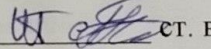


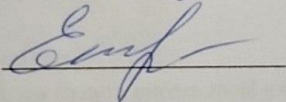
Міністерство освіти і науки України  
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Будівельний факультет  
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ, МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ

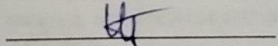
Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи бакалавра  
за освітньо-професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія»  
спеціальність G19 – Будівництво та цивільна інженерія

Тема роботи Завод з випуску товарного гідротехнічного  
бетону заданої якості

Виконав: студент групи БІ-22-1 Мороз Богдан Максимович

Керівник випускної роботи  ст. викл., доц. Астахова Н.В.

Нормоконтролер  Єгорова І.В.

Завідувачка кафедри  доц. Шишкіна О.О.

Кривий Ріг  
2026 р.

Криворізький національний університет  
Будівельний факультет  
Кафедра технології будівельних виробів, матеріалів та конструкцій

Освітньо-кваліфікаційний рівень - бакалавр

Спеціальність – G19 Будівництво та цивільна інженерія

ОПП – «Будівництво та цивільна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри



“19” червня 2026 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Морозу Богдану Максимовичу

1. Тема роботи **Завод з випуску товарного гідротехнічного бетону заданої якості**

**керівник роботи** ст. викл., доц. Астахова Н.В.

затверджені наказом університету від “14” квітня 2026 року № 196 с

2. **Строк подання студентом роботи** 15 червня 2026 року

3. **Вихідні дані до роботи**

- Клас бетону за міцністю на стиск – С45/55;
- Клас умов експлуатації конструкцій, які будуть виготовлені з бетону – XF3;
- Ступінь відповідальності будівель і споруд, для виготовлення конструкцій яких призначено бетон – СС2;
- Розрахункова температура зовнішнього повітря при експлуатації бетону – t -20... -40°C;
- Марка бетонної суміші – P2;
- Планова потужність підприємства – 11500 м<sup>3</sup>.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Характеристика бетонної суміші, бетону та його компонентів

2. Режим роботи підприємства

3. Визначення складу бетону

4. Організація роботи підприємства

5. Проектування споруд підприємства

5.1. Вибір технологічної схеми виробництва

5.2. Проектування головного корпусу заводу

5.3. Проектування складів компонентів бетонної суміші

6. Контроль якості

7. Охорона праці та техніка безпеки

**Перелік графічного матеріалу** (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1 Поопераційний графік виготовлення бетонної суміші

2 Технологічна схема виробництва

3 Карта контролю якості виробництва

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	ст. викл., доц. Астахова Н.В.		
2	ст. викл., доц. Астахова Н.В.		
3	ст. викл., доц. Астахова Н.В.		
4	ст. викл., доц. Астахова Н.В.		
5	ст. викл., доц. Астахова Н.В.		
6	ст. викл., доц. Астахова Н.В.		
7	ст. викл., доц. Астахова Н.В.		

7. Дата видачі завдання 14 квітня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи (дів)	Примітка
	1. Характеристика бетонної суміші, бетону та його компонентів	1	
	2. Режим роботи підприємства	1	
	3. Визначення складу бетону	2	
	4. Організація роботи підприємства	3	
	5. Проектування споруд підприємства	5	
	6. Контроль якості	5	
	7. Охорона праці та техніка безпеки	4	

Студент

( підпис )

**Мороз Б. М.**  
( прізвище та ініціали )

Керівник роботи

( підпис )

**Астахова Н. В.**  
( прізвище та ініціали )

## РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра

студента гр.. БІ-22-1 Мороза Богдана Максимовича

на тему: «Завод з випуску товарного гідротехнічного бетону заданої якості»

Актуальність теми. Актуальність розробки проекту заводу товарного гідротехнічного бетону обумовлена зростаючими потребами будівельного комплексу України в якісних спеціальних бетонах для об'єктів інфраструктури – мостів, гідровузлів, берегозахисних споруд, що потребують реконструкції або нового будівництва.

Метою кваліфікаційної роботи є проектування заводу з випуску гідротехнічного товарного бетону заданої якості з врахуванням вимог нормативних документів та сучасних рішень та пропозицій в галузі технології бетону.

Об'єктом дослідження є завод з випуску гідротехнічного товарного бетону заданої якості.

Завдання: 1) окреслити характеристики бетонної суміш, завод з виготовлення якої підлягає проектуванню, характеристики бетону, характеристики компонентів, які будуть використані для виготовлення бетонної суміші; 2) встановити режим роботи підприємства; 3) визначити склад бетонної суміші; 4) проаналізувати вихідні дані для організації роботи підприємства та визначити необхідні параметри виробництва; 5) здійснити вибір технологічної схеми виробництва; 6) запроектувати головну будівлю заводу; 7) запроектувати склади компонентів бетонної суміші; 8) дослідити та описати методи та засоби контролю якості на підприємстві; 9) описати положення охорони праці та техніки безпеки на підприємстві.

Практичне значення отриманих результатів полягає у пропозиції по проектуванню заводу з випуску гідротехнічного товарного бетону заданої якості.

Ключові слова: гідротехнічний бетон, бетонна суміш, легкоукладальність бетонної суміші, міцність бетону, виробництво бетонної суміші.

Обсяг кваліфікаційної роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки, викладеної на 44 сторінках, яка складається зі вступу, семи розділів, які містять 2 рисунки, 11 таблиць, списку використаних джерел з 21 найменування, та графічної частини, яка складається з 3 листів формату А3.

## ЗМІСТ

Вступ	7
1. Характеристика компонентів бетонної суміші та бетону	8
2. Режим роботи підприємства	12
3. Визначення складу бетону	13
4. Організація роботи підприємства	17
5. Проектування споруд підприємства	22
5.1. Вибір технологічної схеми виробництва	22
5.2. Проектування головного корпусу заводу	26
5.3. Проектування складів бетонної суміші	29
5.3.1. Розрахунок складів в'язучої речовини	29
5.3.2. Розрахунок складів заповнювачів	29
5.3.3 Розрахунок складів добавок	31
6. Контроль якості	32
7. Охорона праці та техніка безпеки	40
Список використаної літератури	42

## ВСТУП

Бетон є основним конструкційним матеріалом сучасного будівництва. Щорічне світове виробництво бетону перевищує 4 млрд. тонн. Серед різновидів бетону особливе місце посідає гідротехнічний бетон, призначений для споруд, що перебувають під систематичним впливом водного середовища та кліматичних чинників. В умовах різких перепадів температур, характерних для більшої частини території України (до  $-40^{\circ}\text{C}$  у зимовий період), надійність гідротехнічних конструкцій безпосередньо залежить від морозостійкості бетону.

Клас умов експлуатації XF3 за класифікацією ДБН В.1.2-14:2018 [1] відповідає найбільш жорстким умовам циклічного заморожування-відтавання в умовах насичення водою без застосування протиожеледних реагентів. Такі умови типові для підводних і надводних зон гідротехнічних споруд, мостів, берегоукріплювальних конструкцій, водозабірних споруд, що експлуатуються при розрахунковій температурі від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ . Для бетону класу XF3 обов'язковим є забезпечення мінімального вмісту повітря 4,0% у свіжоукладеній суміші – це забезпечується застосуванням повітрозалучувальних добавок (ПЗД), які формують у затверділому цементному камені розвинену систему замкнутих мікропор, що ефективно знімають тиск льоду при замерзанні порової вологи.

Актуальність розробки проекту заводу товарного гідротехнічного бетону обумовлена зростаючими потребами будівельного комплексу України в якісних спеціальних бетонах для об'єктів інфраструктури – мостів, гідровузлів, берегозахисних споруд, що потребують реконструкції або нового будівництва. Ступінь відповідальності СС2 (підвищена відповідальність за ДБН В.1.2-14:2018 [1]) потребує суворої системи контролю якості на всіх етапах виробництва.

# 1. ХАРАКТЕРИСТИКА БЕТОННОЇ СУМІШІ, БЕТОНУ ТА ЙОГО КОМПОНЕНТІВ

## 1.1 Характеристика гідротехнічного бетону та бетонної суміші

Відповідно до завдання на проектування бетон класу С45/55 призначається для гідротехнічних конструкцій, що експлуатуються в умовах XF3 (вплив циклічного заморожування-відтавання при насиченні водою без дії протижелезних реагентів). Клас СС2 вказує на підвищену відповідальність конструкцій та потребує суворого контролю якості.

Згідно з таблицею В.1 ДБН В.1.2-14:2018 [1] для класу XF3 встановлено: максимальне водоцементне відношення В/Ц  $\leq 0,50$ ; мінімальний клас міцності С25/30; мінімальний вміст цементу 300 кг/м<sup>3</sup>; мінімальний вміст повітря 4,0%. Оскільки клас міцності С45/55 значно перевищує мінімальний, фактичні обмеження більш жорсткі, ніж нормативний мінімум для XF3.

Показники характеристик гідротехнічного бетону та бетонної суміші відповідно [1, 2] до наведені в таблиці 1.1.

