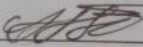


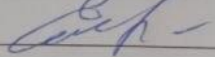
Міністерство освіти і науки України  
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Будівельний факультет  
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ, МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ


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 дрібнозернистого бетону заданої якості

Виконав: студент групи БІ-22-2 Петров Єгор Віталійович

Керівник випускної роботи  ст. вик., 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

  
"18" червня 2026 року

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ Петрову Єгору Віталійовичу

1. Тема роботи: Завод з випуску товарного дрібнозернистого бетону заданої якості

керівник роботи ст. вик., доц. Астахова Н. В.

затверджені наказом університету від "14" квітня 2026 року № 196с

2. Строк подання студентом роботи 11 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи

- Клас бетону за міцністю на стиск – С 20/25;
- Клас умов експлуатації конструкцій, які будуть виготовлені з бетону – ХС3;
- Ступінь відповідальності будівель і споруд, для виготовлення конструкцій яких призначено бетон – СС1;
- Розрахункова температура зовнішнього повітря при експлуатації бетону – t -5...-20°C;
- Марка бетонної суміші – РЗ;
- Планова потужність підприємства – 17000 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. виклад., доц. Астахова Н. В.		
2	ст. виклад., доц. Астахова Н. В.		
3	ст. виклад., доц. Астахова Н. В.		
4	ст. виклад., доц. Астахова Н. В.		
5	ст. виклад., доц. Астахова Н. В.		
6	ст. виклад., доц. Астахова Н. В.		
7	ст. виклад., доц. Астахова Н. В.		

7. Дата видачі завдання 14 квітня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи (днів)	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)

Петров С. В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Астахова Н. В.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра  
студента Мухаммада Тімура Хана

на тему: Завод з випуску товарного розширеного бетону

**Актуальність теми.** На сучасному етапі розвитку будівельної галузі України існує висока потреба у довговічних матеріалах для зведення надійних монолітних та збірних конструкцій. Використання розширеного бетону дозволяє ефективно компенсувати усадку, підвищити тріщиностійкість та водонепроникність споруд, що робить проектування нових та модернізацію існуючих заводів з його виготовлення актуальним інженерним завданням.

**Метою кваліфікаційної роботи** є проектування заводу з випуску розширеного 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 розширеного 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 розширеного товарного бетону заданої якості.

**Ключові слова:** бетонна суміш, розширний бетон, гіпсоглиноземистий цемент, бетонозмішувальний завод, технологічна схема.

**Обсяг кваліфікаційної роботи:** Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки, викладеної на 49 сторінках, яка складається зі вступу, семи розділів, які містять 3 рисунків, 6 таблиць, списку використаних джерел з 23 найменувань, 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	10
3. Визначення складу бетону	13
4. Організація роботи підприємства	16
5. Проектування споруд підприємства	22
5.1. Вибір технологічної схеми виробництва	22
5.2. Проектування головного корпусу заводу	24
5.3. Проектування складів бетонної суміші	26
5.3.1. Розрахунок складів в'язучої речовини	26
5.3.2. Розрахунок складів заповнювачів	27
5.3.3 Розрахунок складів добавок	27
6. Контроль якості	28
7. Охорона праці та техніка безпеки	38
Список використаної літератури	45

## Вступ

Бетон представляє собою універсальний, міцний та довговічний матеріал, який завдяки своїм фізико-механічним властивостям та технологічній гнучкості широко застосовується у будівництві різних об'єктів: від житлових будинків та загальногромадських будівель до мостів, доріг та гідротехнічних споруд. Його здатність адаптуватися до різних умов експлуатації, а також можливість регулювання складу та структури роблять бетон одним із найбільш ефективних будівельних матеріалів сучасності. Тому галузь виробництва бетонних сумішей є однією з основних напрямків у будівельній індустрії, яка відіграє важливу роль у розвитку інфраструктури та різних видів будівництва.

На будівельному ринку України спостерігається значне зростання попиту на якісні будівельні матеріали, у тому числі на товарний бетон. Заводи з виробництва товарного бетону відіграють важливу роль у забезпеченні будівельних об'єктів високоякісними бетонними сумішами, що сприяє підвищенню надійності та довговічності конструкцій, що зводяться. Товарний бетон повинен володіти заданою конкретними умовами експлуатації якістю, контрольованою на всіх етапах виробництва, що гарантує відповідність вимогам проектної документації та нормативних актів.

