують витрату піску, кг/м^3, як різницю між проектним об'ємом бетонної суміші та сумою абсолютних об'ємів цементу, води та крупного заповнювача:

$$П = [1-(Ц/\rho_ц + В/\rho_в + Щ(Г)/\rho_{щ(г)})]\rho_п \quad . \quad (5.9)$$

Визначивши витрату компонентів Ц, В, П, Щ(Г) на 1 м^3 бетонної суміші, обчислюють її розрахункову густину

$\rho_{см}$ =Ц+В+П+Щ+(Г), кг/м^3, та коефіцієнт виходу бетону діленням об'єму бетонної суміші в ущільненому стані (1м^3) на суму об'ємів сухих складових, витрачених на її виготовлення:

$$\beta = 1/(V_ц + V_п + V_{щ(г)}) = 1/(Ц / \rho_{нц} + П / \rho_{нп} + Щ(Г) / \rho_{нщ(г)}) \quad , \quad (5.10)$$

де $V_ц + V_п + V_{щ(г)}$ - об'єм сухих складових, витрачених на виготовлення 1 м^3 бетонної суміші, м^3; $\rho_{нц}$, $\rho_{нп}$, $\rho_{нщ(г)}$ - насипна густина сухих матеріалів, кг/м^3. Для важких бетонів значення коефіцієнта виходу як правило знаходиться у проміжку 0,6…0,75.

При визначенні виробничого складу враховують вологість заповнювачів і коригують їх витрату, а також витрату води на 1 м^3 бетонної суміші. При вологості піску $W_п$ і щебеню $W_щ$(%) відкориговані витрати заповнювачів $П_В$, $Щ_В$ і води $В_В$ (кг/м^3) дорівнюватимуть:

$$\left.\begin{array}{r} П_В = П\,(1 + W_п / 100),\ Щ_В = Щ\,(1 + W_щ / 100), \\ В_В = В - П\,W_п / 100 – Щ\,W_щ / 100). \end{array}\right\}$$

Дозування складових бетонної суміші (кг) на один заміс бетонозмішувача з корисним об’є-мом барабана $V_{б.сум.}$(л) виконують з урахуванням коефіцієнта виходу бетону за формулами:

$$\left.\begin{array}{r} Ц_Д = \beta\ Ц\ V_{б.сум.} / 1000;\quad В_Д = \beta\ В\ V_{б.сум.} / 1000; \\ П_Д = \beta\ П\ V_{б.сум.} /1000;\quad Щ\,(Г)_Д = \beta\ Щ\ (Г)\ V_{б.сум.} / 1000. \end{array}\right\} \quad (5.12)$$

Приклад 1. Підібрати склад важкого бетону класу В20 ($R_б$=30 МПа для бетонування монолітних балок та колон середнього перерізу (рухливість бетонної

суміші ОК = 2..4 см) і розрахувати витрату матеріалів на заміс в бетонозмішувачі з корисним об'ємом барабана 1200 л.

Характеристика вихідних матеріалів: портландцемент активністю $R_ц$ = 46 МПа, насипна густина сухих складових $\rho_{нц}$=1200 кг/м^3; $\rho_{нп}$=1500 кг/м^3; $\rho_{нщ}$=1600 кг/м^3; їх дійсна густина $\rho_ц$ =

=3100 кг/м^3; $\rho_п$=2600 кг/м^3; $\rho_щ$=2700 кг/м^3; пустотність гранітного фракційованого щебеню $V_{п.щ}$=0,41; найбільша крупність зерен щебеню 40 мм; вологість крупного кварцевого піску $W_п$=4%; вологість щебеню $W_щ$=1%.

Водоцементне відношення обчислюємо за формулою (5.3):

$$В / Ц = \frac{AR_ц}{R_б + 0{,}5AR_ц} = \frac{0{,}65 \cdot 46}{30 + 0{,}5 \cdot 0{,}65 \cdot 46} = 0{,}67$$

.

Значення коефіцієнта А=0,65 вибране за табл.4 як для високоякісних матеріалів.

Витрату води на 1 м^3 бетонної суміші визначають за табл. 6, враховуючи задану осадку конуса бетонної суміші ОК=2…4 см. Для отримання такої рухливості бетонної суміші з використанням в якості крупного заповнювача щебеню з найбільшою крупністю зерен 40 мм витрата води повинна складати 175 л/м^3.

Витрату цементу за формулою (5.5): Ц=В/(В/Ц)=175/0,67=261 кг/м^3.

Витрата щебеню в сухому стані за формулою (5.8):

Щ = 1 /(1,3·0,41/1600+1/2700) = 1422 кг/м^3.

Значення коефіцієнта розсуву зерен α=1,3 вибране за табл.8.

