

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторно-практичних робіт
по будівельних матеріалах

Будівельні розчини та важкі бетони

Вінниця ВДТУ 2002

- Вінниця : ВДТУ 2002 р.

Укладач : В.П. Очеретний, к.т.н.

В.П. Ковальський к.т.н.

БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ **Лабораторні роботи № 1, 2, 3**

Будівельним розчином називають затверділу до каменеподібного стану раціонально підбрану суміш в'язучої речовини, дрібного заповнювача (піску), води і в необхідних випадках - спеціальних добавок (мінеральних, органічних, поверхнево-активних тощо). До затвердіння ця суміш називається розчинною. Будівельні розчини за складом і структурою в дрібнозернистими бетонами.

Як в'язучі для приготування розчинів застосовують різні будівельні матеріали: цемент, вапно, гіпс тощо. В'язуча речовина, розчинена водою, утворює пластичне тісто, яке покриває частки піску і заповнює порожнечу між ними. У процесі твердіння в'язуча речовина міцно скріплює частки піску між собою, утворюючи штучний кам'яний матеріал.

Розчини, виготовлені на одному в'язучому, називають простими (цементні, вапняні, гіпсові), а на декількох в'язучих - змішаними, або складними (цементно-вапняні, цементно-глиняні, вапняно-гіпсові та інші). Розчини середньою щільністю більш 1500 кг/м^3 називаються важкими. До легких відносяться розчини середньою щільністю менше 1500 кг/м^3 . За міцністю при стиску будівельні розчини мають марки, кгс/см^2 : 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 і 300; за морозостійкістю - марки 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200 і 300.

Будівельні розчини застосовуються для різноманітних видів кам'яної кладки, при монтажі будинків з панелей і крупних блоків, для зовнішніх і внутрішніх штукатурок, архітектурної обробки лицьових поверхонь стінових блоків і панелей, для гідроізоляції та інших цілей.

Підбір складу розчину

Підбір складу розчину заключається у встановленні найбільш раціонального співвідношення між складовими його компонентами (цементом, пластифікуючим мінеральним домішком, водою і піском), яке повинно забезпечити задані рухливість розчинної суміші і марну розчину до визначеного часу твердіння.

1.1. Початкові дані

Підібрати склад розчину марки $R_p = \underline{\hspace{2cm}}$ для кладки стін $\underline{\hspace{2cm}}$ цегли. В'язучі - портландцемент марки $R_{II} = \underline{\hspace{2cm}}$ насипна щільність $\rho_{н.н.} = \underline{\hspace{2cm}}$ кг/м^3 ; неорганічна добавка - вапняне тісто середньою щільністю $\rho_{м.с.} = \underline{\hspace{2cm}}$ 1400 кг/м^3 . Пісок $\underline{\hspace{2cm}}$ насипна щільність $\rho_{н.н.} = \underline{\hspace{2cm}}$ вологість $W = \underline{\hspace{2cm}}$. Рухливість розчинної суміші приймається за таблиці 1 у залежності від призначення розчину.

Таблиця 1

Призначення розчину	Рухливість, см
Для кладки стін з суцільної цегли і бетонних каменів	9...13
Для кладки стін з пористої цегли і пористих керамічних каменів	7...8
Для заповнення швів при монтажі стін з бетонних панелей і крупних блоків	5...7
Для бутової кладки	4...6

1.2. Розрахунок витрати матеріалів на 1 м³ піску

Витрата цементу за масою, кг:

$$Ц = \frac{R_p + 0,05KR_u - 4}{KR_u} \cdot 1000$$

де: K – коефіцієнт, що залежить від якості піску (крупний – 2,2; середній – 1,8; дрібний – 1,4.)

При застосуванні сухого піску витрати цементу збільшуються на 5%, а при вологості піску більш як 3% витрати цементу зменшуються на 10%. Тоді витрата цементу буде складати, кг,

$$Ц =$$

Витрата цементу за об'ємом, л

$$V_u = \frac{Ц}{\rho_{н.ц}} \cdot 1000 ;$$

Витрата неорганічної добавки, л:

$$V_o = 170(1 - 0,002Ц) ;$$

Маса витрати добавки, кг:

$$Д = V_o \rho_{т.в} ;$$

Витрата води наближується так:

$$B = 0,88(Ц + Д) / \text{кг} /$$

$$V = B / \text{л} /$$

Фактичні витрати води уточнюють методом послідовних наближень на випробувальних лабораторних сумішах до одержання розчинної суміші заданої рухливості.

Витрата піску за масою, кг,

$$П = V_n \rho_{н.п.}$$

1.3 Приготування пробного лабораторного замісу об'ємом $V_u=4\text{л}$

Витрати компонентів на лабораторний заміс
Об'єм піску дорівнює об'єму замісу:

$$V_{н.л} = 4л = 0,004м^3$$

Витрата піску за масою, кг:

$$П = V_{н.л} \cdot \rho_{н.л.}$$

Витрата цементу за масою, кг:

$$Ц = ЦV_{л.};$$

Витрати добавки за масою, кг:

$$Д = DV_{л.};$$

Витрата води, кг:

$$В = B * V_{л.}$$

За цією дозировкою приготують розчинну суміш, завантажуючи складові матеріали в розчиномішалку в такій послідовності: цемент, вода, пісок. Тривалість перемішування повинна складати не менше 4 хв., з моменту завантаження матеріалів у розчиномішалку.