Перспективність створення та розвитку заводів із випуску товарного бетону в Україні обумовлена кількома факторами. По-перше, відновлення та модернізація інфраструктури потребують великих обсягів бетонних матеріалів, що стимулює розвиток виробничої бази. По-друге, локалізація виробництва бетонних сумішей знижує залежність від імпорту та сприяє зміцненню національної економіки.

Кваліфікаційна робота присвячена проектуванню заводу з випуску товарного дрібнозернистого бетону із заданою якістю.

## **Розділ 1. Характеристика бетонної суміші, бетону та його компонентів**

Дрібнозернистий бетон є різновидом бетону, особливістю якого є відсутність у складі крупних зернят заповнювачів (щебеню або гравію). Заповнювачем в такому бетоні виступають дрібні фракції піску та інших дрібнозернистих матеріалів. Завдяки цьому дрібнозернистий бетон має однорідну і щільну структуру, що істотно впливає на його фізико-механічні властивості і розширює можливості застосування.

Мікроструктура дрібнозернистого бетону характеризується значно більшою питомою поверхнею заповнювача порівняно зі звичайним бетоном. Оскільки дрібні частинки піску мають велику сумарну поверхню, для їх змочування та обволікання цементним тістом потрібна підвищена кількість в'язучого. Як наслідок, вміст цементу в дрібнозернистому бетоні є суттєво вищим, ніж у звичайному бетоні. Це формує більш щільну та однорідну цементну матрицю з меншою кількістю та розміром капілярних пор. Контактна зона між цементним каменем і заповнювачем у дрібнозернистому бетоні є більш розвиненою та рівномірною, що позитивно впливає на однорідність структури матеріалу. Водночас підвищений вміст цементного каменю збільшує усадкові деформації при твердінні, що необхідно враховувати при проектуванні складів.

За міцнісними характеристиками дрібнозернистий бетон не сильно програє звичайному важкому бетону, за умови, що компоненти були підібрані доцільно. Він характеризується підвищеною міцністю на розтяг при вигині і достатньою стійкістю до вібраційних навантажень. Крім того, дрібнозернистий бетон має покращену звукоізоляцію та підвищену щільність, що робить його ефективним матеріалом для конструкцій з особливими вимогами до герметичності та довговічності.

Порівняно зі звичайним бетоном дрібнозернистий має низку технологічних і експлуатаційних переваг:

1. Відзначається рівномірністю та однорідністю структури, що забезпечує стабільні фізико-механічні характеристики виробів.

2. Відсутність крупного заповнювача дозволяє виготовляти тонкостінні конструкції та вироби складної форми з мінімальною товщиною стінки – від 10 до 20 мм, що є важко досяжним для звичайного бетону.

3. Матеріал характеризується кращою оброблюваністю поверхні, що важливо при виробництві архітектурних виробів.

4. Висока водонепроникність робить дрібнозернистий бетон ефективним для гідротехнічних конструкцій та елементів, що зазнають тривалого зволоження.

Дрібнозернистий бетон широко застосовується при виробництві так званих «тонкостінних» збірних залізобетонних конструкцій, так як азбестоцементних і безазбестових листів, труб невеликого діаметра, тротуарних і фасадних плит, бортових каменів, елементів благоустрою та малих архітектурних форм. Також використовується при виготовленні штукатурних, ремонтних і захисних сумішей, а ще для ін'єктування тріщин та відновлення бетонних конструкцій. У монолітному будівництві дрібнозернистий бетон застосовують при влаштуванні підлогових стяжок, замонолічуванні стиків збірних конструкцій, облицюванні каналів та зведенні тонкостінних оболонок.

Товарний дрібнозернистий бетон, що виготовляється централізовано на спеціалізованих заводах і транспортується до місця укладання у готовому вигляді, дозволяє забезпечити стабільну якість суміші та скоротити виробничі витрати на будівельних майданчиках.

Бетон, що буде отриманий після затвердіння дрібнозернистої бетонної суміші, що вироблятиметься на заводі, що підлягає проектуванню, повинен буде володіти характеристиками, наведеними в таблиці 1, з врахуванням положень [1, 2].

## Задані показники дрібнозернистого бетону

Показник	Значення
Клас по міцності при стиску	C 20/25
Клас умов експлуатації	XC3
Клас наслідків (відповідальності) для конструкцій з бетону	CC1
Розрахункова температура зовнішнього повітря	-5... -20°C
Марка за морозостійкістю	F75
Марка за водонепроникністю	W2

Основним показником, за яким оцінюють якість товарного бетону (бетонної суміші) є така властивість як легкоукладальність. Заданий показником марки даного товарного дрібнозернистого бетону є P3, що означає, що бетонна суміш повинна мати осадку конуса в межах 10-15 сантиметрів.