**Таблиця 1.1 – Показники характеристик гідротехнічного бетону та бетонної суміші С45/55 (XF3, СС2)**

Показник	Нормативне значення	Нормативний документ
Клас міцності при стиску	С45/55	ДБН В.1.2-14:2018
Клас умов експлуатації	XF3	ДБН В.1.2-14:2018
Ступінь відповідальності	СС2 (підвищена)	ДБН В.1.2-14:2018
Максимальне В/Ц	0,45	За міцністю С45/55
Мінімальний вміст цементу, кг/м <sup>3</sup>	340	Табл. В.1 ДБН В.1.2-14:2018
Мінімальний вміст повітря, %	$\geq 4,0$	Табл. В.1 ДБН В.1.2-14:2018 (XF3)
Марка за водонепроникністю	W8	ДСТУ 9208:2022
Марка за морозостійкістю	F300	ДСТУ 9208:2022

Розрахункова темп. зовнішнього повітря, °С	від –20 до –40	
Марка суміші за консистенцією	P2 (ОК 5–9 см)	

Повітрозалучення  $\geq 4,0\%$  є обов'язковим конструктивним заходом захисту від морозного руйнування і досягається введенням повітрозалучувальних добавок (СНВ, ЩСПК або сучасних синтетичних ПЗД). При температурі  $-40^{\circ}\text{C}$  цикли заморожування-відтавання є особливо руйнівними, тому марка за морозостійкістю не нижче F300.

## 1.2 Вимоги до цементу

Відповідно до нормативних документів для бетонів класу C45/55 і вище рекомендується цемент класу понад 52,5 (високоміцний). Для умов XF3, де морозостійкість є пріоритетною, найкраще підходить портландцемент або портландцемент з добавками без підвищеного вмісту шлаку. Для умов XF3 без ознак сульфатної агресії допускається застосування звичайного портландцементу I класу.

Для товарного гідротехнічного бетону, який буде випускатися даним заводом обрано швидкотверднучий портландцемент СЕМ I-52,5R відповідно до ДСТУ Б В.2.7-46-2010 [3], що забезпечує необхідний рівень міцності та сумісність із комплексними добавками (суперпластифікатор + повітрозалучувач).

**Таблиця 1.2 – Характеристики цементу**

Показник	Значення
Клас міцності при стиску (28 діб), МПа	$\geq 52,5$
Міцність у ранньому віці (2 доби), МПа	$\geq 30,0$
Справжня (істинна) густина, кг/м <sup>3</sup>	3100
Насипна (середня) густина, кг/м <sup>3</sup>	1100
Нормальна густина цементного тіста (НГ), %	27–29
Початок тужавлення, хв	$\geq 60$
Кінець тужавлення, год	$\leq 10$
Тонкість помелу (питома поверхня), м <sup>2</sup> /кг	$\geq 350$

Клас міцності СЕМ І-52,5R (раннє тверднення, R – Rapid) забезпечує достатньо високу активність для отримання бетону С45/55 при В/Ц = 0,45 без збільшення витрати цементу понад технологічно обґрунтовані межі. Підвищена тонкість помелу забезпечує швидкий набір міцності, що важливо при експлуатації в умовах раннього настання морозів. Зберігання цементу: не більше 60 діб, температура  $\geq +5^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість  $\leq 60\%$ .

### 1.3 Вимоги до заповнювачів

Для умов XF3 особливо важливий вибір морозостійкого крупного заповнювача. Заповнювач повинен мати марку за морозостійкістю не нижче F300, мінімальне водопоглинання ( $\leq 0,5\%$ ) та бути стійким до лужно-кремнеземної реакції (відсутність реакційно здатного кремнезему підтверджується паспортом якості). Крупним заповнювачем обрано щебінь гранітний, фракції 20–40 мм, характеристики якого наведені в таблиці 1.3.

**Таблиця 1.3 – Характеристики крупного заповнювача**

Показник	Значення
Фракція, мм	20–40
Істинна (справжня) густина, кг/м <sup>3</sup>	2680
Насипна (середня) густина, кг/м <sup>3</sup>	1450
Вміст пилоподібних і глинистих частинок, %	$\leq 0,5$
Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми, %	$\leq 10$
Марка за дробимістю	Др 1400
Марка за морозостійкістю	F300 і більше
Водопоглинання, %	$\leq 0,5$

Дрібним заповнювачем буде пісок кварцовий, характеристики якого наведені в таблиці 1.4.

**Таблиця 1.4 – Характеристики дрібного заповнювача**

Показник	Значення
Модуль крупності Мкр	2,0–2,5
Істинна (справжня) густина, кг/м <sup>3</sup>	2640
Насипна (середня) густина, кг/м <sup>3</sup>	1550
Вміст пилоподібних і глинистих частинок, %	$\leq 1,0$
Вміст глинистих грудок, %	$\leq 0,25$

Вміст органічних речовин (барвна проба)	Не темніше еталону
---	--------------------

Відповідно до вимог табл. В.1 ДБН В.1.2-14:2018 [1] для класу XF3 заповнювачі мають відповідати ДСТУ EN 12620 [4] та ДСТУ Б В.2.7-74-98 [5]. Особливістю є вимога до морозостійкості щебеню F300 і більше, оскільки при багатократних циклах заморожування-відтавання при  $-40^{\circ}\text{C}$  щебінь низькоміцних гірських порід може руйнуватися раніше, ніж цементний камінь. Гранітний щебінь задовольняє ці вимоги.

Дрібний заповнювач повинен відповідати вимогам [6]

#### **1.4 Вимоги до води та добавок**

Вода для приготування бетонної суміші відповідає вимогам ДСТУ EN 1008:2022 [7]. Застосовується технічна або питна вода з міської системи водопостачання з рН 5–9, вміст хлоридів  $\leq 200$  мг/л (для залізобетону), сульфатів  $\leq 2000$  мг/л.

Для забезпечення вимог класу XF3 (мінімальний вміст повітря 4,0%) та забезпечення необхідної рухомості бетону P2 при В/Ц = 0,45 застосовується комплексна хімічна добавка, яка включає суперпластифікатор (наприклад, Sika ViscoCrete) у кількості 0,6–1,0% від маси цементу та повітрозалучувальну добавку (наприклад, MICROPORAN) у кількості 0,03–0,05% від маси цементу. Дозування добавок уточнюється лабораторним підбором складу. Добавки вводяться у воду замішування, контроль вмісту повітря здійснюється відповідно до ДСТУ 9208:2022 [8].

Добавки мають відповідати положенням [9].

## 2. РЕЖИМ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА

Режим роботи підприємства встановлюється відповідно до норм та рекомендацій. Для заводу приготування товарного гідротехнічного бетону приймаються наступні параметри:

- кількість робочих діб на рік (номінальний фонд часу):  $T_n = 260$  діб
- кількість робочих змін на добу:  $n_{зм} = 2$
- тривалість робочої зміни:  $t_{зм} = 8$  год.
- тривалість планових зупинок на ремонт:  $T_{рем} = 7$  діб

Річний фонд часу роботи технологічного обладнання:

$$T_{рч} = T_n - T_{рем} = 260 - 7 = 253 \text{ доби}$$

Добовий фонд продуктивного робочого часу:

$$t_{доб} = n_{зм} \cdot t_{зм} = 2 \cdot 8 = 16 \text{ год/добу}$$

Річний фонд продуктивного часу в годинах:

$$T_{рч.год} = T_{рч} \cdot t_{доб} = 253 \cdot 16 = 4048 \text{ год/рік}$$

Розраховані показники роботи заводу з випуску товарного гідротехнічного бетону зведені в таблицю 2.1.

**Таблиця 2.1 – Показники робочого фонду часу**

Термін	Номінальні		Розрахункові	
	діб	годин	діб	годин
Зміна	-	8		
Доба	1	16	1	16
Місяць	21,7	347	21,1	337
Рік	260	4160	253	4048

Прийнятий режим роботи забезпечує необхідний обсяг постачання готових бетонних сумішей з урахуванням сезонних коливань попиту.

### 3. ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ БЕТОНУ

#### 3.1 Вихідні дані для розрахунку

Розрахунок складу бетонної суміші виконується відповідно до методики, наведеної в нормативних документах [10, 11] та посібнику [12], з урахуванням вимог до важкого бетону підвищеної міцності для експлуатації в умовах циклічного заморожування та відтавання.

Проектований бетон повинен відповідати класу міцності на стиск C45/55, що характеризується нормативною призматичною міцністю  $f_{ck} = 45$  МПа та характеристичною кубиковою міцністю  $f_{ck,cube} = 55$  МПа. Відповідно до вимог довговічності бетон експлуатуватиметься в умовах класу XF3, що передбачає вплив багаторазових циклів заморожування та відтавання при високій вологості без застосування протижеледних солей. Для забезпечення необхідної морозостійкості в бетонній суміші повинен бути створений рівномірно розподілений повітряний прошарок, тому мінімальний вміст залученого повітря приймається не менше 4,0 % від об'єму суміші.

Об'єкт належить до класу наслідків CC2, що висуває підвищені вимоги до надійності та довговічності конструкцій. Розрахункова температура зовнішнього повітря в районі експлуатації знаходиться в межах від  $-20$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ , тому бетон повинен мати високу морозостійкість і щільну структуру.

За технологічними вимогами приймається бетонна суміш марки за консистенцією P2 з осіданням стандартного конуса  $OK = 7$  см, що забезпечує достатню рухливість для транспортування та укладання суміші без розшарування.

Як в'язучий матеріал використовується високоміцний портландцемент класу I-52,5R з нормативною активністю  $R_d = 52,5$  МПа, який забезпечує отримання необхідної міцності бетону у встановлені терміни тверднення.

Крупним заповнювачем прийнято гранітний щебінь фракції 20–40 мм з насипною густиною  $1450$  кг/м<sup>3</sup> та істинною густиною  $2680$  кг/м<sup>3</sup>. Гранітний щебінь характеризується високою міцністю, морозостійкістю та добрим

зчепленням із цементним каменем, що особливо важливо для бетонів високих класів міцності.