При приготуванні розчинної суміші вручну виконують такі операції у чашу насипають пісок, цемент і вносять добавку, потім перемішують лопаткою на протязі 5 хв., після чого добавляють воду і остаточно перемішують на протязі 3...5 хв.

Після приготування розчинної суміші за допомогою конуса БудЦНІЛ визначають її рухливість.

1.4. Визначення рухливості розчинної суміші

Рухливість - це здатність суміші розчинної розтікатися тонким шаром по поверхні каменя і заповнювати всі нерівності основи під дією особистої ваги або з мінімальними витратами енергії. Рухливість визначають за глибиною занурення в розчинну суміш стандартного конуса БудЦНІЛ, висота якого 145 мм, діаметр основи 75 мм, кут при вершині 30°, маса із штангою 300 г.

Для визначення рухливості наповнюють посудину розчинною сумішшю на 1 см нижче її країв. Вкладену суміш ущільнюють і 25-разовим штикуванням металевим стержем діаметром 10...12 мм і легким постукуванням посудини по столу. Вістря конуса опускають на поверхню суміші і в цьому стані закріплюють штангу зажимним гвинтом, відмічаючи положення стрілкипоказника на шкалі, потім відпускають зажимний гвинт, давши конусу можливість вільно занурюватися а розчин на протязі 10 с. Через 10 с з точністю до 2 мм за шкалою визначають глибину занурення конуса, яка характеризує ступінь рухливості розчинної суміші.

Рухливість визначають як середнє арифметичне двох випробувань. Друге випробування виконують з новою порцією розчину. Якщо занурення конуса виявилось більше від заданого, в суміш добавляють 5... 10% піску знову

перемішують її і визначають рухливість. Якщо занурення конуса виявилось менше від заданого, в суміш додавають 5...10% води і визначають рухливість. Пробний лабораторний заміс коректують до одержання заданої рухливості.

Припустимо, що рухливість розчинної суміші виявилась менше від заданої. У цьому випадку до лабораторного замісу необхідно додати 10% води. Після цього отримали задану рухливість.

Результати визначення рухливості заносять у таблиці 2.

Показник	Номер замісу				
	1	2	3	4	5
Добавка:					
води					
піску					
Рухливість, см					

Таблиця 2

Тоді фактичні витрати матеріалів на лабораторний заміс складають:

$$B_{л} = 1,1B \quad \text{кг/л};$$

$$Ц_{л} = Ц = \quad \text{кг};$$

$$П_{л} = П = \quad \text{кг}.$$

Фактичні втрати води на 1 м^3 піску, кг/л :

$$B_{\phi} = \frac{B_{л} \cdot 1000}{V_{л}} \text{ кг/л};$$

Фактична сумарна витрата компонентів за масою на 1 м^3 піску, кг:

$$\sum M = П + Ц + Д + B_{\phi}$$

Фактичний об'єм розчинної суміші, одержаний з 1 м^3 піску, м^3 :

$$V_{p} = \frac{\sum M}{\rho_{m}},$$

де: ρ_{m} – середня щільність розчинної суміші.

1.5. Визначення середньої щільності розчинної суміші

Середню щільність розчинної суміші визначають за допомогою мірного циліндра об'ємом 1 л (1000 см^3). Попередньо зважений циліндр масою m з надлишком заповнюють розчинною сумішшю, яку ущільнюють так, як і при визначенні рухливості. Потім надлишок суміші зрізують урівень з краями і з точністю до 5 г зважують циліндр з сумішшю, визначаючи m_1 . Середню щільність розчинної суміші обчислюють як середнє арифметичне двох визначень за різницею мас m і m_1 поділене на об'єм циліндра.

Результати заносять у таблицю 3.

Таблиця 3

Показник	Дослід		
	1	2	Середнє
Об'єм мірного циліндра, см ³			
Маса мірного циліндра, г			
Маса циліндра з розчином, г			
Середня щільність, г/см ³			
Середня щільність, кг/см ³			

1.6 Коректування складу розчину

Оскільки фактичний об'єм розчинної суміші не дорівнює 1 м³, то коректують склад розчину.

Фактичні витрати матеріалів на 1 м³ розчину. Витрати, кг/м³:

піску:
$$\Pi_p = \frac{\Pi}{V_p}; V_{н.п.} = \frac{\Pi_p}{\rho_{н.п.}}$$

цементу:
$$\Ц_p = \frac{\Ц}{V_p}; V_{ц.р.} = \frac{\Ц_p}{\rho_{н.ц.}}$$

добавки:
$$\mathcal{D}_p = \frac{\mathcal{D}}{V_p}; V_{д.р.} = \frac{\mathcal{D}_p}{\rho_{м.д.}}$$

води:
$$B_p = V_{в.р.} = \frac{B_{\phi}}{V_p}$$

Склад розчину виражають у співвідношеннях масових витрат компонентів до масових витрат цементу при конкретному водо-цементному відношенні:

$$\frac{\Ц_p}{\Ц_p} : \frac{\mathcal{D}_p}{\Ц_p} : \frac{\Pi_p}{\Ц_p} \text{ при } B/\Ц = \frac{B_p}{\Ц_p}$$

1.7. Виготовлення і випробування зразків-балочок

З розчинної суміші лабораторного замісу після коректування її складу виготовляють три зразки-балочки розміром 40 x 40 x 160 мм для визначення марки розчину.