Основними складниками даного товарного дрібнозернистого бетону є:

- в'язуча речовина;
- заповнювач дрібний;
- вода;
- пластифікуюча добавка.

Всі сировинні складники, які будуть застосовані повинні відповідати положенням відповідних норм.

В'язуча речовина є провідною складовою будь-якого бетону. Її основною функцією є забезпечення затвердіння суміші компонентів та отримання твердого композиту з необхідними фізико-механічними показниками. Більшість сучасних бетонів виготовляються на основі мінеральних в'язучих речовин. Значна частина мінеральних в'язучих для

твердіння потребують змішування із водою. Поєднання мінерального в'язучого з водою призводить до виникнення хімічної реакції – гідратації. Результатами проходження гідратації є перехід пластичної суміші компонентів у тверде тіло. В залежності від того, який вид в'язучого був обраний та в якій кількості воно використовується будуть отримані такі важливі властивості як міцність бетону, щільність, морозостійкість та інші.

В'язучою речовиною в даному випадку буде використаний портландцемент ПЦ II/A-III (СЕМ II/A-S) [3, 4, 5]. Такий вибір в'язучого обумовлений спроможністю даного типу цементу забезпечити задану міцність бетону, достатню швидкість затвердіння бетонної суміші.

Характеристики застосовуваного в'язучого наведені в таблиці 2.

Таблиця 2.

#### Характеристики цементу

Показник	Значення
Склад	клінкер 65-79% доменний шлак 21-35% додаткові компоненти 0-5%
Масова частка сульфур триоксиду	не більше 3,5%
Масова частка іонів хлориду	не більше 0,1%
Марка	400
Клас по міцності	32,5N
Активність	45 МПа
Розширення	не більше 10 мм
Початок тужавіння	не раніше 75 хвилин
Тонкість помелу	залишок на ситі не більше 15%
Теплота гідратації	не більше 300 Дж/г

Заповнювач в бетоні має також вагоме значення. По-перше, його використання дає змогу значно скоротити розхід цементу, що з економічної точки зору є вагомим фактором, адже цемент достатньо дорогий будівельний

матеріал. По-друге, наявність заповнювачу в бетоні поліпшує його стійкість до деформацій, морозостійкість, міцність.

Як вже було зазначено, дрібнозернистий бетон особливий тим, що до переліку його компонентів не входить зернистий матеріал значного розміру – максимальний розмір не повинен бути більше 4 мм. Відповідно, в такому бетоні підвищена витрата дрібного заповнювача. При цьому бетонний масив формується більш однорідним, що забезпечує вищу непроникність.

Сировина, з якої виготовляють заповнювач для бетонів може бути природного походження, а може бути штучного. Також для дрібнозернистих бетонів допускається використання зерен як щільних, так і пористих.

В даному випадку заповнювач буде з відсівів подрібнення вивержених гірських порід. Характеристики матеріалу відповідно до [6, 7, 8] наведені в таблиці 3.

Таблиця 3.

Характеристики дрібного заповнювача

Показник	Значення
Зерновий склад	від 2,5 до 5 мм
Показник ефективної сумарної питомої активності природних радіонуклідів	1 клас ( $A_{\text{еф}} \geq 370$ Бк/кг)
Насипна щільність	1600 кг/м <sup>3</sup>
Істинна щільність	2,2 г/см <sup>3</sup>
Модуль крупності	2
Вміст зерен, що проходять крізь сито № 2,5	не більше 15%
Вміст зерен понад 5 мм	не більше 15%
Вміст пиловидних і глинистих часток	не більше 2%
Вміст глини у	не більше 0,35%

грудках	
Характер форми зерен	Плаский
Характер поверхні зерен	Шорсткий
Марка за міцністю	1000
Порожнистість	не більше 30%
Вміст зерен сторонніх гірських порід	не більше 10%

Вода є однією з основних складових бетону, в тому числі дрібнозернистого. Її кількість та якість визначає структуру та характеристики бетону на рівні з в'язучою речовиною. В нормативному полі будівельної галузі присутній документ, який встановлює вимоги до води [9], наведені в таблиці 4.

Таблиця 4.