Дрібним заповнювачем є кварцовий пісок із модулем крупності  $M_{кр} = 2,2$ , насипною густиною  $1550 \text{ кг/м}^3$  та істинною густиною  $2640 \text{ кг/м}^3$ . Такий пісок забезпечує формування щільної структури бетонної суміші та сприяє зменшенню пористості затверділого бетону.

Для підвищення технологічних та експлуатаційних властивостей бетону передбачається використання комплексної хімічної добавки, яка поєднує функції суперпластифікатора та повітрязалучувача. Суперпластифікатор дозволяє зменшити водоцементне відношення без втрати рухливості суміші, що сприяє підвищенню міцності та водонепроникності бетону. Повітрязалучувальна складова забезпечує утворення рівномірно розподілених замкнених пор, необхідних для підвищення морозостійкості бетону в умовах експлуатації класу XF3.

Таким чином, прийняті вихідні дані повністю відповідають вимогам до важкого морозостійкого бетону класу C45/55 та є достатніми для подальшого розрахунку складу бетонної суміші, визначення водоцементного відношення, витрати цементу, води, заповнювачів і хімічних добавок.

### **3.2 Розрахунок складу бетону**

#### **Визначення водо цементного відношення**

Активність цементу  $R_{ц} = 52,5 \text{ МПа}$ . Коефіцієнт якості заповнювачів для гранітного щебеню:  $A = 0,65$ . Розрахункова міцність бетону у віці 28 діб (з урахуванням статистичного запасу для СС2, коефіцієнт 0,8):

$$R_{б} = f_{ckcube} / 0,8 = 55 / 0,8 = 68,75 \text{ МПа}$$

Розрахунок водо цементного відношення проводимо за формулою Болломея-Скрамтаєва:

$$В/Ц = \frac{A \cdot R_{ц}}{R_{б} + 0,5 \cdot A \cdot R_{ц}} = \frac{0,65 \cdot 52,5}{68,75 + 0,5 \cdot 0,65 \cdot 52,5} = 0,4$$

Розраховане  $V/C = 0,40$  менше допустимого для XF3  $(V/C)_{\max} = 0,50$ , що підтверджує можливість отримання необхідної міцності C45/55 при прийнятих обмеженнях. З технологічних міркувань для забезпечення оптимальної щільності структури і мінімізації водопроникності приймаємо  $V/C = 0,40$ .

### **Визначення витрати води**

Початкові значення витрати води приймаємо за таблицею 7.6 з [10] з врахуванням найбільшого розміру крупного заповнювача та осадки конуса бетонної суміші:

$$V_0 = 185 \text{ л/м}^3$$

Введення суперпластифікатора дозволяє знизити водопотребу суміші на 20–25% при збереженні заданої рухомості. З урахуванням ефекту водозниження суперпластифікатором (коефіцієнт 0,80):

$$V = V_0 \cdot 0,8 = 185 \cdot 0,8 = 148 \text{ л/м}^3$$

Введення повітрозалучувальної добавки збільшує рухомість суміші, що компенсує можливе незначне загустіння при зниженому  $V/C$ .

### **Визначення витрати цементу**

$$C = \frac{V}{V/C} = \frac{148}{0,4} = 370 \text{ кг/м}^3$$

Перевіряємо з нормативним мінімумом для XF3:  $C_{\min} = 300 \text{ кг/м}^3$ . Умова виконана:  $C = 375 \text{ кг/м}^3 > 300 \text{ кг/м}^3$ .

### **Визначення витрати заповнювачів**

Розраховуємо показник пустотності крупного заповнювача за формулою з [10]:

$$V_{\text{пуст}} = 1 - \frac{\rho_{\text{щ сер}}}{\rho_{\text{щ іст}}} = 1 - \frac{1450}{2680} = 1 - 0,54 = 0,46$$

Коефіцієнт  $\alpha$  розсунення зерен щебеню приймаємо по таблиці А.3 з [11]

$$\alpha = 1,48$$

Витрата крупного заповнювача:

$$\text{Щ} = \frac{1000}{\frac{1000}{\rho_{\text{щ іст}}} + \alpha \cdot \frac{1000}{\rho_{\text{щ сер}}} \cdot V_{\text{пуст}}} = \frac{1000}{\frac{1000}{2680} + 1,48 \cdot \frac{1000}{1450} \cdot 0,46} = 1190 \text{ кг/м}^3$$

Витрата дрібного заповнювача:

$$\text{П} = [1000 - (\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц іст}}} + \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{щ іст}}} + \text{В})] \cdot \rho_{\text{п іст}} = [1000 - (\frac{370}{3,1} + \frac{1190}{2,68} + 148)] \cdot 2,64 = 762 \text{ кг/м}^3$$

### Визначення витрати добавок

Суперпластифікатор Sika ViscoCrete - 5 - 600 буде вводитися у кількості 0,8% від маси цементу відповідно до рекомендацій виробника добавки [13].

Тож його витрата становитиме:

$$\text{ПЛ} = \text{Ц} \cdot 0,8 = 370 \cdot 0,008 = 2,96 \text{ кг/м}^3$$

Повітрозалучувальна добавка MICROPORAN згідно рекомендацій виробника [14] вводитиметься в кількості 0,1% від маси цементу.

Тоді її витрати буде:

$$\text{ПД} = \text{Ц} \cdot 0,001 = 370 \cdot 0,001 = 0,37 \text{ кг/м}^3$$

Загальний склад товарного гідротехнічного бетону наведений в таблиці 3.1

**Таблиця 3.1 – Склад товарного гідротехнічного бетону**

Компонент	Кількість, кг/м <sup>3</sup>
Цемент СЕМ І-52,5R	370
Щебінь з граніту	1190
Пісок з кварцу	762
Вода	148
Пластифікатор	2,96
Повітрозалучувач	0,37

## 4. ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА

### 4.1 Вихідні дані:

річна програма випуску  $P_{\max} = 11\,500 \text{ м}^3/\text{рік}$ ,

розрахунковий фонд часу  $T_{\text{р.год}} = 4\,048 \text{ год/рік}$ ,

коефіцієнт виходу сумішей у щільному тілі  $K_v = 0,67$

коефіцієнт нерівномірності видачі товарного бетону  $K_n = 0,7$

коефіцієнт річного використання обладнання  $K_{\text{н}} = 0,8$

Для виробництва гідротехнічного бетону С45/55 (XF3) з підвищеними вимогами до однорідності суміші та точності дозування обраний змішувач примусової дії з обсягом барабана по об'єму завантажуваних матеріалів  $V_b = 550 \text{ л}$ .

4.2 Визначення часу виготовлення одного замішування товарного бетону з врахування типу обраного змішувального устаткування.

Приймаємо час виконання окремих технологічних переділів наступним:

- завантаження компонентів бетонної суміші ( $t_2$ ) – 2 хв.;
- перемішування компонентів бетонної суміші ( $t_1$ ) – 2,0 хв.;
- вивантаження бетонної суміші ( $t_3$ ) – 1,0 хв.;
- повернення перекинутого барабана у вихідне положення ( $t_4$ ) – 0 хв.

Загальна тривалість:

$$t_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$

$$t_{\text{ц}} = 2 + 2 + 1 + 0 = 5 \text{ хвилини.}$$

4.3 Визначення числа замішувань за одну годину, які будуть видані одним змішувачем:

$$n_{36} = \frac{60 \cdot K_n}{t_{\text{ц}}}, \text{ шт.}$$

$$n_{36} = \frac{60 \cdot 0,7}{5} = 8,4 \text{ шт.}$$

4.4. Визначення годинної продуктивності одного змішувача:

$$P_{\text{год}} = \frac{V_{\text{б}} \cdot n_{\text{зб}} \cdot K_{\text{в}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{год}$$

$$P_{\text{год}} = \frac{550 \cdot 8,4 \cdot 0,67}{1000} = 3,1 \text{ м}^3/\text{год}$$

4.5 Визначення кількості змішувачів, що знадобиться щоб задовольнити річну потребу (план) у товарному гідротехнічному бетоні заданої якості:

$$n_{\text{зп}} = \frac{P_{\text{тах}} \cdot K_{\text{и}}}{T_{\text{рiчгод}} \cdot P_{\text{год}}}, \text{ шт.}$$

$$n_{\text{зп}} = \frac{11500 \cdot 0,8}{4048 \cdot 3,1} = 0,7$$

Так як кількість змішувачів може бути тільки цілим числом, приймаємо, що буде працювати один змішувач бетонних. Додатково на заводі розміщується змішувач у резерв на випадок поломок чи технічного обслуговування.

4.6 Визначення розрахункової потужності заводу:

$$P_{\text{рiч}} = P_{\text{год}} \cdot T_{\text{рiч.год}} \cdot n_{\text{зп}}, \text{ м}^3$$

$$P_{\text{рiч}} = 3,1 \cdot 4048 \cdot 1 = 12448,8 \text{ м}^3$$

Тож, виходячи з проведених розрахунків, робимо висновок, що прийняті рішення щодо організації роботи заводу є економічно та технологічно прийнятними, адже за таких рішень вдасться не тільки досягти поставленої мети (плану) по виробництву товарного гідротехнічного бетону, але й перевершити її на 9%.

4.7. Встановлення кількості вихідних компонентів товарного гідротехнічного бетону заданої якості, які будуть витрачатися у робочу зміну, робочу добу.

