

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ІННОВАЦІЙНІ ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни
для студентів спеціальності
192– Будівництво та цивільна інженерія

Обговорено і рекомендовано
на засіданні кафедри
технологій зварювання та
будівництва
Протокол № 15
від 30 червня 2021р.

Інноваційні інженерно-будівельні технології. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. /Укл.: Ганєєв Т.Р. – Чернігів, НУ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА», 2021. – 14 с.

Укладачі: ГАНЄЄВ ТІМУР РАШИТОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва

Відповідальний за випуск: ОЛЕКСІЄНКО СЕРГІЙ ВЛАДИСЛАВОВИЧ, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва, кандидат технічних наук

Рецензент: ПРИБИТЬКО ІРИНА ОЛЕКСАНДРІВНА, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Вимоги до роботи. Варіанти завдань	5
Терміни та визначення понять	6
Проектування складу бетону	8
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ.....	14

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для виконання розрахунково-графічних робіт з дисципліни «Інноваційні інженерно-будівельні технології» студентами спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Дана методична розробка призначена для формування системи знань з методики розрахунку складу бетонів за різних умов застосування, напрацювання навичок прийняття виважених конструкторських рішень за часткової відсутності даних.

ВИМОГИ ДО РОБОТИ. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ

Метою розрахунково-графічної роботи є проектування складу бетону з урахуванням вимог ДСТУ та відповідно до індивідуального завдання. Робота повинна складатися з наступних пунктів:

1. аналіз завдання на проектування;
2. вибір матеріалів;
3. розрахунок складу бетону;
4. висновки.

Таблиця 1

Варіанти завдань

Варіант	Клас міцності	Марка цементу	Мінімальна відстань у світлі між стрижнями арматури, мм	Мінімальна міцність бетону на 7-10 добу, %
1	C12/15	M400	80	70
2	C30/35	M500	160	80
3	C20/25	M400	120	60
4	C25/30	M400	160	70
5	C30/35	M500	60	90
6	C35/45	M500	80	80
7	C12/15	M400	60	70
8	C30/35	M500	160	60
9	C20/25	M400	120	50
10	C25/30	M400	60	80
11	C30/35	M500	80	80
12	C35/45	M500	60	70
13	C25/30	M400	120	80
14	C30/35	M500	160	60
15	C35/45	M500	240	80
16	C20/25	M400	120	70
17	C25/30	M400	60	80
18	C30/35	M500	80	60
19	C35/45	M400	60	70
20	C25/30	M400	120	90
21	C30/35	M500	160	80
22	C35/45	M400	240	70

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

Розглянемо основні терміни та поняття наведені в ДСТУ Б В.2.7-221:2009, що будуть використовуватися надалі.

Конструкційний бетон – це бетон несучих та огорожувальних конструкцій будинків і споруд, основними вимогами до якості якого є вимоги до фізико-механічних характеристик.

Спеціальний бетон - бетон, до якого надаються особливі вимоги за призначенням.

Бетон напружуючий - бетон на основі напружуючого цементу, що розширюється при твердненні і призначений для створення попередньої напруги (самонапруження) в конструкції при його твердненні.

Бетон ніздрюватий - бетон, в якому основну частину об'єму складають рівномірно розподілені пори, отримані за допомогою газо- або піноутворювачів.

Бетон, здатний до самоущільнення (самонівелювання) (Self-Compacting Concrete (SCC)) - бетон із здатних до самоущільнення литих бетонних сумішей, що розтікаються, утворюючи знівельовані поверхні, і в яких проходить процес деаерації та ущільнення під дією сил гравітації.

Бетони класифікують за наступними ознаками:

- основне призначення;
- вид в'язучого;
- вид заповнювача;
- структура;
- умови тверднення.

За призначенням бетони поділяються на:

- конструкційні;
- спеціальні (жаростійкі, хімічно стійкі, декоративні, радіаційно-захисні, теплоізоляційні тощо).

За видом в'язучого бетони можуть бути на основі:

- цементів;
- вапна та вапняних в'язучих;
- гіпсу та гіпсових в'язучих;
- спеціальних в'язучих.

У залежності від заповнювачів бетони можуть бути на:

- щільних заповнювачах;
- пористих заповнювачах;
- спеціальних заповнювачах.

За структурою бетони можуть бути:

- щільної структури;
- поризованої структури;
- ніздрюватої структури;
- великопористої структури.

За умовами тверднення бетони поділяють:

- природного тверднення;
- тверднення в умовах тепловологісної обробки при атмосферному тиску;
- автоклавного тверднення (тепловологісна обробка при тиску вище атмосферного).