Витрата піску в сухому стані за формулою (5.9):

П = [1–(260/3100+175/1000+1422/2700)]·2600 = 556 кг/м^3.

В результаті виконаних розрахунків отримали наступний номінальний (лабораторний) склад бетону, кг/м^3:

Цемент. 261

Вода. 175

Пісок 556

Щебінь. 1422

Всього: 2414

Отримана сума витрат компонентів є розрахунковою щільністю (густиною) бетонної суміші, тобто $\rho_{б.см.}$ = 2414 кг/м^3.

Коефіцієнт виходу бетону обчислюють за формулою (5.10):

$\beta = 1/(261/1200+566/1500+1422/1600) = 0,67$.

Перейдемо до виробничого складу бетону з урахуванням фактичної вологості заповнювачів. Витрата цементу залишиться незмінною, а витрату інших компонентів відкоригуємо за формулами (5.11):

$П_В = 556(1+4/100)=578$ кг/м^3;

$Щ_В = 1422(1+1/100)=1436$ кг/м^3;

$В_В = 175-556\cdot4/100-1422\cdot1/100)=139$ л/м^3.

Остаточний виробничий склад бетону, кг/м^3:

Цемент. . . . 261

Вода. 139

Пісок 578

Щебінь. . . . 1436

Всього: . . . 2414

Дозування компонентів на заміс бетонозмішувача виконаємо за формулами (3.12):

$Ц_Д = 0,67\cdot261\cdot1200/1000 = 210$ кг;

$В_Д = 0,67\cdot139\cdot1200/1000 = 112$ кг;

$П_Д = 0,67\cdot578\cdot1200/1000 = 465$ кг;

$Щ_Д = 0,67\cdot1436\cdot1200/1000 = 1155$ кг.

Вправа 2. Проектування складу гідротехнічного бетону

Склад гідротехнічного бетону можна проектувати розрахунково-експериментальним методом Дворкіна Л.Й.– Шушпанова В.А. Даний метод дозволяє визначати склад бетону потрібної міцності та морозостійкості при заданій рухливості бетонної суміші та введенні пластифікуючих і повітряновтягувальних добавок.

1. Розрахунок потрібного вмісту повітря в бетоні заданої морозостійкості.

Із усіх видів пор в бетоні найбільший вплив на його морозостійкість мають:

- об'єм контракційних пор $V_к$(л/м^3), які утворилися в результаті зменшення об'єму цементного каменю до 28 діб нормального твердіння бетону:

$$V_к = 120Ц / \rho_ц , \quad (5.13)$$

де Ц – витрата цементу, кг/м^3; $\rho_ц$ = 3100 кг/м^3 – дійсна густина цементу;

- об'єм капілярних пор $V_л$ (л/м^3), який характеризується об'ємом льоду в бетоні при стандартному методі визначення морозостійкості

$$V_л = (В – 0,27Ц), \quad (5.14)$$

де В – витрата води кг/м^3;

- об'єм повітря, емульгованого добавками ПАР $V_е$ (л/м^3).

Об'єм емульгованого повітря знаходять як різницю між загальним вмістом повітря ($V_о$, л/м^3) та кількістю защемленого повітря ($V_з$) в нормально ущільненій бетонній суміші:

$$V_е = V_о – V_з. \quad (5.15)$$

Об'єм защемленого повітря залежить від осадки конуса (ОК,см) або жорсткості (Ж,с) бетонної суміші і найбільшої крупності заповнювача ($Д_{найб.}$) при даному способі ущільнення і визначається за графіком (рис.2).

Структурний критерій морозостійкості

$$F_к = (V_к + V_e) / V_л \,. \quad (5.16)$$

Прогнозування морозостійкості бетону (F, циклів) виконують за емпіричною залежністю:

$$F = K\,(10^{Fk} - 1), \quad (5.17)$$

де К – коефіцієнт, який залежить від виду цементу і заповнювачів, і визначається за табл. 9.

9.Значення коефіцієнта К в залежності (5.17)

Вид заповнювача	Коефіцієнт К		
	Вміст C_3A у цементі, %		
	C_3A ≤ 6%	C_3A = 6…9%	C_3A ≥ 9%
Пісок кварцевий	425	365	304
Щебінь гранітний	198	170	142
Щебінь доломітовий	100	85	70
Гравій річковий	140	120	100

Необхідну кількість емульгованого повітря V_e (л/м^3) в бетоні заданої морозостійкості можна визначити шляхом перетворення виразів (5.16) і (5.17), з урахуванням формул для $V_к$ і $V_п$, рахуючи $\rho_ц$ = 3100 кг/м^3:

$$V_e = Ц\,[(В/Ц - 0{,}27)F_k - 0{,}04], \quad (5.18)$$

де $F_k = lg(F/K + 1)$.