Цемент:

- зміна:  $C_3 = C \cdot P_{\text{год}} \cdot t_{\text{зм}}$

$$C_3 = 370 \cdot 3,1 \cdot 8 = 9176 \text{ кг}$$

- доба:  $C_{\text{д}} = C_3 \cdot n_{\text{зм}}$

$$\text{Щ}_\text{д} = 9176 \cdot 2 = 18352 \text{ кг}$$

Щебінь:

$$\text{- зміна: } \text{Щ}_\text{з} = \text{Щ} \cdot \text{P}_\text{год} \cdot \text{t}_\text{зм}$$

$$\text{Щ}_\text{з} = 1190 \cdot 3,1 \cdot 8 = 29512 \text{ кг}$$

$$\text{- доба: } \text{Щ}_\text{д} = \text{Щ}_\text{з} \cdot \text{n}_\text{зм}$$

$$\text{Щ}_\text{д} = 29512 \cdot 2 = 59024 \text{ кг}$$

Пісок:

$$\text{- зміна: } \text{П}_\text{з} = \text{П} \cdot \text{P}_\text{год} \cdot \text{t}_\text{зм}$$

$$\text{П}_\text{з} = 762 \cdot 3,1 \cdot 8 = 18897,6 \text{ кг}$$

$$\text{- доба: } \text{П}_\text{д} = \text{П}_\text{з} \cdot \text{n}_\text{зм}$$

$$\text{П}_\text{д} = 18897,6 \cdot 2 = 37795,2 \text{ кг}$$

Вода:

$$\text{- зміна: } \text{В}_\text{з} = \text{В} \cdot \text{P}_\text{год} \cdot \text{t}_\text{зм}$$

$$\text{В}_\text{з} = 148 \cdot 3,1 \cdot 8 = 3670,4 \text{ кг}$$

$$\text{- доба: } \text{В}_\text{д} = \text{В}_\text{з} \cdot \text{n}_\text{зм}$$

$$\text{В}_\text{д} = 3670,4 \cdot 2 = 7340,8 \text{ кг}$$

Пластифікатор:

$$\text{- зміна: } \text{ПЛ}_\text{з} = \text{ПЛ} \cdot \text{P}_\text{год} \cdot \text{t}_\text{зм}$$

$$\text{ПЛ}_\text{з} = 2,96 \cdot 3,1 \cdot 8 = 73,4 \text{ кг}$$

$$\text{- доба: } \text{ПЛ}_\text{д} = \text{ПЛ}_\text{з} \cdot \text{n}_\text{зм}$$

$$\text{ПЛ}_\text{д} = 73,4 \cdot 2 = 146,8 \text{ кг}$$

Повітрозалучувальна добавка:

$$\text{- зміна: } \text{ПД}_\text{з} = \text{ПД} \cdot \text{P}_\text{год} \cdot \text{t}_\text{зм}$$

$$\text{ПД}_\text{з} = 0,37 \cdot 3,1 \cdot 8 = 9,2 \text{ кг}$$

$$\text{- доба: } \text{ПД}_\text{д} = \text{ПД}_\text{з} \cdot \text{n}_\text{зм}$$

$$\text{ПД}_\text{д} = 9,2 \cdot 2 = 18,4 \text{ кг}$$

Представляємо отримані дані у вигляді таблиці (табл.. 4.1)

**Таблиця 4.1 – Потреба компонентів**

Компонент	Одиниця виміру	Потреба		
		1 кг/м <sup>3</sup>	змiна	доба
цемент	кг	370	9176	18352
пісок	кг	762	18897,6	37795,2
щебінь	кг	1190	29512	59024
вода	м <sup>3</sup>	148	3670,4	7340,8
пластифікатор	кг	2,96	73,4	146,8
повітрозалучувач	кг	0,37	9,2	18,6

Наступним етапом є розробка «поопераційного графіка». Цей документ розробляється на основі відомостей про прийняті тривалості технологічних переділів виготовлення товарного бетону. В нього також поміщають відомості про те, які саме працівники будуть їх виконувати, яка має бути їх кваліфікація та число. Також додають дані про задіяне устаткування.

Означений документ часто має вигляд таблиці. «Поопераційний графік» для виготовлення даного товарного гідротехнічного бетону наведений у таблиці 4.2.



## 5. ПРОЕКТУВАННЯ СПОРУД ЗАВОДУ

### 5.1. Вибір технологічної схеми виробництва

Технологічна схема заводу з виробництва (рис. 5.1) товарного гідротехнічного бетону C45/55 включає: зону А – прийом, розвантаження та зберігання сировинних матеріалів (склади цементу та заповнювачів, ємності для рідких добавок); зону В – безпосереднє виготовлення бетонної суміші (головний корпус із бетонозмішувальним відділенням та автоматичною системою дозування); зону С – видавання готової продукції споживачам.

Для проєктованого заводу потужністю 11 500 м<sup>3</sup>/рік обрана баштова (вертикальна) технологічна схема виробництва з центральною вежею-змішувачем. Ця схема характеризується мінімальними горизонтальними розмірами заводу, що дозволяє скоротити площу забудови та зменшити капітальні витрати. Матеріали рухаються переважно під дією гравітації (зверху вниз), що знижує енергоспоживання на транспортування.

Технологічний процес виробництва товарного бетону класу C45/55 для умов експлуатації XF3 організований за безперервною схемою з максимальним рівнем механізації та автоматизації виробничих операцій. Прийнята технологічна схема забезпечує стабільність складу бетонної суміші, високу точність дозування компонентів, необхідну продуктивність підприємства та отримання готової продукції, що відповідає вимогам чинних нормативних документів.

Виробничий цикл починається з приймання та зберігання цементу. Цемент марки І-52,5R доставляється на підприємство автоцементовозами та розвантажуються у притрасовий силосний склад. Розвантаження здійснюється пневматичним способом через герметичні трубопроводи, що дозволяє запобігти втратам матеріалу та зменшити запилення навколишнього середовища. Для забезпечення безперебійної роботи заводу створюється нормативний запас цементу, достатній для декількох діб роботи підприємства.

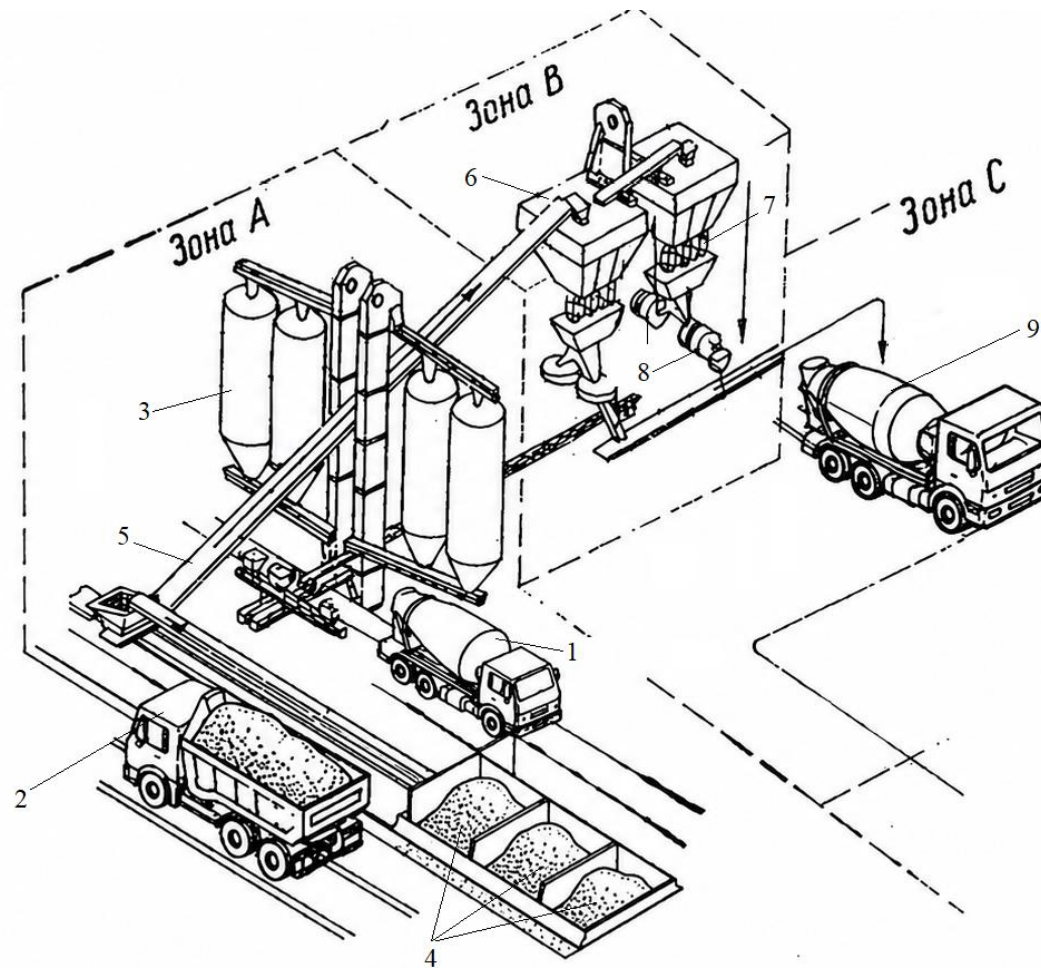


Рис. 5.1 Технологічна схема заводу з випуску товарного гідротехнічного бетону:

- 1 – доставка цементу; 2 – доставка заповнювачів; 3 – силоси цементу; 4 – склади заповнювачів; 5 – конвеєрна система;  
 6 – видаткові бункери; 7 – блок дозаторів; 8 – бетонозмішувачі; 9 – відвантаження готової суміші

Із силосного складу цемент подається до головного виробничого корпусу за допомогою системи пневматичного транспортування. Повітряний потік переміщує цемент по трубопроводах у надбункерне відділення, де він надходить до окремих видаткових бункерів. Такий спосіб транспортування забезпечує високу продуктивність, герметичність процесу та мінімізацію втрат матеріалу.