З суміші рухливістю менше 4 см зразки виготовляють у трьохсекційних формах з піддоном. Зібрану і змащену машинним маслом форму з насадкою закріплюють на струшуючому столику. Всі три відділення форми на половину їх висоти заповнюють добре перемішаною сумішшю, яку ущільнюють у кожному відділенні десятьма натисками штапелю (площа ущільнюючої поверхні 20x150 мм) і на протязі 30 с струшують 30 раз і знімають насадку.

З суміші рухливістю більше 4 см зразки виготовляють у формах без піддона. Зібрану і змащену форму а насадкою встановлюють на дві цеглини однакової висоти і з рівною поверхнею, укладені рядом на постіль, попередньо покривши цеглу змоченою у воді газетою чи папером.

Як основу для форми застосовують глиняну звичайну цеглу вологістю не більше 2% з водопоглинанням не менше 10% за масою. Потім всі три секції форми в один прийом, заповнюють розчинною сумішшю з деяким надлишком, ущільнюють її в кожній секції 25-разовим штикуванням і знімають насадку. Коли поверхня розчинної суміші стане матовою (внаслідок відсосування з неї частини води цеглою), надлишок суміші зрізують ножем врівень з краями форми і загладжують поверхню.

Форму із зразками на гідравлічних в'язучих на протязі 24 год витримують у камері при температурі (20 ± 3) °C і відносною вологістю не нижче 90%, зразки на повітряних в'язучих витримують теж 24 год., у приміщенні при тій самій температурі і відносній вологості $(65 \pm 10)\%$.

Після цього з моменту виготовлення зразки розформовують таким чином:

- a) зразки з гідравлічних в'язучих на протязі трьох діб зберігають у камері з відносною вологістю не нижче 90%, а весь інший час до випробування у приміщенні з відносною вологістю $(65 \pm 10)\%$, якщо розчин буде тверднути на повітрі, або у воді, якщо розчин буде тверднути у вологому середовищі;
- b) зразки з повітряних в'язучих весь час до випробування зберігаються при відносній вологості $(65 \pm 10)\%$.

Після встановленого стандартом строку зберігання зразки-балочки випробують на згин і стиск. Зразки, що зберігалися на повітрі, очищають щіткою від піщинок та пилюки, а ті, що зберігалися /воді, виймають, протирають вологою тканиною і випробовують не пізніше як через 10 хв. Кожну балочку перед випробуванням вимірюють, з точністю до 1 см^3 обчислюють об'єм, з точністю до 1 г зважують і визначають середню щільність за методикою для зразка правильної геометричної форми.

Результати заносять у таблиці 4.

Таблиця 4

Показник зразка	1	2	3	Середнє
Маса, г				

Габаритні розміри, см				
Об'єм, см ³				
Середня щільність, г/см ³				
Середня щільність, кг/м ³				

Після цього всі три балочки випробовують на згин за допомогою машини МІІІ –100.

Результати заносять у таблиці 5.

Таблиця 5

Показник	1	2	3	Середнє
Відстань між опорами, см				
Габаритні розміри зразка, см				
Межа міцності при згині, Па				

За $R_{п0}$ марка розчину _____

Потім шість половинок балочок випробовують на стиск на гідравлічному пресі ПСУ-10 тою самою методикою, що й для гіпсу та цементу.

Результати випробувань заносять у таблиці 6.

Таблиця 6

Показник	1	2	3	4	5	6
Площа опорної поверхні, см ²						
Руйнуюче навантаження, кг						
Маса міцності при стиску, Па						
Середня межа міцності, Па						

За $R_{п0}$ марка розчину _____

-

ВАЖКИЙ БЕТОН

Лабораторні роботи № 4, 5, 6

Бетоном називають штучний кам'яний матеріал, який одержують у результаті затвердіння раціонально підбраної, добре перемішаної і ущільненої суміші мінерального в'язучого, води, мілкого та крупного заповнювача. До затвердіння ця суміш називається бетонною. Для надання визначених властивостей у бетонну суміш уводять спеціальні домішки. Бетон – широко розповсюджений будівельний матеріал, який застосовується для виготовлення різноманітних за формою і розмірами бетонних і залізобетонних деталей, виробів та конструкцій.

Як в'язуче для приготування бетонів найчастіше використовують різні види цементів. Цемент і вода - активні складові бетонної суміші. Заповнювачі утворюють жорсткий скелет бетону і зменшують його усадку при твердінні цієї суміші. Її властивості в значній мірі визначають якість бетону, тому вони систематично-піддаються контролю при випробуваннях у лабораторії відібраних середніх проб бетонної суміші. Об'єм середньої проби повинен бути не менше 20 л. Відібрану пробу добре перемішують і через 5 хв. (не пізніше) приступають до випробувань.

Склад важкого бетону підбирають у найбільш раціональному співвідношенні між складаючими бетон матеріалами (цементом, водою, піском, щебенем або гравієм), яке повинно забезпечувати задану легкоукладальність (рухливість або жорсткість) бетонної суміші, а також задану міцність бетону до означеного строку твердіння при мінімальних витратах цементу. В окремих випадках до бетону ставлять підвищені вимоги щодо щільності, морозостійкості, водонепроникності і т. ін.