#### Вимоги до води для дрібнозернистого бетону

Показник	Допустимий вміст
вміст органічних ПАР, фенолів, цукрів	не більше 10 мг/л (кожного)
вміст розчинних солей	не більше 2000 мг/л
вміст іонів SO <sub>4</sub>	не більше 600 мг/л
вміст іонів Cl	не більше 350 мг/л
вміст зважених часток	не більше 200 мг/л
окислюваність	не більше 15 мг/л

Задану консистенцію (легкоукладальність) при виготовленні бетонної суміші можливо досягти шляхом коректного призначення витрат в першу чергу в'язучого та води. Як відомо, підвищення вмісту водної складової дозволяє збільшити рухомість. Проте це призводить до збільшення величини такого показника як водоцементне відношення, яке на пряму впливає на механічні властивості (в першу чергу міцність) у зворотній залежності. Для

того щоб уникнути зниження міцнісних показників доведеться збільшувати витрату в'язучого, що не є економічно доцільним. Звісно, витрата заповнювача також впливає на легкоукладальність – чим більше, тим вона нижче.

Для того, щоб не порушувати встановлені для досягнення певних показників властивостей дрібнозернистого бетону, але при цьому надати суміші заданої рухомості, активно застосовують хімічні добавки – пластифікатори. Вони представляють собою поверхнево-активні речовини різного хімічного складу.

На заводі використовуватиметься сучасна пластифікуюча добавка SikaPlast-520 N [10]. Її характеристики представлені в таблиці 5.

Таблиця 5.

Суперплатифікатор

Ознака	Показник
Хімічна основа	Водний розчин модифікованих полікарбоксилатних ефірів і лігносульфонатів
Вид	Рідина коричневого кольору, повністю гомогенна
Густина	1,14– 1,16 кг/дм <sup>3</sup> (при 20°С)
рН-показник	4,0 – 6,0

## Розділ 2. Режим роботи підприємства

Для того, щоб була досягнута мета роботи заводу – виробити планований обсяг продукції – в даному випадку це 17 000 м<sup>3</sup> дрібнозернистого товарного бетону, необхідно вірно становити режим, за яким буде працювати завод.

На цьому етапі враховується не тільки власне робота самих працівників, але й та кількість часу, яку буде устаткування знаходитися у роботі. Адже в певний момент часу, певні машини чи механізми потрібно пере налаштувати чи піддавати ремонту. Це може викликати паузи у виробничому процесі. Ці паузи потрібно по можливості мінімізувати, для того щоб робота заводу залишалася ефективною.

Також обирають чи буде робота заводу цілодобовою без зупинок на свята і вихідні, чи працівники будуть виконувати робочі процеси з врахуванням державних свят та вихідних.

Визначаємо параметри робочого часу на заводі з виготовлення дрібнозернистого товарного бетону.

Приймаємо основні режимні параметри наступними.

Таблиця 6.

Робочі характеристики режиму роботи заводу

Номінальний фонд часу роботи обладнання на рік	260 діб
Робоча зміна	8 годин
Кількість змін у добі	2

Відповідно цих основних параметрів визначаються інші показники. Формули розрахунку цих показників наведені в таблиці 7, знайдені величини – в таблиці 8.

Таблиця 7.

## Параметри часового робочого фонду

Термін	Показники			
	Номінальні		Розрахункові	
	діб	годин	діб	годин
зміна	-	$t_{зм}$	-	$t_{зм}$
доба	1	$T_{ДОБ Н} = t_{зм} \cdot n_{зм}$	1	$t_{доб}$ $= t_{зм} \cdot n_{зм}$
місяць	$T_M = \frac{T_H}{12}$	$T_M \cdot t_{зм} \cdot n_{зм}$	$T_{MP} = \frac{T_{річ}}{12}$	$T_{MP} = \frac{T_{річгод}}{12}$
рік	$T_H$	$T_H \cdot t_{зм} \cdot n_{зм}$	$T_{річ}$ $= T_H - Трем$	$T_{річ.год}$ $= T_{річ} \cdot t_{доб}$

Таблиця 8.

## Розраховані значення

Термін	Показники			
	Номінальні		Розрахункові	
	діб	годин	діб	годин
зміна	-	8	-	8
доба	1	16	1	16
місяць	22	347	21	337
рік	260	4160	253	4048

### Розділ 3. Визначення складу бетону

Товарний дрібнозернистий бетон на заводі буде випускатися із конкретними показниками властивостей та характеристиками, які наведені в Розділі 1.