Крупний і дрібний заповнювачі доставляються на підприємство автомобільним транспортом. Гранітний щебінь фракції 20–40 мм та кварцовий пісок розвантажуються на естакадно-бункерному складі заповнювачів, де розміщуються у спеціальних відсіках. Роздільне зберігання матеріалів виключає можливість їх змішування та забезпечує стабільність зернового складу бетонної суміші.

Подача заповнювачів до головного корпусу здійснюється системою стрічкових конвеєрів. Із витратних бункерів складу матеріали транспортуються до ковшового підйомника, який подає їх у надбункерне відділення бетонозмішувального цеху. Така схема транспортування дозволяє ефективно використовувати вертикальне компонування баштового типу та зменшити енергетичні витрати на переміщення матеріалів.

У надбункерному відділенні розміщуються видаткові бункери для цементу, піску та щебеню. У кожному бункері підтримується добовий запас відповідного матеріалу. Роздільне зберігання компонентів виключає їх взаємне забруднення та забезпечує безперервність виробничого процесу навіть при тимчасових перебоях у постачанні сировини.

Важливою складовою технологічного процесу є підготовка хімічних добавок. Для отримання необхідних показників рухливості, морозостійкості та довговічності бетону використовуються суперпластифікатор і повітрозалучувальна добавка. Приготування робочих розчинів здійснюється спеціальних ємностях-розчинниках відділення добавок. Після приготування розчини подаються до дозувальної системи та використовуються при кожному замісі відповідно до розрахованої рецептури.

Після накопичення необхідного запасу матеріалів виконується автоматичне дозування компонентів. Дозування цементу, піску та щебеню здійснюється за масою за допомогою вагових дозаторів, що забезпечують високу точність подачі матеріалів. Вода та хімічні добавки дозуються об'ємним способом із використанням спеціальних дозувальних пристроїв. Автоматизована система керування контролює послідовність операцій та точність дозування кожного компонента.

Після завершення дозування компоненти подаються до бетонозмішувача у визначеній технологічною інструкцією послідовності. Спочатку до змішувача надходять частина води та заповнювачі, після чого подається цемент і залишок води разом із хімічними добавками. Така схема завантаження забезпечує рівномірний розподіл компонентів у суміші та сприяє підвищенню якості готового бетону.

Приготування бетонної суміші здійснюється у примусовому бетонозмішувачі. Використання змішувача примусової дії забезпечує інтенсивне перемішування компонентів та отримання однорідної структури бетонної суміші навіть при низькому водоцементному відношенні, характерному для бетонів високих класів міцності. Тривалість змішування приймається 120 секунд, що гарантує повне перемішування всіх складових та рівномірний розподіл повітрозалучувальної добавки.

Оскільки бетон призначений для роботи в умовах класу експлуатації XF3, особливе значення має контроль вмісту залученого повітря. Для забезпечення нормативного показника не менше 4 % після приготування суміші виконується контрольне визначення вмісту повітря відповідно до вимог ДСТУ 9208:2022. Контроль проводиться для кожного замісу або через кожні три заміси залежно від режиму роботи підприємства та стабільності технологічного процесу. У разі відхилення показників від встановлених значень виконується коригування дозування повітрозалучувальної добавки.

Після завершення контролю якості готова бетонна суміш вивантажується через розвантажувальний пристрій змішувача безпосередньо в автобетоновози.

Транспортування продукції до місця будівництва здійснюється спеціалізованим транспортом із постійним перемішуванням суміші для запобігання її розшаруванню та втраті рухливості.

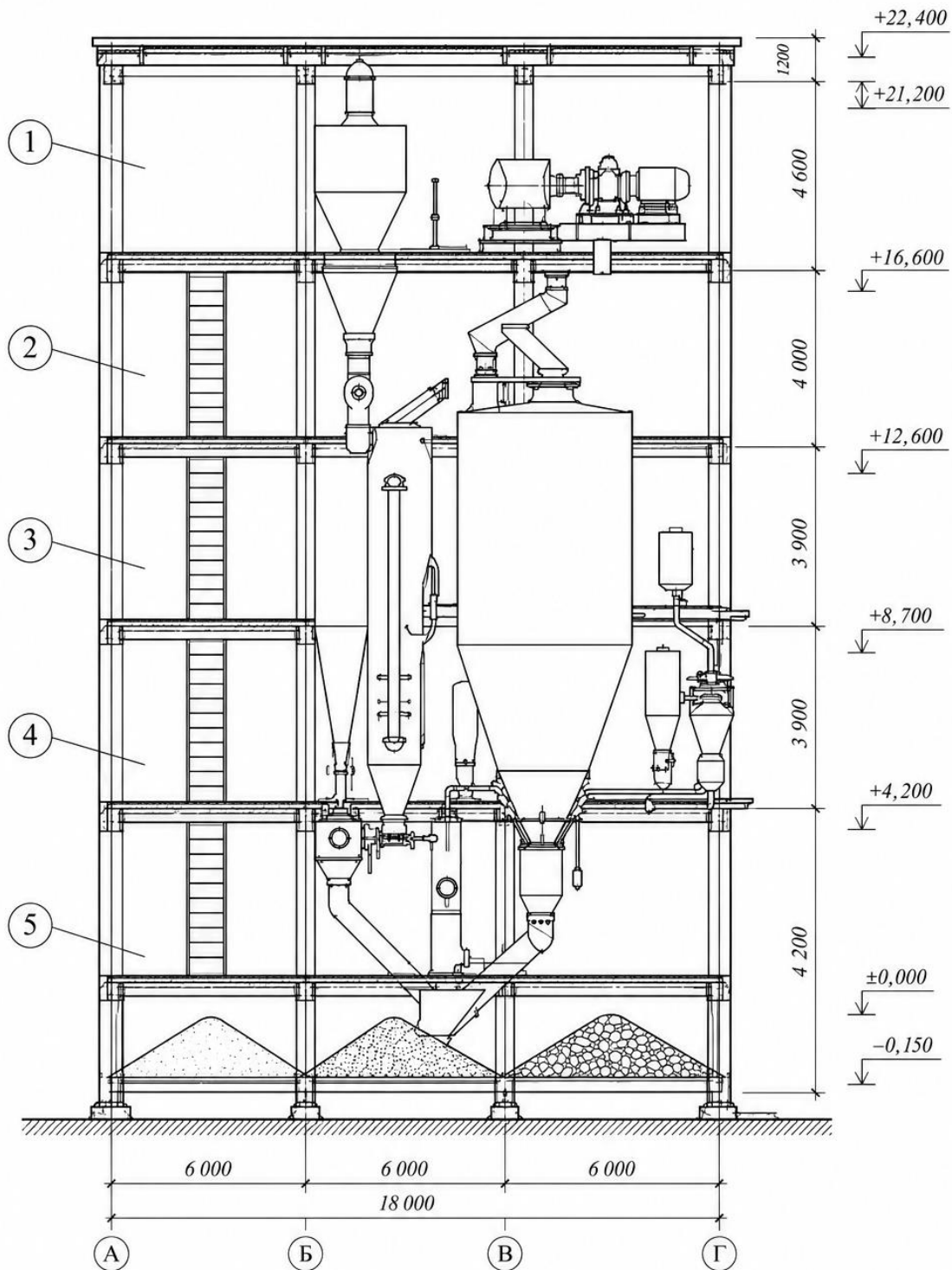
Відвантаження бетону споживачам здійснюється відповідно до затвердженого графіка поставок. З метою забезпечення необхідних технологічних властивостей бетонної суміші час від моменту її виготовлення до укладання в конструкцію не повинен перевищувати 45 хвилин при температурі навколишнього середовища +20 °С. За нижчих температур цей термін може коригуватися відповідно до вимог нормативної документації та властивостей застосованих добавок.

Таким чином, прийнята технологічна схема забезпечує безперервне виробництво товарного бетону класу С45/55, точне дозування всіх компонентів, ефективний контроль якості та отримання бетонної суміші з необхідними показниками міцності, морозостійкості та довговічності для експлуатації в умовах класу XF3.

## 5.2. Проектування основного (головного) корпусу заводу

Головний корпус заводу проектується у вигляді багатоповерхової вежоподібної споруди. Відповідно до технологічної схеми корпус включає п'ять відділень: надбункерне (5-й поверх), бункерне (3–4-й поверхи), дозаторне (2-й поверх), змішувальне (1-й поверх), відділення розвантаження (0-й рівень) (рис. 5.2).

### Розріз 1-1



- 1 – надбункерне відділення
- 2 – дозаторне відділення
- 3 – бункерне відділення
- 4 – змішувальне відділення
- 5 – відділення складу заповнювачів

Рис.5.2. Схема головного корпусу заводу

Для 1 робочого обраного бетонозмішувача з одним напрямком транспортування бетонної суміші обрана однорядна схема розташування.