Кількість повітряновтягувальної добавки типу СНП чи СДО, потрібна для забезпечення необхідного вмісту емульгованого повітря, знаходиться за номограмою (рис. 3).

Для лабораторного контролю загальний вміст повітря (л/м^3) у бетонній суміші можна визначити за формулою:

$$V_o = V_e + V_з \,, \quad (5.19)$$

де V_e визначається за формулою (3.18), а $V_з$ за рис. 2.

2. Визначення основних компонентів бетонної суміші.

При розрахунках за даним методом використовують формулу, яка враховує вплив емульгованого повітря:

$$R_б = AR_ц(Ц/(В + V_e) – 0,5) < 2AR_ц . \quad (5.20)$$

З рівняння міцності бетону (5.20) знаходимо водоповітряноцементне відношення q:

$$q = (В – V_e)/Ц = AR_ц/(R_б + 0,5AR_ц). \quad (5.21)$$

Для бетонів різного марочного віку значення коефіцієнта А приймаємо рівним $А = К_τ \cdot А_{28}$, де $А_{28}$ – значення коефіцієнта А у віці 28 діб, яке визначається за табл. 10, $К_τ$ – коефіцієнт росту міцності бетону в часі, який визначається за табл. 11.

Повітряноцементне відношення $V_e/Ц$ знаходять перетворенням виразу (5.18):

$$V_e/Ц = (В/Ц - 0,27)F_k – 0,04. \quad (5.22)$$

Якщо $V_e/Ц \leq 0$, то немає необхідності в повітряновтягувальній добавці.

Водоцементне відношення визначають за формулою:

$$В/Ц = q – V_e/Ц . \quad (5.23)$$

Водопотребу бетонної суміші при відсутності емульгованого повітря $В_0$ приблизно визначають за табл. 6 і 7. З розрахунку зниження водопотреби бетонної суміші приблизно на 5 л/м^3 на кожний відсоток емульгованого повітря, уточнюють витрату води на 1 м^3 бетону:

$$В = В_о – 0,5V_e = В_о[1 – 0,5 (V_e/Ц) / (В/Ц)] . \quad (5.24)$$

Витрата цементу (кг/м^3): $Ц = В/(В/Ц).$ (5.25)

Кількість защемленого повітря визначають за рис. 2. Об’єм емульгованого повітря V_e =

$= Ц(V_e/Ц).$ Загальний вміст повітря розраховують за формулою (5.19).

Витрату повітряновтягувальної добавки визначають за номограмою на рис. 3.

Витрату крупного заповнювача визначають за формулою:

$$Щ(Г) = 1000/(\alpha V_{пш(г)}/\rho_{н.щ(г)} + 1/\rho_{ц}). \quad (5.26)$$

В даному випадку коефіцієнт розсуву зерен крупного заповнювача бетонної суміші визначається в залежності від водоцементного відношення В/Ц і витрати цементного тіста

(ЦТ = В + Ц/$\rho_{ц}$, л/м^3) за табл. 12.

10. Значення коефіцієнта A_{28} за даними І.М.Грушко

Дрібний заповнювач		Крупний заповнювач			
		Гранітний фракційований або доломітовий щебінь	Фракційований гравій або рядовий щебінь	Рядовий гравій	Щебінь низької якості, забруднений
Піски з водопотребою 6…9%	Кварцевий пісок окатаної форми зерен	0,60 / 0,63	0,55 / 0,56	0,52 / 0,55	0,50 / -
	Рядовий пісок з вмістом пилуватих та глинистих частинок до 3%	0,63 / 0,66	0,58 / 0,61	0,35 / 0,38	0,52 / -

	Чистий пісок з вмістом пилуватих та глинистих частинок до 1%	0,66 0,63	0,58 0,64	0,58 0,61	0,55 -
	Штучний пісок з рваною формою зерен	0,56 0,59	0,52 0,53	0,50 0,52	0,74 -
Піски з водопотребою 9…12%	Кварцевий пісок окатаної форми зерен	0,56 0,59	0,52 0,55	0,50 0,52	0,47 -
	Рядовий пісок з вмістом пилуватих та глинистих частинок до 3%	0,60 0,63	0,55 0,58	0,52 0,55	0,30 -
	Чистий пісок з вмістом пилуватих та глинистих частинок до 1%	0,63 0,66	0,58 0,61	0,55 0,58	0,52 -
	Штучний пісок з рваною формою зерен	0,66 0,69	0,61 0,64	0,58 0,61	0,55 -

Примітки: 1. В чисельнику наведені значення коефіцієнта A_{28} для рухливих бетонних сумішей, а в знаменнику – для помірно жорстких сумішей. 2. Для 90 і 180-добового марочного віку бетону значення коефіцієнта A_{28} необхідно помножити на відповідний коефіцієнт росту міцності за таблицею 11. 3. Водопотреба піску визначається за таблицею 13.