Склад бетону виражають витратами всіх складових його матеріалів за масою на 1 м³ укладеної і ущільненої бетонної суміші або співвідношенням маси складових матеріалів до маси цементу, що приймається за одиницю, тобто 1: X : Y (цемент: пісок: щебінь) при $V/C = Z$. Розрізняють два склади бетону: номінальний (лабораторний) - для матеріалів у сухому стані, виробничий (польовий) - для матеріалів у природно-вологому стані.

Найбільш поширений метод розрахунку складу бетону - метод розрахунку за абсолютним об'ємом, розроблений професором Б.Г.Скрамтаєвим. В основу цього методу покладено умову, що свіжо-виготовлена бетонна суміш після укладення і ущільнення не буде мати порот.

Марка бетону задається згідно з проектом, легкоукладальність згідно з проектом або за нормативними матеріалами. Вид і марку цементу приймають відповідно до вимог типових норм витрат цементу у бетонах збірних бетонних і залізобетонних виробів масового виробництва і рекомендаціями СН 386-81 (таблиця 7).

Таблиця 7

Марка бетону	Марка цементу		
	Твердіння у нормальних умовах	Твердіння при ТВО і відпускній міцності бетону	
		70% марки	85 і 100% марки
100	300	300	Не допускається
150	300	300	400
200	400	400	400
250	400	400	400
300	400	400	500
350	400	400	500
400	500	500	500
450	500	500	600
500	600	600	600

Крупність заповнювача назначають з урахуванням таких вимог:

- 1) найбільший розмір зерен крупного заповнювача не повинен перевищувати 1/3 найменшого розміру конструкцій і 3/4 найменшої відстані між стержнями арматури;
- 2) при бетонуванні плит допускається максимальна крупність зерен заповнювача, яка дорівнює 1/2 товщини плит.

2.1. Початкові дані

Підібрати склад бетону марки $R_b = \underline{\hspace{1cm}}$ на $\underline{\hspace{1cm}}$ піску і щебені $\underline{\hspace{1cm}}$ для залізобетонних конструкцій товщиною $\underline{\hspace{1cm}}$ мм, з середнім ступенем насичуваності арматурою і відстанню між стержнями арматури $\underline{\hspace{1cm}}$ мм.

В'язуче: портландцемент марки $R_c = \underline{\hspace{1cm}}$, щільністю $\rho_c = \underline{\hspace{1cm}}$ г/см³; насипна щільність $\rho_{н.ц.} = \underline{\hspace{1cm}}$ кг/м³.

Пісок: $\underline{\hspace{1cm}}$, щільністю $\rho_p = \underline{\hspace{1cm}}$ г/см³; насипна щільність $\rho_{н.п.} = \underline{\hspace{1cm}}$ кг/м³; вологість $W_p = \underline{\hspace{1cm}}$ %.

Щебінь: найбільша крупність зерен $d_{\max} = \underline{\hspace{1cm}}$ мм, щільністю $\rho_{щ} = \underline{\hspace{1cm}}$ г/см³; насипна щільність

$\rho_{н.щ.} = \underline{\hspace{1cm}}$ кг/м³; вологість $W_{щ} = \underline{\hspace{1cm}}$ %; пустотність $V_{п.щ.} = \underline{\hspace{1cm}}$ %, марка не нижче $\underline{\hspace{1cm}}$.

Рухливість бетонної суміші приймаємо $O_k = \underline{\hspace{1cm}}$ см.

2.2. Орієнтовний розрахунок витрат матеріалів на 1м³ бетонної суміші

З таблиці 8 орієнтовно визначаємо витрати води B (водопотреба бетонної суміші, л/м³) у залежності від заданої легкоукладальності, виду і крупності заповнювача.

Таблиця 8

Легкоукладальність бетонної	Водопотреба бетонної суміші, л/см ³
-----------------------------	--

суміші		Крупність заповнювача, мм							
Осадка конуса, см	Жорсткість, с	Гравій				Щебень			
		10	20	40	70	10	20	40	70
		0	150...200	145	130	120	-	155	140
0	90...120	150	135	125	-	160	145	135	-
0	60...80	160	145	130	-	170	155	145	-
0	30...50	165	150	135	-	175	160	150	-
0	15...30	175	160	145	-	185	170	155	-
1...2		185	170	155	140	195	180	165	155
3...4		195	180	165	145	205	190	175	160
5...6		200	185	170	155	210	195	180	170
7...8		205	190	175	160	215	200	185	175
9...10		215	200	185	170	225	210	190	185

Примітка. Дані справедливі для бетонної суміші на портландцементі і піску середньої крупності. Для пуцоланового портландцементу витрати води збільшують на 20 л, для мілкого піску - на 10 л, для крупного піску - зменшують на 10 л.

Для щебеню крупністю до ___ мм., і рухливістю бетонної суміші ___ см витрата води $B =$ ___ л на 1 м^3 бетонної суміші.