В залежності від сфери застосування бетон поділяють за рухливістю (таблиця 2).

Таблиця 2

Рухливість суміші з бетону

Вид суміші	Осаду випробувального конуса, см	Куди заливається	Особливості
П-1	1-5	Моноліти з мінімальною складністю конфігурації	Обов'язково ущільнюється вібрацією. При заливці в холодну пору року попередньо підігрівається
П-2	6-10	Стандартні споруди	Мають оптимальну пластичністю і міцністю. Можуть ущільнюватися вібрацією
П-3	11-15		
П-4	16-20	Складні опалубки високі фундаменти, колони та інші армовані конструкції	Для марок П-4 і П-5 обов'язково використання пластифікаторів
П-5	Більше 21	Відносно герметичні опалубки	Є литим розчином

Жорсткі і наджорсткі суміші, які мають нульову осадку конуса, позначаються Ж і СЖ. Через технологічні складнощі укладання в опалубку вони застосовуються в обмеженому діапазоні робіт.

ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ БЕТОНУ

Загальні положення

В методичних вказівках розглядаються способи і приклади розрахунку важких конструкційних бетонів на щільних заповнювачах. Цей вид бетонів найбільш широко поширений в будівництві.

Метою оптимізації складу є отримання бетону із заданими характеристиками при мінімальних витратах на матеріали.

Завдання на проектування складу бетону має містити:

- нормовані показники якості бетону відповідно до технічних вимог стандартів, технічних умов або проектної документації на конструкції конкретних видів, для яких призначено бетон;
- показники якості бетонної суміші, тривалість і режими тверднення бетону і інші умови виробництва, що приймають за технологічною документацією, розробленою відповідно до чинних стандартів, норм і правил;
- показники однорідності міцності бетону всіх видів і середньої густини легких і ніздрюватих бетонів, а також відповідний їм середній рівень міцності і середня густина, що планується на майбутній період;
- обмеження щодо складу бетону і застосування матеріалів для його приготування, що встановлено нормативною і технологічною документацією.

Склад бетону слід підбирати виходячи з рівня міцності, а для легкого і ніздрюватого - із густини бетону.

Значення рівня міцності і середньої густини для підбору складу бетону приймають згідно з ДСТУ Б В.2.7-224 і ГОСТ 27005 з урахуванням фактичної однорідності бетону і планованих заходів щодо її підвищення.

У тому разі, коли відсутні дані щодо фактичної однорідності бетону, середній рівень міцності при підборі його складу приймають рівним необхідній міцності згідно з ДСТУ Б В.2.7-224 для бетону зазначеного класу або марки при коефіцієнті варіації, який дорівнює 13,5 % для важкого і легкого бетонів, 14 % -для щільного силікатного бетону і 17 % -для ніздрюватого, а також бетону масивних гідротехнічних конструкцій. Середній рівень густини в цих випадках приймають рівним марці бетону за густиною.

Розрахунок складу важкого крупнозернистого бетону загальнобудівельного призначення

Розрахунок проводиться відповідно до ДСТУ Б В.2.7-215:2009.

Перед тим, як розраховувати склад бетону, необхідно зробити аналіз матеріалів і визначити наступні характеристики:

для цементу - активність, істинну густину, середню густину, нормальну густоту цементного тіста (НГ);

для піску - істинну густину, середню густину, гранулометричний склад, модуль крупності та вологість;

для щебню - істинну густину зерен щебня, середню густину щебня, міжзернову пустотність, зерновий склад, найбільшу крупність зерен, вологість та показники міцності.

Розрахунок витрати матеріалів здійснюється на 1 м³ бетонної суміші за наступною послідовністю:

1. визначають водоцементне відношення, яке забезпечує отримання бетону заданої міцності при використанні цементу певної активності. В/Ц розраховують за наступними емпіричними формулами:

$$\text{при } f_{cm} \leq 1,2R_{ц}, \quad \frac{В}{Ц} = \frac{A \cdot R_{ц}}{f_{cm} + 0,5 \cdot A \cdot R_{ц}}, \quad (1)$$

$$f_{cm} > 1,2R_{ц}, \quad \frac{В}{Ц} = \frac{A_1 \cdot R_{ц}}{f_{cm} - 0,5 \cdot A_1 \cdot R_{ц}}, \quad (2)$$

де f_{cm} – проектна середня міцність бетону;

$R_{ц}$ – активність цементу, яка визначається згідно ГОСТ 310.4

A і A_1 - коефіцієнти, що залежать від якості заповнювача (таблиця 3).