11. Коефіцієнти росту міцності бетону на різних цементах

(за даними ВНДІ ім. Б.Є.Вєдєнєєва)

Вид цементу	Коефіцієнт міцності бетону К у віці, діб			
	7	28	90	180
Алітові портландцементи	0,67…0,73	1,00	1,10…1,25	1,30…1,40
Звичайні портландцементи	0,60…0,70	1,00	1,15…1,35	1,30…1,50
Шлакопортландцемент з добавкою основних шлаків	0,40…0,50	1,00	1,35…1,65	1,55…1,90
Пуццолановий портландцемент з добавкою туфу	0,30…0,60	1,00	1,45…1,75	1,55…1,90
Пуццолановий портландцемент з добавкою опоки	0,50…0,60	1,00	1,25…1,55	1,40…1,65
Алюмінатні портландцементи	-	1,00	1,10…1,14	1,18…1,30

12. Оптимальне значення коефіцієнту α

Витрата цементного тіста ЦТ, л/м^3	Водоцементне відношення, В/Ц							
	0,35	0,40	0,45	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
200	1,08	1,07	1,07	1,12	1,15	1,17	1,19	1,21
250	1,18	1,18	1,19	1,26	1,29	1,33	1,35	1,38
300	1,29	1,30	1,31	1,41	1,46	1,50	1,54	1,54
350	1,41	1,43	1,48	1,58	1,65	-	-	-
400	1,54	1,57	1,61	-	-	-	-	-

Примітки: 1. В табл. 12. наведені значення α при використанні заповнювачів з порожнистістю в пухконасипному стані $V_п = V_щ = 40\%$, питомою поверхнею $U_п = 175$ см^2/см^3 і вмістом емульгованого повітря V_e=0. 2. Із зростанням V_e на 1% α зростає на 0,025. 3. Із зростанням порожнистості піску $V_п$ на 1% α зменшується на 0,014. 4. Із зростанням порожнистості крупного заповнювача $V_щ$ на 1% α зменшується на 0,01. 5. Із зростанням питомої поверхні піску $U_п$ на 10 см^2/см^3 α зменшується на 0,004. 6. Питома поверхня піску визначається за табл. 13.

13. Водопотреба і питома поверхня окремих фракцій кварцевого піску

Показник	Розмір фракцій піску, мм					
	<0,14	0,14 … 0,315	0,315..0,63	0,63 … 1,25	1,25 … 2,5	2,5 … 5,0
Водопотреба за методом Баженова, $В_п$, %	25,85	12,42	6,58	3,17	1,94	1,76
Питома поверхня піску за усередненими даними А.Я.Яшвілі, см^2/см^3	691,65	341,85	174,90	87,45	49,02	19,61

Витрата дрібного заповнювача кг/м^3:

$$П = [1000 – (V_o + Ц/\rho_ц + В/\rho_в + Щ/\rho_щ)]\rho_п . \quad (5.27)$$

3. Експериментальне уточнення розрахункового складу бетону з повітряновтягувальними добавками.

На пробному замісі при розрахунковому складі бетону і постійному водоцементному відношенні шляхом регулювання водовмісту бетонної суміші добиваються необхідної легковкладальності. При цьому слід враховувати необхідне зменшення осадки конуса бетонної суміші з повітряновтягувальними добавками для заданої легковкладальності (табл. 14).

14. Осадка конуса бетонних сумішей однакової легковкладальності

Вид бетонної суміші	Осадка конуса ОК, см
Бетонна суміш без повітряновтягувальних добавок	2…4 4…8 8…12
Бетонна суміш з повітряновтягувальними добавками на звичайних пісках середньої крупності	1…3 3…6 6…10
Бетонна суміш з повітряновтягувальними добавками на дрібнозернистих пісках	1…2 2…5 5…8

При відкоригованій потребі повітря бетонної суміші виконують перерахунок складу і, регулюючи витрату повітряновтягувальної добавки, домагаються потрібного вмісту повітря при випробуванні на компресійному вимірювачі повітря. Прискорено відкоригувати вміст повітря можна порівнянням фактичної і розрахункової середньої густини. Розрахункова середня густина бетонної суміші (кг/м^3):

$$\rho_{бет.см} = (Ц + В + П + Щ)/1000. \quad (5.28)$$

Цементно-водне відношення уточнюють шляхом виготовлення трьох серій зразків-кубів з відкоригованою

витратою води і кількістю повітряновтягувальної добавки при різних витратах цементу в наступній серії: $Ц_1$ = Ц; $Ц_2$ = 0,9Ц; $Ц_3$ = 1,1Ц, де *Ц = В/(В/Ц)* – розрахункова витрата цементу при відкоригованій водопотребі бетонної суміші.