Обчислюємо водоцементне відношення залежно від заданої марки бетону, активності цементу і якості складових матеріалів:

$$\text{при } R_b \leq 1,2 R_{ц}: \frac{B}{Ц} = \frac{AR_{ц}}{R_b + 0,5AR_{ц}};$$

$$\text{при } R_b > 1,2 R_{ц}: \frac{B}{Ц} = \frac{A_1R_{ц}}{R_b + 0,5A_1R_{ц}};$$

де: A, A_1 – коефіцієнти, що враховують якість матеріалів. (таблиці 9)

Таблиця 9

Матеріали	A	A ₁
Високоякісні	0,65	0,43
Рядові	0,60	0,40
Пониженої якості	0,55	0,37

Примітна. До високоякісних матеріалів відносять фракціонований митий щебень високої міцності, пісок оптимальної крупності, портландцемент високої активності без гідралічних домішок; до рядових - щебень середньої якості і гравій, портландцемент середньої активності або високомарочний шлакопортландцемент; до матеріалів пониженої якості - щебень і гравій низької міцності, дрібні піски, цементи низької активності.

Оскільки $R_b < 1,2 R_{ц}$ використовуємо формулу 1. (таблиці 9) приймаємо

$A =$ ___. Тоді $\frac{B}{Ц}$

витрату цементу за масою на 1 м³ бетонної суміші, кг: $C = \frac{B}{B/C}$

Витрати крупного заповнювача (щебеню) визначаємо, виходячи з двох умов:

1) Сума абсолютних об'ємів усіх компонентів бетону дорівнює 1 м³ ущільненої бетонної суміші, тобто

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{B}{\rho_s} + \frac{P}{\rho_n} + \frac{Ш}{\rho_{ш}} = 1;$$

де: $C, B, P, Ш$ - витрати відповідно цементу, води, піску і щебеню, кг;

$\rho_c, \rho_s, \rho_n, \rho_{ш}$ - відповідно щільність тих самих матеріалів, кг/м³

$C/\rho_c, B/\rho_s, P/\rho_n, Ш/\rho_{ш}$ - відповідно абсолютний об'єм даних матеріалів, м³

2) Цементно-піщаний розчин заповнює порожнечу у крупному заповнювачі з деяким розсуненням його зерен, тобто

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{B}{\rho_s} + \frac{P}{\rho_n} = V_{н.ш.} \frac{Ш}{\rho_{ш}} \cdot \delta$$

де: $V_{н.ш.}$ - пористість щебеню;

δ - коефіцієнт розсунення зерен;

$\rho_{н.ш.}$ - насипна щільність, кг/м³

Розв'язуючи ці два рівняння, знаходимо формулу для визначення витрат щебеню:

$$Ш = \frac{1}{\frac{V_{н.ш.} \cdot \delta}{\rho_{н.ш.}} + \frac{1}{\rho_{ш}}}$$

Коефіцієнт розсунення зерен δ приймаємо з таблиці 10 залежно від витрат цементу і легкоукладальності бетонної суміші.

Таблиця 10

Витрати цементу кг/ м ³	Осадка конуса, см		Жорсткість, с 40...80
	5...10	1...4	
200	1,22	1,18	1,10
250	1,28	1,22	1,12
300	1,34	1,28	1,14
350	1,40	1,34	1,16
400	1,48	1,40	1,18
500	1,60	1,48	1,20

Витрати піску за масою знаходимо як різницю між проектним об'ємом бетонної суміші (1 м³) і сумою абсолютних об'ємів цементу, води і щебеню, кг:

$$P = \left[1 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{B}{\rho_s} + \frac{Ш}{\rho_{ш}} \right) \right] \rho_n$$

Розрахункова середня щільність бетонної суміші, кг/м³

$$\rho_n = \sum M = C + B + P + Ш$$

2.3. Уточнення орієнтовного складу бетону за допомогою пробних лабораторних замісів

Пробний лабораторний заміс готують об'ємом $0,01...0,05 \text{ м}^3$ (10...50 л) бетонної суміші. Приймаємо об'єм лабораторного замісу $0,01 \text{ м}^3$ (10 л). Знаючи з орієнтовного розрахунку витрати матеріалів на 1 м^3 бетонної суміші, знаходимо їх витрати за масою на лабораторний заміс ($0,01 \text{ м}^3$).

$\text{Ц} = 0,01\text{Ц} =$

$\text{В} = 0,01\text{В} =$

$\text{П} = 0,01\text{П} =$

$\text{Щ} = 0,01\text{Щ} =$

За цим дозуванням готуємо бетонну суміш і визначаємо її рухливість.

При цьому можливі три випадки:

- 1) осадка конуса виявиться рівною заданій. Це означає, що склад розраховано вірно і орієнтовний склад бетонної суміші є номінальним;
- 2) осадка конуса виявиться більше від наданої (у цьому випадку до бетонної суміші додають по 5...10% піску і щебеню, не змінюючи співвідношення між іншими витратами, до отримання бетонної суміші заданої рухливості, після чого визначають фактичну середню щільність бетонної суміші і коректують склад бетон);
- 3) осадка конуса виявиться менше від заданої (у цьому випадку до бетонної суміші додають по 10% цементу і води, не змінюючи водоцементного відношення, знову визначають рухливість і середню щільність бетонної суміші і коректують склад бетону).