Габаритні розміри обраного змішувача: довжина  $L_{зм} = 3,0$  м, ширина  $V_{зм} = 2,4$  м, висота  $h_{зм} = 2,1$  м.

Мінімальні розміри приміщення змішувального відділення:

Ширина:  $B = V_{зм} + 2 \cdot L_1 \geq 2,4 + 2 \cdot 1,9 = 6,2$  м  $\rightarrow$  приймаємо 6,0 м (уніфіковане)

Довжина:  $L = L_{зм} + L_1 + L_2 \geq 3,0 + 1,9 + 1,9 = 6,8$  м  $\rightarrow$  приймаємо 6,0 м (з урахуванням компактності)

Висота змішувального відділення:

$H_{зм} = h_{зм} + h_{тельфера} + h_{підймача} = 2,1 + 0,8 + 0,8 = 3,7$  м  $\rightarrow H = 4,2$  м

Добовий запас компонентів зберігається у видаткових бункерах. Об'єм бункерів для кожного компоненту при добовій потребі (з табл. 4.2):

Цемент:  $V_{бунк.ц} = C_{д} / \rho_{н.ц} = 18352 / 1000 = 18,4$  м<sup>3</sup>

Пісок:  $V_{бунк.п} = П_{д} / \rho_{н.п} = 37795,2 / 1550 = 24,4$  м<sup>3</sup>

Щебінь:  $V_{бунк.щ} = Ш_{д} / \rho_{н.щ} = 59024 / 1450 = 40,7$  м<sup>3</sup>

Загальний об'єм бункерів:  $V_{бунк} = 18,4 + 24,4 + 40,7 = 83,5$  м<sup>3</sup>.

Площа бункерного відділення (план  $6 \times 6$  м) за вирахуванням проходів по периметру (1,2 м):

$S_{бунк} = (6 - 2 \cdot 1,2) \cdot (6 - 2 \cdot 1,2) = 3,6 \cdot 3,6 = 12,96$  м<sup>2</sup>

Висота бункерного відділення:

$H_{бв} = V_{бунк} / S_{бунк} = 83,5 / 12,96 = 6,4$  м  $\rightarrow$  приймаємо 2 поверхи по 3,2 м.

Загальна висота головного корпусу

– Надбункерне відділення:  $h = 3,0$  м

– Бункерне відділення (2 поверхи):  $h = 6,4$  м

– Дозаторне відділення:  $h = 3,0$  м

– Змішувальне відділення:  $h = 4,2$  м

– Відділення розвантаження:  $h = 4,2$  м

$H_{корп} = 3,0 + 6,4 + 3,0 + 4,2 + 4,2 = 20,8$  м.

### 5.3. Проектування складів компонентів бетонної суміші

#### 5.3.1. Розрахунок складів в'язучих речовин

Цемент зберігається в силосному складі.

Місткість складу:

$$V = \frac{Цд \cdot n \cdot K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 \cdot K5}{Пв}, \text{ м}^3, \text{ де:}$$

Цд – добова витрата в'язучого даного виду і марки, кг;

n – нормативний запас збереження в'язучого, діб;

K1 – коефіцієнт нерівномірності надходження в'язучого на склад;

K2 – коефіцієнт нерівномірності споживання в'язучого;

K3 – коефіцієнт можливих втрат в'язучого при розвантаженні;

K4 – коефіцієнт використання технологічного устаткування;

K5 – коефіцієнт заповнення ємності складу;

Пв – густина в'язучого в насипному стані, кг/м<sup>3</sup>» [15].

Приймаємо:

$$n = 7 \text{ діб};$$

$$K1 = 1,2 \text{ (для авто)};$$

$$K2 = 1,3;$$

$$K3 = 1,04;$$

$$K4 = 0,943;$$

$$K5 = 0,9;$$

$$Пв = 1000 \text{ кг/м}^3.$$

$$V = \frac{18352 \cdot 7 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,04 \cdot 0,943 \cdot 0,9}{1000} = 176 \text{ м}^3$$

Приймаємо 2 силоси ємністю по 100 м<sup>3</sup> кожен – металеві силоси діаметром 3,0 м та висотою 16,0 м. Загальна ємність:  $2 \times 100 = 200 \text{ м}^3 > 176 \text{ м}^3$

#### 5.3.2. Розрахунок складів заповнювачів

Для зберігання щебеню та піску проектується естакадно-бункерний склад. Розрахунок виконується окремо для кожного виду заповнювача.

$$\llcorner V = \frac{Z_d \cdot n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4}{P_z}, \text{ м}^3, \text{ де:}$$

$Z_d$  – добова витрата заповнювача даного виду, кг;

$n$  – нормативний запас збереження заповнювачів, діб;

$K_1$  – коефіцієнт нерівномірності надходження заповнювача даного виду на склад;

$K_2$  – коефіцієнт нерівномірності споживання заповнювача даного виду;

$K_3$  – коефіцієнт можливих втрат заповнювача даного виду при розвантаженні;

$K_4$  – коефіцієнт використання технологічного устаткування;

$K_5$  – коефіцієнт заповнення ємності складу;

$P_v$  – густина заповнювача даного виду насипна, кг/м<sup>3</sup>» [15].

Для складу і щебеню і піску приймаємо:

$$n = 7 \text{ діб};$$

$$K_1 = 1,2 \text{ (для авто)};$$

$$K_2 = 1,3;$$

$$K_3 = 1,04;$$

$$K_4 = 0,943.$$

Зберігання щебеню:

$$V = \frac{59024 \cdot 7 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,04 \cdot 0,943}{1450} = 276,9 \text{ м}^3$$

Зберігання піску:

$$V = \frac{37795,2 \cdot 7 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,04 \cdot 0,943}{1550} = 453,9 \text{ м}^3$$

Загальна місткість складу заповнювачів:  $V = 276,9 + 453,9 = 730,8$  м<sup>3</sup>.

Приймається естакадно-бункерний склад: для щебеню – 3 відсіки по 160 м<sup>3</sup> (разом 480 м<sup>3</sup>); для піску – 2 відсіки по 150 м<sup>3</sup> (разом 300 м<sup>3</sup>). Загальна ємність 780 м<sup>3</sup> > 730,8 м<sup>3</sup>.

### 5.3.3. Розрахунок складів добавок

Ємності, де будуть зберігатися суперпластифікатора та повітрозалучувач розраховуються за формулою:

$$V_{\text{Д}} = \frac{D_{\text{доб}} \cdot n \cdot K_1}{\rho}, \text{ м}^3 \text{ де}$$

$D_{\text{доб}}$  – витрата добавки даного виду на добу, кг;

$n$  – запас зберігання добавки, діб;

$K_1$  – коефіцієнт заповнення ємності;

$\rho$  – густина добавки, кг/м<sup>3</sup>.

Приймаємо:

$$СП_{\text{доб}} = 146,8 \text{ кг};$$

$$ПД_{\text{доб}} = 18,4 \text{ кг};$$

$$n = 15 \text{ діб};$$

$$K_1 = 0,9$$

$$\rho_{\text{сп}} = 1075 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{пд}} = 1200 \text{ кг/м}^3.$$

Ємність для суперпластифікатора:

$$V_{\text{пл}} = \frac{146,8 \cdot 15 \cdot 0,9}{1075} = 1,8 \text{ м}^3 = 1800 \text{ л.}$$

Ємність для повітрозалучувача:

$$V_{\text{пд}} = \frac{18,4 \cdot 15 \cdot 0,9}{1200} = 0,21 \text{ м}^3 = 210 \text{ л.}$$

## 6. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ

Контроль якості виробництва здійснюється лабораторією підприємства відповідно до [2] та [16]. Для бетону класу C45/55 та умов XF3 (ступінь відповідальності CC2) система контролю є особливо суворою і включає три рівні: вхідний, операційний та приймальний контроль. Ведення документації та журналів лабораторних випробувань є обов'язковим.

### Вхідний контроль матеріалів

Вхідний контроль кожної партії матеріалів (таблиця 6.1) включає перевірку супровідних документів (сертифікатів, паспортів якості) і проведення контрольних випробувань. Для відповідального бетону CC2 додатково перевіряється відповідність матеріалів вимогам класу XF3.

Таблиця 6.1 – Вхідний контроль матеріалів

Матеріал	Показники, що контролюються	Метод контролю	Частота контролю
Цемент І-52,5R	Клас міцності (2 і 28 діб), НГ, терміни тужавлення	ДСТУ Б В.2.7-46:210	Кожна партія (вагон)
Щебінь гранітний	Зерновий склад, вміст пилу, дробимість F300, водопоглин., лужно-кремн. реакція	ДСТУ Б В.2.7-74-98	Кожна партія; F і ЛКР – 1 раз/квартал
Пісок кварцовий	Зерновий склад, Мкр, вміст пилу, органічних речовин	ДСТУ Б В.2.7-29-95	1 раз на 10 днів
Вода	pH, хлориди, сульфати, жорсткість	ДСТУ EN 1008:2022	1 раз на квартал
Хімічні добавки	Щільність розчину, вміст сухої речовини	Тех. умови	Кожна партія

### Операційний контроль

Операційний контроль здійснюється безпосередньо під час виробництва і є особливо важливим для бетону XF3, де вміст повітря є критичним параметром.

Операційний контроль є одним із найважливіших елементів системи забезпечення якості під час виробництва бетонної суміші. Його основним завданням є своєчасне виявлення та усунення відхилень від встановленого

технологічного режиму безпосередньо в процесі виготовлення продукції. Особливого значення операційний контроль набуває при виробництві бетону класу C45/55 для умов експлуатації XF3, оскільки довговічність такого бетону значною мірою залежить не лише від міцності, але й від точності дотримання рецептури, водоцементного відношення та вмісту залученого повітря.