Після визначення міцності зразків в потрібному віці будують залежність $R_б$ = f(Ц/В), по якій коригують цементно-водне відношення, і отже, витрату цементу. Остаточні значення В/Ц і Ц повинні задовольняти проектним вимогам міцності і морозостійкості.

Приклад 2. Розрахувати гідротехнічний бетон з проектною міцністю $R_б$ = 20 МПа у віці 180 діб марки F200 при ОК = 3 см. Вихідні матеріали: портландцемент М400 (C_3A=6%); дрібний заповнювач – кварцевий пісок з водопотребою $В_п$=9,5%, дійсною густиною $ρ_п$=2,56 г/см^3, насипною густиною $ρ_{н.п.}$=1,42 т/м^3 і питомою поверхнею $U_п$=218см^2/см^3; крупний заповнювач – щебінь рядовий фракції 5-40 мм, дійсна густина $ρ_щ$=2,61 г/см^3, насипна густина $ρ_{н.щ.}$=1,45 т/м^3, повітряновтягувальна добавка – СНП.

Визначаємо коефіцієнт А відносно до 180-добового віку (табл. 10, 11):

$А = К_τ А_{28}$ = 1,4×0,55 = 0,77.

Водоповітряноцементне відношення знаходимо за формулою:

$q = AR_ц/(R_б + 0,5AR_ц)$ = 0,77×40/(20+0,5×0,77×40) = 0,87.

Визначаємо повітряноцементне відношення. За табл. 9 коефіцієнт К=170, а величину F_k знаходимо за формулою:

$F_k = lg(F/К + 1) = lg(200/170 + 1)$ = 0,336 , тоді

$V_e/Ц = F_k(q–0,27)–0,04$ = 0,336(0,87–0,27)–0,04 = 0,16.

Водоцементне відношення В/Ц = q – Ve/Ц = 0,87 – 0,16 = 0,71.

Для розрахунку водопотреби бетонної суміші (В) за табл. 6 знаходимо водопотребу ($В_о$) для бетонної суміші без

повітряновтягувальних добавок $В_о$ = 165 + 10 = 175 кг/м^3, потім визначаємо потрібну кількість води (формула 5.24):

$В = В_о[1–0,5(V_е/Ц)/(В/Ц)] = 115(1– 0,5×0,16/0,71)=156$ кг/м^3.

Витрата цементу: Ц = В/(В/Ц) = 156/0,71 = 220 кг/м^3.

Визначаємо кількості емульгованого повітря:

$V_е = V_е/Ц \cdot Ц = 0,16×220 = 35,2$ л/м^3 = 3,5%.

Загальна кількість повітря в суміші:

$V_о = V_е + V_з = 3,5 + 0,8 = 4,3\% = 43$ л/м^3 ,

де кількість защемленого повітря $V_з$=0,8% визначається за рис. 2.

Для визначення витрати щебеню визначаємо його порожнистість

$V_{пор.щ} = (ρ_щ – ρ_{н.щ.})/ρ_щ = (2,61 – 1,45)/2,61 = 0,44$,

і порожнистість піску:

$V_{пор.п} = (ρ_п – ρ_{н.п.})/ρ_п = (2,56 – 1,42)/2,56 = 0,45$.

Витрата цементного тіста ЦТ = $В_о$+Ц/$ρ_ц$ = 156+220/3,1=227 л/м^3.

Потім за табл. 12 при В/Ц = 0,71 з урахуванням поправок і інтерполяцій визначаємо

α = 1,24+0,025×3,5-0,014(0,45–0,40)-0,01(0,44–0,40) = 1,33.

Витрату щебеню визначаємо за формулою:

$Щ = 1000/(\alpha V_{пор.щ.}/ρ_{н.щ.}+1/ρ_щ) = 1000/(1,33×0,44/1,45 + 1/2,61) = 1271$ кг/м^3.

Витрату піску визначаємо за формулою:

$П = [1000–(V_о+Ц/ρ_ц+В/ρ_в+ Щ/ρ_щ)]ρ_п = [1000–(43+220/3,1 + 156/1,0+1271/2,61)]×2,56 =$

$= 622$ кг/м^3.

Витрату повітряновтягувальної добавки СНП 0,06 кг/м^3 знаходимо за номограмою.

Таблиця 4.1

Витрати матеріалів на 1 м^3 піску.