2.4. Визначення легкоукладальності бетонної суміші

Легкоукладальність характеризує здатність бетонної суміші заповнювати форму і ущільнюватись у ній під дією власної ваги або внутрішніх механічних зусиль. Ця якість бетонної суміші оцінюється рухливістю або жорсткістю (ГОСТ 10181-61).

Рухливість бетонної суміші визначають за допомогою стандартного конуса за значенням осадки конуса в сантиметрах. Форму-конус устанавлюють на горизонтальну площадку, покриту металевим листом, і через верхній отвір заповнюють її трьома рівними за висотою шарами бетонної суміші. Кожний шар ущільнюють 25-разовим штикуванням металевим стержнем діаметром 16 мм.

Після укладання і штикування верхнього шару зрізують надлишки бетонної суміші урівень з краями форми. Потім форму знімають строго вертикально угору так, щоб не зруйнувати бетонний конус. Звільнена від форми бетонна суміш починає під дією власної ваги осідати. Після закінчення осадки зняту форму встановлюють поруч з осівшим конусом бетонної суміші і з точністю до 0,5 см вимірюють осадку бетонного конуса у порівнянні з

висотою форми-конуса.

Осадку конуса бетонної суміші визначають двічі. За результат приймають середнє арифметичне двох визначень, що відрізняються один від одного не більш як на 2 см. За ступенем рухливості бетонні суміші поділяються на малорухливі (осадка конуса 1...3 см), рухливі (4...15 см) і литі (більше 15 см).

Стандартний конус застосовують для визначення рухливості бетонної суміші при максимальній крупності зерен заповнювачів до 70 мм. При крупності зерен заповнювача більше 70 мм необхідно взяти конус висотою 450 мм із внутрішнім діаметром верхньої основи 150 мм, нижньої 300 мм. У цьому випадку осадка приводиться до осадки стандартного конуса множенням на коефіцієнт 0,67.

Результати визначення рухливості заносять у таблиці 11.

Таблиця 11

№ замісу	Добавлено, кг				Витрати за масою, кг				Осадка конуса.
	Цементу	води	піску	щебеню	цементу	води	піску	щебеню	
1									
2									
3									

За допомогою технічного віскозиметра в секундах визначають жорсткість для бетонних сумішей, які мають близьку до нуля осадку конуса. Технічний віскозиметр являє собою циліндричний посуд висотою 200 мм із внутрішнім діаметром 300 мм, усередині якого на висоті 70 мм від дна за допомогою опорних планок і фіксаторів закріплено циліндричне кільце, висотою 130 мм із внутрішнім діаметром 216 мм. Технічний віскозиметр укомплектований стандартним конусом з накладкою і зйомним штативом із штангою, плоским диском направляючою головкою та зажимним гвинтом.

Циліндричний посуд з кільцем і стандартним конусом з накладкою встановлюють і закріплюють на лабораторній віброплощадці з амплітудою коливань 0,35 мм і частотою біля 3000 хв. Стандартний конус заповнюють бетонною сумішшю (максимальна крупність заповнювача до 40 мм) трьома рівними за висотою шарами з 25-разовим штикуванням кожного шару. Потім включають віброплощадку і остаточно ущільнюють суміш вібруванням на протязі 5...30 с (до появилення цементного молока з-під нижньої основи конуса).

Після цього знімають накладку, зрізують надлишки бетонної суміші урівень з краями конуса, строго вертикально угору знімають його і на циліндричний посуд встановлюють штатив із штангою і диском. Звільнюють зажимний гвинт, опускають диск на поверхню відформованого конуса бетонної суміші і одночасно включають віброплощадку і секундомір. Під дією вібрації бетонна суміш починає осідати і розтікаться. Разом з осадкою бетонного конуса опускається і штанга з диском. Як тільки риска на штанзі співпадає з верхньою поверхнею направляючої головки штатива, виключають віброплощадку і секундомір. Час, зафіксований секундоміром характеризує

жорсткість бетонної суміші у секундах, яку обчислюють як середнє арифметичне двох визначень.

При крупності заповнювача 40...70 мм і жорсткості бетонної суміші менше 100 с допускається спрощений метод визначення жорсткості. Металеву форму-куб з габаритними розмірами 200 x 200 x 200 мм закріплюють на віброплощині. У форму встановлюють стандартний конус без нижніх планок і заповнюють його бетонною сумішшю як описувалось раніше. Потім конус знімають і одночасно включають віброплощадку і секундомір. Коли бетонна суміш заповнить всі кути форми-куба і поверхня її стане горизонтальною, віброплощадку і секундомір виключають. Час, зафіксований секундоміром і помножений на коефіцієнт 1,5, характеризує жорсткість бетонної суміші. За ступенем жорсткості бетонні суміші поділяють на особливо жорсткі (більше 200 с), жорсткі (30...200 с) і мало рухливі (15... 30 с)

Після доведення рухливості бетонної суміші до заданої, фактичні розрахунки компонентів за масою на лабораторний заміс складають, кг:

$$Ц_{л} = ; B_{л} = ; П_{л} = ; Ш_{л} = .$$

Абсолютні об'єми компонентів на лабораторний заміс, м³:

$$V_{ц} = \frac{Ц_{л}}{\rho_{ц}} = ; \quad V_{п} = \frac{П_{л}}{\rho_{п}} = ;$$

$$V_{б} = \frac{B_{л}}{\rho_{б}} = ; \quad V_{ш} = \frac{Ш_{л}}{\rho_{ш}} = .$$

Тоді фактичний об'єм лабораторного замісу, м³:

$$\sum V_{л} = V_{ц} + V_{б} + V_{п} + V_{ш} =$$

Фактична середня щільність бетонної суміші лабораторного замісу, кг/м³:

$$\rho_{м.л} = \frac{\sum M_{л}}{\sum V_{л}} =$$

де:

$$\sum M_{л} = Ц_{л} + B_{л} + П_{л} + Ш_{л} =$$

(перевіряється експериментально). Обидва результати повинні відповідати один одному.