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів A та A_1

Якість заповнювача	A	A_1
Висока	0,65	0,43
Середня	0,60	0,40
Низька	0,55	0,37

2. орієнтовну витрату води визначають за таблицею 4.

Таблиця 4

Орієнтовна витрата води в залежності від виду заповнювача та характеру бетонної суміші

Показник легкоукладальності бетонної суміші		Витрата води, л/м ³ бетонної суміші, при найбільшій крупності зерен заповнювача, мм			
Осадка конуса, см	Жорсткість, с	10	20	40	70
Гравій					
16-20	-	227	218	203	192
12-16	-	220	210	203	185
10-12	-	215	205	190	180
8-10	-	205	190	175	170
5-7	-	200	185	170	165
2-4	-	190	175	160	155
-	10-15	175	160	145	140
-	15-20	165	150	135	130
-	25-35	160	145	130	125
-	40-50	150	135	125	120
Щебінь					
16-20	-	237	228	213	202
12-16	-	230	220	207	195
10-12	-	225	215	200	190
8-10	-	215	205	190	185
5-7	-	210	200	185	180
2-4	-	200	190	175	170
-	10-15	185	175	160	155
-	15-20	175	165	150	145
-	25-35	170	160	145	140
-	40-50	160	150	135	130

Витрата води замішування наведена для бетонних сумішей, виготовлених на портландцементі, з нормальною густиною цементного тіста 26-28 %, і середньозернистому піску ($M_{кр} = 2-2,5$), без пластифікуючих добавок. При зміні нормальної густоти цементного тіста на кожний відсоток у бік зменшення витрата води зменшується на 3-5 л, у бік збільшення - збільшується на 3-5 л. При зміні модуля крупності піску на кожні 0,5 у бік зменшення витрата води збільшується на 3-5 л, у бік збільшення - зменшується на 3-5 л. При введенні добавок типу ЛСТ зазначену кількість води зменшують на 10-15 л/м³, при введенні суперпластифікатора - на 20-30 л/м³. При використанні цементу з іншою нормальною густиною, піску іншої крупності або введенні інших хімічних добавок витрата води має бути відповідно скоригована.

3. Витрату цементу (Ц) (в кг на м³ бетонної суміші) обчислюють за вже відомими величинами витрати води (В) та водоцементного відношення (В/Ц) за формулою:

$$Ц = \frac{Ц}{\frac{В}{Ц}} \quad (3)$$

4. Витрату крупного заповнювача - щебеню, гравію (в кг на 1 м³ бетону) визначають за формулою:

$$Щ = \frac{1000}{\frac{1}{\rho_{igr}} + \alpha * \frac{1}{\rho_{сг}} * V_{пуст}}, \quad (4)$$

де $\rho_{igr}^{щ}$ - істинна густина зерен щебеню (гравію), кг/дм³;

$\rho_{сг}^{щ}$ - середня густина щебеню (гравію), кг/дм³;

$V_{пуст}$ - пористість щебеню (гравію), частки одиниці;

α - коефіцієнт розсування зерен (приймають за таблицею 5)

Таблиця 5

Коефіцієнт розсування зерен у бетонних сумішах різної легкоукладальності

Витрата цементу, кг	Значення коефіцієнту при показниках легкоукладальності бетонної суміші		
	осадка конуса, см		жорсткість, с
	5-10	1-4	40-80
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

Витрата піску (в кг на 1 м³ бетону) визначається за формулою:

$$П = 1000 - \frac{Ц}{\rho^ц} + \frac{Ц}{\rho^щ} + В * \rho^п, \quad (5)$$

де Ц, Щ, В - витрата цементу, щебеню (гравію) та води, кг;

$\rho^ц, \rho^щ, \rho^п$ - істинна густина цементу, щебеню та піску, кг/дм³.

Після попереднього розрахунку складу бетону роблять пробний заміс бетонної суміші (звичайно об'ємом 10 л) і визначають її легкоукладальність (рухомість, жорсткість).

Якщо бетонна суміш виявилася менш рухливою, ніж потрібно, то в розрахунок складу бетону вносяться поправки - збільшують кількість цементу та води без зміни водоцементного відношення. Якщо рухомість суміші більша за потрібну, невеликими порціями додають пісок та крупний заповнювач у відповідному співвідношенні, що рівнозначно зменшенню цементного тіста. Так досягають заданої рухомості.