Марка розчину	Рекомендо-вана марка в'яжучого	$R_в \cdot m_в$	Витрата в'яжучого на 1 м^3	
			піску	розчину
200	500	180	360	410
	400		450	490
	500		280	330
150	400	140	350	400
	300		470	510
	500		205	245
100	400	102	255	300
	300		340	285
	500		160	195
	400		200	240
75	300	81	270	310
	200		405	445
	400		140	175
50	300	56	185	225
	200		280	325
25	200		155	190

Примітка: $R_б$ – активність в'яжучого, $m_в$ – маса в'яжучого. Наведені витрати в'яжучих належать до цементно–вапняних та цементно–глиняних розчинів і піску у рихло–сипучому стані при вологості 3–7%.

В.І.Сорокером для оцінки якості піску введений показник – модуль ефективності $M_{еф}$, л, який показує, яка кількість цементного тіста потрібно для заповнення порожнин і змащення поверхні зерен у 1 кг піску:

$$\mathbf{M_{еф} = \frac{\rho_п - \rho_{н.п}}{\rho_п \cdot \rho_{н.п}} + 0{,}013 \cdot S},$$

де $\rho_п$ – дійсна густина піску, кг/л; $\rho_{н.п}$ – насипна густина

піску в віброваному стані, кг/л; S – питома поверхня піску, $м^2/кг$.

5. Штучні безвипалювальні кам'яні матеріали

За табл. 5.1 необхідна активність суміші, тобто вміст активного CaO, % до маси сухої суміші, $А_{см}$=19%.

Витрата вапна

$$\mathbf{Вп} = \frac{\mathbf{A_{см}}}{\mathbf{A_{Вп}}} \cdot \mathbf{k} \cdot \rho_{\mathbf{о.г}} = \frac{\mathbf{19}}{\mathbf{70}} \cdot \mathbf{0{,}9} \cdot \mathbf{600} = \mathbf{147\ кг/м^3}$$

де k – коефіцієнт, враховуючий кількість гідратної води, k=0,85–0,95).

Таблиця 5.1

Вміст актив-ного CaO, % до маси сухої суміші	Межа міцності при стиску, МПа, при середній густині сухого газосилікату, $кг/м^3$							
	300	400	500	600	700	800	900	1000
16	0,5	1,5	2,3	4,1	5,9	7,5	9,0	11,0
17	0,7	1,7	2,5	4,3	6,1	8,0	9,6	11,8
18	0,8	1,8	2,7	4,6	6,5	8,4	10,3	12,6
19	0,9	1,85	2,9	5,0	7,0	8,8	11,0	13,3
20	1,0	1,9	3,0	5,2	7,3	9,2	11,6	14,2
21	1,1	2,0	3,2	5,3	7,6	9,7	12,3	15,0

Витрату алюмінієвої пудри розрахувати за формулою

$$\mathbf{Al} = \frac{\mathbf{v} - \left(\frac{\mathbf{Вп}}{\rho_{\mathbf{Вп}}} + \frac{\mathbf{П}}{\rho_{\mathbf{п}}} + \mathbf{В} \right)}{\mathbf{k} \cdot \alpha},$$

де v – об'єм газобетонної суміші; Вп, П і В – відповідно витрата вапна, піску і води, кг; $\rho_{Вп}$ і $\rho_п$ – дійсна густина вапна і піску (прийняти $\rho_{Вп}$=2,5 г/см^3, $\rho_п$=2,65 г/см^3); k – кількість газу, який отримують із 1 г алюмінієвої пудри при температурі 38–40°, рівна 1,4 л; α – коефіцієнт використання алюмінієвої пудри (α≈0,8).

Приклад 1. . Розрахувати витрату матеріалів на заміс дрібнозернистого шлаколужного бетону.

Вологість суміші w=13%, маса одного замісу

Рис. 5.1. Графік залежності водотвердого відношення та витрати алюмінієвої пудри від середньої густини газосилікату: похилі лінії – витрата алюмінієвої пудри, % від маси твердих матеріалів: верхнє значення – для піску з питомою поверхнею 3500 см^2/г; нижнє – 2500 см^2/г.

$m_з$=350 кг (прийнята із урахуванням коефіцієнта виходу із бетонозмішувача 0,6). Місткість бетонозмішувача $v_{б.м}$=250 л, середня густина бетону $\rho_{о.б}$=2300 кг/м^3. Склад суміші, %: заповнювача – 75, шлаку – 25. Суміш замішується 15%–м розчином соди (ρ_c=1,15 кг/л).

Необхідна кількість води $B=m_з \cdot w/(100+w)=350 \cdot 13/110=40,26$ кг.