2.5. Визначення середньої щільності бетонної суміші

Середню щільність бетонної суміші визначають за допомогою мірних циліндрів, місткість яких залежить від крупності заповнювача. При крупності зерен щебеню або гравію до 40 мм об'єм циліндра 5 л (діаметр і висота по 186 мм) При крупності зерен 40...70 мм об'єм циліндра 15 л (діаметр і висота по 267 мм).

Попередньо зважений мірний циліндр заповнюють бетонною сумішшю і добре ущільнюють вібруванням на віброплощині (до появи цементного

молока, але не більше 1,5 хв). Після ущільнення надлишок суміші зрізують урівень з краями циліндра і поверхню її загладжують. Мірний циліндр з бетонною сумішшю зважують з точністю до 1 г і обчислюють середню щільність, г/см³:

$$\rho = \frac{m_1 - m}{V}$$

де: m_1 – маса мірного циліндра з бетонною сумішшю, г;
 m_2 – маса мірного циліндра, г;
 V – об’єм мірного циліндра, см³.

Середню щільність бетонної суміші обчислюють як середнє арифметичне двох визначень. Результати заносять у таблиці 12.

Таблиця 12

Показник	Дослід		
	1	2	Середнє
Об’єм мірного циліндра, см ³			
Маса мірного циліндра, г			
Маса циліндра з розчином, г			
Середня щільність, г/см ³			
Середня щільність, кг/м ³			

2.6. Коректування витрат матеріалів на 1 м³ бетонної суміші (розрахунок номінального складу)

Знаючи фактичний об’єм лабораторного замісу й фактичні витрати матеріалів на його приготування, знаходимо витрату матеріалів за масою на 1 м³ бетонної суміші, кг:

$$C_n = \frac{C_n}{\sum V_n} = \quad \Pi_n = \frac{\Pi_n}{\sum V_n} =;$$

$$B_n = \frac{B_n}{\sum V_n} =; \quad \text{Ш}_n = \frac{\text{Ш}_n}{V_n} =.$$

Середня щільність бетонної суміші номінального складу, кг/м³:

$$\rho_{\text{н.н.}} = \sum M_n = C_n + B_n + \Pi_n + \text{Ш}_n =$$

Номінальний склад бетонної суміші у співвідношеннях мас компонентів до маси цементу:

$$\frac{C_n}{C_n} : \frac{\Pi_n}{C_n} : \frac{\text{Ш}_n}{C_n} \text{ при } B/C = \frac{B_n}{C_n}.$$

2.7. Розрахунок робочого складу бетонної суміші

Робочий склад визначають з урахуванням вологості заповнювачів. При цьому витрати води зменшують, а витрати заповнювачів відповідно збільшують, витрати цементу не змінюються.

$$Ц_p = Ц_n = \kappa \zeta;$$

$$B_p = B_n - \left(\frac{\Pi_n W_n}{100} + \frac{\text{III}_n W_{\text{III}}}{100} \right) = \kappa \zeta;$$

$$\Pi_p = \Pi_n + \frac{\Pi_n W_n}{100} = \kappa \zeta; \quad \text{III}_p = \text{III}_n + \frac{\text{III}_n W_{\text{III}}}{100} =$$

Середня щільність бетонної суміші робочого складу, кг/м³:

$$\rho_{m.p.} = \sum M_p = Ц_p + B_p + \Pi_p + \text{III}_p =$$

Робочий склад бетонної суміші у співвідношеннях мас компонентів до маси цементу

$$\frac{Ц_p}{Ц_p} : \frac{\Pi_p}{Ц_p} : \frac{\text{III}_p}{Ц_p} \text{ при } B/Ц = \frac{B_p}{Ц_p}.$$

З бетонної суміші робочого складу виготовляють зразки-кубики для визначення середньої щільності і марки бетону.

2.8. Визначення марки бетону

Марка бетону - основна якісна характеристика. Вона визначається границею міцності при стиску стандартних зразків-кубиків розміром 20 x 20 x 20 см, виготовлених з бетонної суміші і випробуваних після 28-добового твердіння у нормальних умовах. Крім стандартних допускаються такі розміри зразків-кубиків, см: 7,07 x 7,07 x 7,07; 10 x 10 x 10; 15 x 15 x 15; 30 x 30 x 30

Розміри зразка-кубика залежать від максимальної крупності зерен заповнювача (таблицю 13).

Таблиця 13

Найбільша крупність зерен, мм	10	20	40	70	70
Довжина ребра зразка-кубика, см	7,07	10	15	20	30

Значення перевідних коефіцієнтів кубикової міцності беремо з таблиці 14.