Контроль технологічного процесу здійснюється на всіх стадіях виробництва бетонної суміші та охоплює перевірку роботи дозувального обладнання, параметрів змішування, характеристик свіжоприготованої суміші та правильності використання хімічних добавок. Результати контролю фіксуються у виробничих журналах та використовуються для оперативного коригування технологічного процесу.

Одним із найважливіших показників є точність дозування компонентів бетонної суміші. Навіть незначні відхилення від розрахункового складу можуть призвести до зміни міцності, морозостійкості та інших експлуатаційних характеристик бетону. Для забезпечення стабільності властивостей готової продукції проводиться щозмінна перевірка роботи дозувального обладнання шляхом контрольного зважування матеріалів. Відповідно до технологічних вимог допустимі відхилення становлять не більше  $\pm 1\%$  для цементу,  $\pm 2\%$  для заповнювачів,  $\pm 1\%$  для води та  $\pm 2\%$  для хімічних добавок. У випадку виявлення відхилень виконують регулювання дозаторів та повторну перевірку їх роботи.

Важливим параметром технологічного процесу є тривалість перемішування бетонної суміші. Недостатній час змішування може призвести до нерівномірного розподілу компонентів, утворення зон із різною концентрацією цементного тіста та погіршення однорідності бетону. Надмірне перемішування також небажане, оскільки може викликати втрату залученого повітря та зміну консистенції суміші. Для проектного виробництва прийнято тривалість перемішування 120 секунд, яка забезпечується автоматизованою системою керування бетонозмішувачем. Контроль цього параметра здійснюється автоматично для кожного замісу, що дозволяє

виключити вплив людського фактора та гарантувати стабільність технологічного процесу.

Особливе значення для бетону класу експлуатації XF3 має контроль вмісту залученого повітря у свіжій бетонній суміші. Наявність рівномірно розподілених замкнених повітряних пор забезпечує компенсацію внутрішнього тиску, що виникає під час замерзання води в порах бетону, та значно підвищує його морозостійкість. Згідно з вимогами проекту вміст повітря у бетонній суміші повинен становити не менше 4,0 %. Контроль здійснюється не рідше ніж для кожного третього замісу, а також після будь-якої зміни складу бетонної суміші або режиму дозування повітрозалучувальної добавки. Визначення вмісту повітря проводиться методом тиску відповідно до вимог [2]. Якщо фактичний показник відхиляється від нормативного значення, виконується коригування витрати повітрозалучувальної добавки та повторний контроль.

Обов'язковому контролю підлягає температура бетонної суміші під час її видачі споживачеві. Температура впливає на швидкість процесів гідратації цементу, збереження рухливості суміші та умови подальшого тверднення бетону. Відповідно до технологічного регламенту вимірювання температури здійснюється не менше двох разів за зміну. У нормальних умовах температура готової бетонної суміші повинна знаходитися в межах від +5 °C до +30 °C. У зимовий період контроль виконується згідно з вимогами технологічної карти зимового бетонування, яка передбачає застосування підігрітих матеріалів утеплення транспортних засобів або використання спеціальних протиморозних заходів. Недотримання температурного режиму може негативно вплинути на процеси тверднення та кінцеві характеристики бетону. Важливою складовою операційного контролю є перевірка концентрації робочих розчинів хімічних добавок. Суперпластифікатори та повітрозалучувальні добавки істотно впливають на властивості бетонної суміші та готового бетону, тому їх концентрація повинна точно відповідати проектному складу. Контроль здійснюється щозмінно шляхом перевірки параметрів приготованих розчинів у відділенні добавок. У разі необхідності

виконується коригування концентрації або приготування нового розчину відповідно до технологічної рецептури.

Усі результати операційного контролю документуються в журналі виробничого контролю із зазначенням дати, часу проведення вимірювань, отриманих результатів та прізвища відповідальної особи. Аналіз накопичених даних дозволяє оцінювати стабільність технологічного процесу, своєчасно виявляти тенденції до відхилення показників якості та впроваджувати необхідні коригувальні заходи.

Таким чином, система операційного контролю забезпечує постійний нагляд за дотриманням технологічного режиму виробництва, гарантує стабільність властивостей бетонної суміші та створює необхідні умови для отримання бетону класу С45/55 з підвищеною морозостійкістю та довговічністю, що відповідає вимогам експлуатації в умовах класу XF3.

### **Приймальний контроль готової продукції**

Приймальний контроль (таблиця 6.2) кожної партії готової бетонної суміші здійснюється лабораторією до відвантаження споживачу. Особлива увага приділяється показникам, критичним для XF3.

**Таблиця 6.2 – Приймальний контроль якості бетонної суміші та бетону С45/55**

<b>Показник</b>	<b>Норм. значення</b>	<b>Метод (норм. документ)</b>	<b>Частота контролю</b>
Рухливість (ОК), см	5–9 (P2)	ДСТУ 9208:2022	Кожний автобетоновоз
Вміст повітря, %	≥ 4,0	ДСТУ 9208:2022	Кожний 3-й заміс
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	2370–2410	ДСТУ 9208:2022	2 рази на зміну
Міцність при стиску (28 діб)	≥ 55 МПа	ДСТУ EN 12390-3:2022	Серія 3 куби – 1 раз/зміну
Водонепроникність	≥ W8	ДСТУ Б В.2.7-170:2008	1 раз на місяць
Морозостійкість	≥ F300	ДСТУ СЕН/TR 15177:2019	1 раз на квартал
В/Ц відношення (контрольне)	≤ 0,40	Розрахунковий	Кожний заміс

Заключним етапом системи контролю якості продукції на бетонозмішувальному заводі є статистичний контроль міцності бетону та документальне підтвердження відповідності готової продукції встановленим вимогам. Для бетонів високих класів міцності, що використовуються у відповідальних конструкціях класу наслідків СС2, статистичний контроль має особливе значення, оскільки дозволяє оцінювати стабільність виробничого процесу та своєчасно виявляти відхилення від нормативних показників.

Статистичний контроль міцності бетону здійснюється відповідно до вимог ДСТУ 9208:2022 [2]. Контроль базується на систематичному відборі проб бетонної суміші та виготовленні контрольних зразків у вигляді кубів установлених розмірів. Зразки тверднуть у нормальних умовах протягом нормативного терміну, після чого піддаються випробуванню на стиск. Отримані результати використовуються для оцінки фактичної міцності бетону та перевірки відповідності продукції вимогам проектної документації.

Для забезпечення необхідного рівня надійності виробництва застосовуються методи статистичного аналізу результатів випробувань. Одним із найбільш ефективних інструментів контролю є використання контрольних карт Шухарта. Ведення таких карт дозволяє відстежувати зміну показників міцності в часі, оцінювати стабільність технологічного процесу та своєчасно виявляти випадки виходу параметрів за встановлені контрольні межі. Аналіз контрольних карт дає можливість визначати тенденції до зниження або підвищення міцності бетону ще до появи браку та оперативно коригувати технологічний режим виробництва.

Оскільки проєктований бетон призначений для відповідальних конструкцій класу СС2, нормативними документами передбачено підвищену частоту контролю. Це дозволяє забезпечити високий рівень достовірності результатів та гарантувати відповідність продукції встановленим вимогам щодо міцності, довговічності та експлуатаційної надійності. Частота відбору проб і кількість випробувань визначаються виробничою програмою підприємства та

вимогами стандартів до статистичного контролю.

Оцінювання відповідності партії бетону здійснюється на підставі результатів випробування контрольних зразків. Партія вважається такою, що відповідає вимогам нормативної документації, якщо середнє значення міцності трьох контрольних кубів становить не менше 55 МПа, що відповідає характеристичній кубиковій міцності бетону класу С45/55. У разі отримання результатів, нижчих за встановлене значення, проводяться додаткові перевірки причин відхилення, аналізуються результати операційного контролю та приймаються рішення щодо можливості використання або бракування продукції.

Крім контролю міцності, підприємство забезпечує повне документальне супроводження кожної партії бетонної суміші. На всі партії продукції, що відвантажуються споживачеві, оформлюється паспорт якості (документ про якість), який є офіційним підтвердженням відповідності бетонної суміші вимогам нормативних документів і проектної документації.

У паспорті якості зазначаються основні характеристики бетонної суміші та умови її застосування. Обов'язково вказується клас бетону, для якого виготовлена суміш, а також фактичний вміст залученого повітря, що є особливо важливим показником для бетонів класу експлуатації XF3. Додатково в документі наводяться дані про склад бетонної суміші, включаючи водоцементне відношення, витрату цементу на один кубічний метр бетону, види та кількість використаних заповнювачів.

Особлива увага приділяється інформації щодо застосованих хімічних добавок. У паспорті вказуються найменування суперпластифікатора, повітрозалучувальної добавки або комплексного модифікатора, їх дозування та призначення. Це забезпечує простежуваність виробничого процесу та можливість аналізу властивостей бетону протягом усього періоду експлуатації конструкції.

Документ про якість також містить інформацію про дату і точний час виготовлення бетонної суміші. Додатково зазначається граничний час

збереження рухливості суміші та час, до якого бетон повинен бути укладений у конструкцію без погіршення його технологічних характеристик. Наявність цих даних дозволяє споживачеві правильно організувати транспортування, приймання та укладання бетонної суміші на будівельному майданчику.