Для визначення кількості соди складаємо пропорцію:

0,085 кг води – 0,015 кг соди

40,26 кг води – х кг соди

$x=40,26 \cdot 0,015/0,085=7,1$ кг.

Загальна кількість шлаку і заповнювача

$$Ш+З=m_з–B–x=350–40,26–7,1=303 \text{ кг.}$$

Кількість заповнювача $З=303 \cdot 75/100=227$ кг.

Кількість шлаку Ш=303–227=76 кг.

Об’єм розчину соди $v_c=(B+x)/\rho_c=(40,26+7,1)/1,15=41,18$ л.

6. Деревинні матеріали

Рівноважну вологість деревини визначаємо по діаграмі Н.Н.Чулицького (рис. 6.1.).

При зволоженні сухого бруска його лінійні розміри збільшуються за рахунок розбухання деревини, що відповідає межі насичення, $w_{м.н}$=30%. При цій вологості характерне максимальне розбухання деревини P_{max}:

$$\mathbf{P_{max} = \frac{a_{max} - a_0}{a_0} \cdot 100 = 30 \cdot k_p},$$

де k_p – коефіцієнт розбухання.

Коефіцієнт розбухання k_p пов’язаний із коефіцієнтом усушки залежністю $k_p=100 \cdot k_y \cdot (100–30 \cdot k_y)$.

Вологість, яка характеризує максимальне водопоглинання деревини, знаходять за формулою

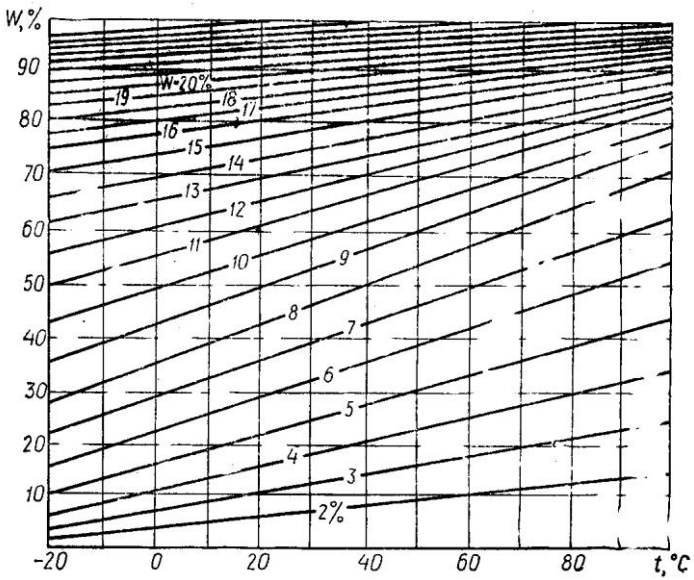


Рис. 6.1. Діаграма Н.Н.Чулицького для визначення рівноважної вологості деревини.

$$w_{max} = w_{п.н} + \frac{(\rho_{д.р} - \rho_0) \cdot \rho_в}{\rho_{д.р} \cdot \rho_0} \cdot 100,$$

де $w_{п.н}$ – вологість межі насичення кліткових стінок ($w_{п.н}$=30%); $\rho_в$ – густина води.

Приклад 1. Визначити орієнтовно границю міцності при стиску повздовж волокон і при статичному згині зразків деревини сосни і дуба, якщо відомо, що кількість m пізньої деревини у них становить відповідно 20 і 80%.

Кількість пізньої деревини, %, підраховується на торцевих зрізах деревини вимірюванням пізньої зони річних шарів із точністю до 0,1 мм на відстані 15–20 мм.

Для розв'язку використовуємо емпіричні формули.

Для деревини сосни

$$\mathbf{R_{ст12}=0,6\cdot m+30=0,6\cdot 20+30=42\ МПа;}$$

$$\mathbf{R_{зг12}=1,4\cdot m+56=1,4\cdot 20+56=84\ МПа.}$$

Для деревини дуба

$$\mathbf{R_{ст12}=0,32\cdot m+29,5=0,32\cdot 80+29,5=55,1\ МПа;}$$

$$\mathbf{R_{зг12}=0,43\cdot m+47,5=0,43\cdot 80+47,5=81,9\ МПа.}$$

7. Матеріали на основі органічних в'яжучих

Кількість тугоплавкого бітуму $Б_т$, %, який вводиться в розплавлений бітум, можна знайти за формулою

$$\mathbf{Б_т = \frac{t - t_м}{t_т - t_м} \cdot 100}.$$

Кількість тугоплавкого бітуму $Б_т$, %, який вводиться в розплавлений бітум, можна знайти за формулою

$$\mathbf{Б_т = \frac{t - t_м}{t_т - t_м} \cdot 100}.$$

При використанні матеріалів, які суттєво відрізняються за густиною, частковий вміст кожного компонента множиться на поправочний коефіцієнт

$$k_x=\rho_2/\rho_1,$$

де ρ_1 – дійсна густина матеріалу, кількість якого переважає в суміші; ρ_2 – дійсна густина непереважаючого матеріалу.