Таблиця 14

Розміри зразка, см	Перевідний коефіцієнт
30x30x30	1,10
20*20*20	1,05
15*15*15	1,00

10*10*10	0,91
7,07*7,07*7,07	0,86

Для виготовлення зразків-кубиків відбирають середню пробу бетонної суміші. Методика відбору залежить від виду конструкції, методу ущільнення і умов твердіння бетонної суміші. На ЗБВ проби відбирають при виході бетонної суміші з бетономішалок. При виготовленні монолітних конструкцій на будівельному об'єкті проби відбирають при укладенні бетонної суміші в тіло конструкції. Проба, що відбирається, повинна бути за об'ємом у 1,5-2 рази більша, ніж потрібно для виготовлення зразків.

При визначенні марки бетону у розбірних сталевих формах із шліфованою внутрішньою поверхнею, виготовляють серію з трьох зразків близнюків. Відхилення внутрішніх розмірів зібраних форм не повинні перевищувати 1%, кути між гранями повинні бути прямими.

Перед укладанням бетонної суміші внутрішню поверхню форм змащують тонким шаром машинного масла. Укладання бетонної суміші у форми треба закінчити не пізніше як за 15 хв., після її приготування. Після укладання у форми бетонну суміш ущільнюють вібруванням на віброплощадці. Ущільнені зразки у формах покривають вологою тканиною і зберігають на протязі доби при температурі 16...20 °С. Потім зразки розформовують, маркують і до випробування (27 діб) витримують у камері нормального твердіння при температурі (20±2) °С і відносній вологості не менше 90%.

Якщо залізобетонні вироби виготовляють із застосуванням теплової обробки, всі зразки у формах підлягають такій самій обробці, що й вироби, після чого їх розформовують і зберігають у нормальних умовах до випробування.

Безпосередньо перед випробуванням зразки оглядають, вимірюють штангенциркулем, з точністю до 0,1 мм, зважують з точністю до 1 г., і обчислюють середню щільність кожного зразка, кг/м³:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ кг/м}^3$$

де: m – маса зразка;

V – об'єм зразка.

Результати випробувань заносять у таблиці 15.

Таблиця 15

Показник зразка	1	2	3	Середнє
Маса, г				
Габаритні розміри, см				
Об'єм, см ³				
Середня щільність, г/см ³				
Середня щільність, кг/м ³				

При відхиленні значення середньої щільності в одній серії зразків-близнюків більш як на 3% всю серію бракують і не випробовують. Під час випробувань зразок встановлюють на нижню опорну плиту гідравлічного

преса точно на його осі. Навантаження збільшують рівномірно із швидкістю 1 с до руйнування зразка (6...10 Па).

Межу міцності бетону при стиску обчислюють з точністю до 1 Па:

$$R_{cm} = \alpha \frac{P_{руйін}}{F}$$

де: α – перевідний коефіцієнт до еталонної кубикової міцності;

$P_{руйін}$ – руйнівне навантаження на зразок, Па;

F – площа опорної грані зразка, см²,

Межу міцності обчислюють як середнє арифметичне результатів вимірювань трьох зразків. Якщо найменший результат відрізняється від найбільшого більш ніж на 15%, границю міцності при стиску обчислюють як середнє арифметичне двох найбільших результатів.

Результати випробувань заносять у таблицю 16.

При випробуванні 7- і 14-добових зразків одержані результати необхідно приводити до стандартних 28-добових множенням на коефіцієнти відповідно 1,5 і 1,25.

Таблиця 16

Показник	1	2	3	Середнє
Розміри опорної грані, см				
Площа опорної поверхні, см ²				
Руйнівне навантаження, кг				
Межа міцності при стиску, кгс/см ²				
Поправковий коефіцієнт				
Марка бетону				

2.9. Витрати матеріалів на один заміс у виробничій бетономішалці місткістю 1,2 м³

Складові матеріали бетону (цемент, пісок і щебінь) до перемішування займають об'єм, що дорівнює сумі їх окремих об'ємів. При сумісному їх перемішуванні з водою порожноти у щебені заповнюються цементно-піщаним розчином, а порожноти у піску - цементним тістом. Тому об'єм бетонної суміші завжди менше від сухих складових, що можна виразити нерівністю

$$V_6 < (V_u + V_n + V_m).$$

Увівши в цю нерівність коефіцієнт, можна замінити її рівнянням

$$V_6 = \beta (V_u + V_n + V_m),$$

де β - коефіцієнт виходу бетону:

Знаючи витрати матеріалів на 1 м³ бетонної суміші, обчислимо коефіцієнт

виходу бетону:

$$\beta = \frac{V_6}{V_u + V_n + V_m} = \frac{V_6}{\frac{C_p}{\rho_{u,c}} + \frac{P_p}{\rho_{n,l}} + \frac{Ш_p}{\rho_{m,c}}} =$$

Після цього можна розрахувати витрати матеріалів за масою на один заміс у бетономішалці місткістю $1,2 \text{ м}^3$. з урахуванням коефіцієнта виходу бетону, кг:

$$C_v = C_p \beta V =$$

$$П_v = П_p \beta V =$$

$$Ш_v = Ш_p \beta V =$$

$$B_v = B_p \beta V =$$

Вихід бетонної суміші а одного замісу бетономішалки місткістю $1,2 \text{ м}^3$, м^3

$$V_6 = \beta V =$$