Усі паспорти якості реєструються в установленому порядку та зберігаються на підприємстві протягом п'яти років. Збереження архіву документів забезпечує можливість підтвердження якості продукції у разі проведення перевірок, виникнення претензій з боку замовників або необхідності аналізу експлуатаційних характеристик бетону через тривалий час після його виготовлення.

Таким чином, система статистичного контролю міцності та документального підтвердження якості продукції забезпечує стабільність виробництва бетону класу С45/55, гарантує відповідність готової продукції вимогам ДСТУ 9208:2022 [2] та створює необхідні умови для використання бетону у відповідальних будівельних конструкціях класу наслідків СС2.

Карта контролю якості зображена як таблиця 6.3.

**Таблиця 6.3 – Карта контролю якості**

**Карта контролю якості виробництва**

Основні операції, що підлягають контролю	Комплектація робочих креслень, НД, карт	Виготовлення бетонної суміші
Склад контролю	Наявність технічної документації (НД, робочі креслення, рецептура)	1. Точність дозування компонентів 2. Час перемішування 3. Консистенція 4. Температура суміші
Місце контролю	Техвідділ, цех	Дозатори, бетонозмішувач
Метод і засоби контролю	Порівняння з реєстром, візуальна перевірка	1. Спостереження за приладами, контроль ваг 2. Секундомір 3. В'язкозиметр 4. Термометр контактний
Періодичність і обсяг контролю	Перед запуском виробництва, при зміні рецептури	1. Кожен заміс 2. Кожний заміс 3. 2 рази в зміну та при новому складі 4. 2 рази в зміну взимку
Особа що контролює операцію	Інженер-технолог (ВТВ)	Лаборант (пп. 1,3,4), оператор БЗЦ (2)
Документ у якому реєструється результати контролю	Журнал обліку документації	Журнал лабораторних випробувань, змінний технологічний журнал
Особа, відповідальна за забезпечення технології	Головний технолог	Зав. лабораторією, начальник бетонозмішувального цеху

## **7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ**

Охорона праці на заводі товарного бетону регулюється НПАОП 26.6-1.02-00 [17], ДСН 3.3.6-039-99 [18], ДСН 3.3.6-042-99 [19] та загальними нормами промислової безпеки. При проектуванні підприємства для виробництва бетону С45/55 (XF3) необхідно враховувати специфічні ризики, пов'язані з роботою з хімічними добавками.

### **Санітарно-гігієнічні умови праці**

Відповідно до ДСН [19] для бетонозмішувальних виробництв встановлюються допустимі параметри виробничого середовища:

- температура повітря у виробничих приміщеннях:  $+16^{\circ}\text{C} \dots +28^{\circ}\text{C}$  (залежно від сезону)
- відносна вологість повітря: 40–75%
- рівень шуму на постійних робочих місцях:  $\leq 80$  дБА ([18])
- рівень загальної вібрації: не перевищує норм ДСН 3.3.6-039-99
- освітленість: не менше 150 лк (виробничі зони), 300 лк (зони управління та контролю)
- концентрація цементного пилу у робочій зоні:  $\leq 6$  мг/м<sup>3</sup> ([19])

### **Заходи з боротьби із запиленням**

Основними заходами з запобігання запиленості виробничого середовища є:

- аспіраційні установки у місцях перевантаження цементу, піску та щебеню
- герметизація дозаторного, бункерного та змішувального відділень
- зволоження заповнювачів на складі в сухий сезон
- забезпечення персоналу ЗІЗ органів дихання (респіратори FFP2 або аналог)
- регулярне вологе прибирання виробничих приміщень

– системи аспірації з рукавними фільтрами; ступінь очищення повітря  $\geq 99\%$

### **Безпека при роботі з хімічними добавками**

Застосування хімічних добавок (суперпластифікатор, ПЗД) потребує дотримання додаткових вимог безпеки. Персонал, що працює з добавками, повинен пройти спеціальний інструктаж та мати засоби захисту: хімічно стійкі рукавички, захисні окуляри, фартухи. При роботі з концентрованими добавками забороняється торкатися обличчя незахищеними руками.

Зберігання добавок: у закритих опалюваних приміщеннях при температурі  $+5^{\circ}\text{C} \dots +30^{\circ}\text{C}$ , окремо від цементу та кислотовмісних речовин. Ємності для зберігання повинні бути маркованими й щільно закритими.

### **Безпека при обслуговуванні обладнання**

При обслуговуванні бетонозмішувачів та дозаторів забороняється: чищення та ремонт обладнання під час роботи; виконання будь-яких операцій всередині барабана змішувача без письмового дозволу керівника та блокування пускового обладнання; усунення несправностей дозаторів під тиском. Всі рухомі частини обладнання (ремінні передачі, ланцюгові передачі, редуктори) повинні бути огорожені. Кнопки аварійної зупинки повинні бути чітко позначені та легко доступні.

### **Пожежна безпека**

Клас пожежної небезпеки виробництва – В (горючий пил). Заходи: заборона куріння у виробничих приміщеннях; вогнегасники ВП-5 та ящики з піском на всіх поверхах; автоматична пожежна сигналізація; заземлення обладнання та трубопроводів для захисту від статичної електрики (ПУЕ, ГОСТ 12.1.030); евакуаційні шляхи та виходи відповідно до [20].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1. Чинний від 2002-09-01. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 6 с.
2. ДСТУ 9208:2022. Бетони важкі. Технічні умови. На заміну ДСТУ Б В.2.7-43-96 ; чинний від 2023-09-01. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 24 с.
3. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. На заміну ДСТУ Б В.2.7-46-96 ; чинний від 2011-09-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України. 20 с.
4. ДСТУ Б EN 12620:2013 Заповнювачі для бетону (EN 12620:2002+A1:2008, IDT). Чинний від 2014-10-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 60 с.
5. ДСТУ Б В.2.7-74-98 Будівельні матеріали. Крупні заповнювачі природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація. З Поправкою. На заміну ГОСТ 25137-82 (СТ СЭВ 5445-85) у частині вимог до великих заповнювачів ; чинний від 1999-01-01. Київ : УкрНДНЦ, 1999. 16 с.
6. ДСТУ Б В.2.7-29-95 Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація. З Поправкою. На заміну ГОСТ 25137-82 (СТ СЭВ 5445-85) у частині вимог до дрібних заповнювачів ; чинний від 1996-01-01. Вид. офіц. Київ : Держкоммістобудування України. 21 с.
7. ДСТУ EN 1008:2022 Вода для замішування бетону. Технічні умови для відбирання проб, тестування та оцінювання придатності води, охоплюючи воду, відновлену під час виробництва бетону, як воду для змішування бетону (EN 1008:2002, IDT). Чинний від 2023-12-31. Чинний від 2023-12-31. Брюссель : CEN, 2022. 19 с.

8. ДСТУ 9208:2022. Бетони важкі. Технічні умови. На заміну ДСТУ Б В.2.7-43-96 ; чинний від 2023-09-01. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 24 с.

9. ДСТУ EN 934-2:2019 Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Частина 2. Добавки для бетонів. Визначення, вимоги, відповідність, маркування та етикетування (EN 934-2:2009+A1:2012, IDT). На заміну ДСТУ Б В.2.7-171:2008 (EN 934-2:2001, NEQ) ; чинний від 2025-02-01. Київ : ДП «УкрНДНЦ». 28 с.

10. ДСТУ-Н Б В.2.7-299-2013. Настанова щодо визначення складу важкого бетону. Чинний від 2014-07-01. Київ : Мінрегіон України, 2013. 91 с.

11. ДСТУ Б В.2.7-215:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу. На заміну ГОСТ 27006-86 ; чинний від 2010-09-01. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 18 с.

12. Дворкін Л.Й. Проектування складів бетонів (методи, приклади, вправи): навчальний посібник. Київ: «Кондор», 2018. 613 с

13 Sika ViscoCrete - 5 – 600. [Електронний ресурс] URL: <https://sika.zp.ua/dobavki-v-beton/sika-viscocrete-5-600/>

14. Повітровтягуюча добавка MICROPORAN. [Електронний ресурс] URL: <https://stachema.ua/vozduhovovleka-yuschaya-dobavka-microporan>

15. Проектування заводу з випуску товарного бетону. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / уклад. Шишкіна О.О., Шишкін О.О. Кривий Ріг: КНУ. 2023.36 с.

16. ДСТУ-Н Б А.3.1-34:2016 Настанова з виробництва бетонних і залізобетонних виробів. На заміну ДБН А.3.1-7-96 ; чинний від 2017-04-01. Київ : Мінрегіон України, 2016. 24 с.

17. НПАОП 26.6-1.02-00. Правила охорони праці для працівників бетонних і залізобетонних заводів (укр). На заміну Правила техніки безпеки і виробничої санітарії у виробництві збірних залізобетонних і бетонних конструкцій та виробів ; чинний від 2001-02-01. Вид. офіц. Київ : Мінпраці України, 2000, 96 с.

18. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та

інфразвуку. Чинний від 1999-12-01. Київ, 1999. 27 с.

19. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Чинний від 1999-12-01. Київ, 1999. 10 с.

20. ДБН В.2.2-9:2018 Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення. На заміну ДБН В.2.2-9-2009 ; чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. Київ, Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 48 с.

21. Шишкін О.О., Хільченко О.П. Технологія бетону: підручник. Кривий Ріг: «Видавничий дім», 2007. 376 с.