Таблиця 8.1

Матеріал	Дольова частка	Вміст зерен, %, крупніших (мм)								
		15	10	5	3	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Щебінь граніт-ний	—	5	55	90	100	100	100	100	100	100
Пісок кварцо-вий	—	—	—	—	—	30	63	75	90	97
Порошок вапняко-вий	—	—	—	—	—	—	3	5	10	20
Рекомендовані ГОСТ 9128–84 межі сумарних залишків:	—	0–15	0–30	35–50	48–62	61–72	71–80	78–86	84–91	88–94
щебінь	0,54	2,7	30	49	54	54	54	54	54	54
пісок	0,35	—	—	—	—	10	22	26	31	34
порошок вапняко-вий	0,11	—	—	—	—	—	0,33	0,55	1,1	2,2
Сумарні залишки на ситах		2,7	30	49	54	64	78	81	86	90

Потрібна кількість бітуму визначають за формулою

$$\mathbf{Б} = \frac{(\mathbf{П}_{\text{м.ч}} - \mathbf{П}_{\text{о}}) \cdot \rho_{\text{б}}}{\rho_{\text{о}}},$$

де $П_{м.ч}$ – порожнистість мінеральної частини випробуваних зразків, %; $П_0$ – задана остаточна пористість асфальтобетону, %; $\rho_б$ – дійсна густина бітуму при 20˚С, г/см^3;ρ_0 – середня густина мінеральної частини асфальтобетону

Для доріг із підвищеною шорсткістю покриття необхідно, щоб міжщебеневий простір був заповнений асфальтовим розчином без розсуву зерен щебеню. У відповідності з цією умовою витрата щебеню повинна бути

$$Щ = \frac{1}{1 + П_{щ} \cdot \frac{\rho_р}{\rho_{о.щ}}} \cdot 100,$$

де $\rho_р$ – густина асфальтового розчину, орієнтовно рівна 2,3 г/см^3;

Витрату піску знайдемо із співвідношення

$$\frac{П}{Щ} = \frac{П_{щ} \cdot \rho_{о.п}}{\rho_{о.щ}},$$

Приклад 1. . Визначити склад полімерного розчину в процентах. Середня густина піску $\rho_{о.п}$=1440 кг/м^3, порожнистість піску $П_п$=40%, співвідношення полімерного в'яжучого і наповнювача П/Н=0,4, дійсна густина наповнювача $\rho_н$=2,67 кг/м

[3]. Коефіцієнт зручновкладальності розчину $k_у$=0,5.

Одна частина за масою полімерної мастики може заповнити порожнини піску в наступній кількості:

$$П = \rho_{о.п} \cdot \frac{\frac{1}{\rho_н} + \frac{П}{Н}}{П_п + k_у} = 1,44 \cdot \frac{0,375 + 0,4}{0,4 + 0,5} = 1,24.$$

Таким чином, полімерна мастика і пісок у розчині повинні знаходитись в частках за масою – 1 : 1,24 або в % – 44,65 і 55,35. Враховуючи співвідношення полімеру і

наповнювача в складі мастики, склад розчину можна виразити наступним чином, %: полімер – 12,75; наповнювач – 31,9; пісок – 55,35.

Література

1. Дворкін Л. Й., Лаповська С. Д. Будівельне матеріалознавство. Рівне : НУВГП, 2016. 448 с. URL: http://ep3.nuwm.edu.ua/4741/
2. Дворкін Л. Й., Гарніцький Ю. В., Шестаков В. Л., Дворкін О. Л., Ніхаєва Л. І. Будівельне матеріалознавство. Рівне : УДУВГП, 2002. 366 с.
3. Будівельне матеріалознавство : підручник / П. В. Кривенко, К. К. Пушкарева, В. Б. Барановский и др. К. : "Лира–К", 2012. 624 с.
4. Дворкін Л. Й., Бордюженко О. М. Будівельне матеріалознавство. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне : НУВГП, 2006. 178 с. URL: http://ep3.nuwm.edu.ua/1820/
5. Дворкін Л. Й. Будівельне матеріалознавство (підручник). Рівне : НУВГП, 2009. 308 с.
6. Будівельне матеріалознавство: Цементи, бетони і розчини : навч. посіб. / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, О. М. Бордюженко та ін. ; за ред. Л. Й. Дворкіна. Рівне : НУВГП, 2007. 226 с. URL: http://ep3.nuwm.edu.ua/2284/