Фактичну середню густину бетонної суміші в свіжоущільненому стані (в $\text{кг}/\text{м}^3$) обчислюють за формулою:

$$\rho_{\text{г.сум}}^{\text{ф}} = \frac{m_2 - m_1}{V} * 1000, \quad (6)$$

де V - об'єм мірної посудини, (зазвичай 3 л чи 5 л), дм^3 ;

m_1 - маса порожньої посудини, кг;

m_2 - маса посудини з ущільненою бетонною сумішшю, кг.

Відповідність отриманого складу бетону заданим показникам міцності визначають шляхом виготовлення та випробування зразків.

Склад бетону, розрахований таким чином, називають - номінальним.

Приклад розрахунку складу бетону

Розрахувати склад бетону класу С 25/30 на цементі марки 400 для виготовлення залізобетонних виробів простого профілю. Мінімальна відстань у світлі між стрижнями арматури - 80 мм. Умови формування - стендова технологія з використанням глибинних та поверхневих вібраторів. Умови тверднення природні. Необхідний темп росту міцності бетону: від 7 до 10 діб - не менше ніж 70 % від проектною; на 28 добу - 100 %.

Вибір вихідних параметрів.

Рухомість бетонної суміші - ОК = 2 см.

Крупність заповнювача приймаємо з розрахунку найбільшого діаметра зерен щебня 40 м.

Характеристика вихідних матеріалів:

- портландцемент - $R_{\text{ц}} = 42 \text{ МПа}$ ($420 \text{ кгс}/\text{см}^2$),
 $\rho_{\text{г}}^{\text{ц}} = 3100 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\rho_{\text{сг}}^{\text{ц}} = 1300 \text{ кг}/\text{м}^3$, НГ = 25 %;

- пісок кварцовий - $\rho_{ir}^{щ} = 2600 \text{ кг/м}^3$,
 $\rho_{сг}^{щ} = 1500 \text{ кг/м}^3$, $M_k = 2,2$;
- щебінь гранітний - $\rho_{ir}^{щ} = 2600 \text{ кг/м}^3$,
 $\rho_{сг}^{щ} = 1500 \text{ кг/м}^3$, $D_{нб} = 40 \text{ мм}$.

Марка щебню за міцністю на стиск (у циліндрі) - 1000.

Пустотність щебню визначаємо за формулою:

$$V_{пуст} = 1 - \frac{\rho_{сг}^{щ}}{\rho_{ir}^{щ} * 1000} = 1 - \frac{1500}{2600} = 0,42$$

Розрахунок складу здійснюють на сухих чистих матеріалах (заповнювачах)

1 водоцементне відношення:

$$\frac{В}{Ц} = \frac{A * R_{ц}}{f_{см} + 0,5 * A * R_{ц}} = \frac{0,6 * 420}{300 + 0,5 * 0,6 * 420} = 0,59$$

(у відповідності до таблиці 1 прийнято значення $A=0,6$)

2 Витрата води на 1 м³ бетонної суміші складає 170 л (таблиця 4).

3 Витрата цементу на 1 м³ бетону складає:

$$Ц = \frac{Ц}{В} = \frac{170}{0,59} = 288$$

4 Витрата щебню:

$$Щ = \frac{1000}{\frac{1}{\rho_{ir}^{щ}} + \alpha * \frac{1}{\rho_{сг}^{щ}} * V_{пуст}} = \frac{1000}{\frac{1000}{2600} + 1,28 * \frac{1000}{1500} * 0,42} = 1351$$

(у відповідності до таблиці 5 прийнято значення $\alpha = 1,28$).

5 Витрата піску

$$П = 1000 - \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{Ц}{\rho_{щ}} + В * \rho^п = 1000 - \frac{288}{3,1} + \frac{1351}{2,6} + 170 * 2,61 = 568$$

Таблиця 6

Результати розрахунку

$\frac{В}{Ц}$	Витрата води, л/м ³	Витрата цементу, кг/м ³	Витрата щебню, кг/м ³	Витрата піску, кг/м ³	Витрата інших наповнювачів
0,59	170	288	1351	568	-

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 Суміші бетонні та бетон. Загальні ТУ
2. ДБН В.2.7-64-97. «Правила применения химических добавок в бетонах и строительных растворах»
3. ДСТУ Б В.2.7-96-2000. (ГОСТ 7473-94) «Смеси бетонные»
4. ДСТУ Б Г.1-10:2008. «Бетоны. номенклатура показателей»
5. ДСТУ Б В.2.7-215:2009. «Бетоны. Правила подбора состава»
6. ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2008. «Руководство по применению химических добавок в бетонах и строительных растворах»