Досягнення заданих показників якості та інших характеристик можливе лише в тому випадку, коли правильно виконане визначення складу бетону. Підбір складу представляє собою інженерно-технологічний процес встановлення такого співвідношення між всіма складовими бетону, яке і дозволить виготовити бетон заданої якості, що встановлюється відповідно до потреб замовника, проектної документації та положенням національних стандартів та технічних умов.

Значення підбору складу бетону визначається тим, що співвідношення компонентів у значному ступені формує структуру бетону, а через неї – його основні фізико-механічні та експлуатаційні властивості. Структура бетону створюється у процесі затвердіння бетонної суміші і залежить від таких факторів як водоцементне співвідношення, зернового складу заповнювачів, ступеня ущільнення й характеру порового простору, а також якості зчеплення цементного каменю із заповнювачем. Так, як склад не буде оптимальним, можливе утворення надлишкова капілярна пористість, нерівномірності структури, розшарування суміші, що є неминучим шляхом до зниження міцності, водонепроникності, морозостійкості та довговічності.

Тож правильний підбір складу бетону направлений не тільки на забезпечення заданої легкоукладальності товарного бетону, але й на формування якомога щільної, гомогенної, стійкої структури вже затверділого бетону. Для дрібнозернистих бетонних сумішей та бетонів це має особливе значення, оскільки відсутність в даному випадку крупного заповнювача підвищує чутливість матеріалу до змін утримання в'язучого, води, дрібного заповнювача. При недостатньо обґрунтованому складі бетону зростає ризик

перевитрати цементу, погіршення реологічних характеристик бетонної суміші та отримання бетону з властивостями, які не відповідають заданим.

Визначення складу дрібнозернистого бетону здійснюється за методикою, наведеною в [11].

1) Середня міцність бетону:

$$f_{cm} = \frac{f_{ck.cube}}{0,778}$$

де  $f_{ck.cube}$  – характеристична міцність бетону (C20/25)

$$f_{cm} = \frac{25}{0,778} = 32,1 \text{ МПа}$$

2) Водоцементне відношення:

$$В/Ц = \frac{A \cdot R_{ц}}{\frac{f_{cm}}{K_1 \cdot K_2} + 0,5 \cdot A \cdot R_{ц}}$$

де  $A$  – коефіцієнт, який залежить від чистоти піску,

$R_{ц}$  – активність цементу, МПа

$K_1$  – коефіцієнт, який залежить від мінералогічного складу цементу,

$K_2$  – коефіцієнт, який залежить від рівня виробництва

Коефіцієнт  $A$  приймається відповідно до таблиці А.1 з [11]:

Бетон	Значення $A$ при вмісті у піску пилу, мулу та глини, %			
	1	2	3	5
Піщаний	0,52	0,51	0,5	0,47

Так як пісок, що буде використовуватися, містить менше 2% шкідливих домішок, приймаємо  $A = 0,52$ .

Коефіцієнти  $K_1$  та  $K_2$  приймаються відповідно до таблиці 10.2 з [11]:

Мінералогічний склад клінкеру цементу і виробничі умови	Значення коефіцієнтів	
	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
<b>Бетон пропарюваний</b>		
Високоалюмінатний (C <sub>3</sub> A > 10 %, < 15 %)	0,88	–
Середньоалюмінатний (C <sub>3</sub> A < 10 %, > 6 %)	0,92	–
Низькоалюмінатний (C <sub>3</sub> A < 6 %)	0,99	–
Високоалітовий (C <sub>3</sub> S > 55 %)	0,92	–
Середньоалітовий (C <sub>3</sub> S < 55 %)	0,94	–
Високобелітовий (C <sub>2</sub> S > 40 %)	1,02	–
Середньобелітовий (C <sub>2</sub> S > 25 %)	0,98	–
Алюмоферитний (C <sub>4</sub> AF > 18 %)	0,97	–
<b>Бетон пропарюваний і природного тверднення</b>		
Високий рівень виробництва (дозування матеріалів по масі, відкалібровані форми оснастки і контрольних зразків – кубів, ретельний контроль за якістю бетону, належний догляд за твердненням бетону) C <sub>v</sub> = (9–12) %	–	0,98
Середній рівень виробництва (C <sub>v</sub> = 13 %)	–	0,95
Низький рівень виробництва (C <sub>v</sub> = (14–17) %)	–	0,92
<b>Примітка 1.</b> Введення поправочних коефіцієнтів виконують за наявності детальних даних по складу цементів і виробничим умовам.		
<b>Примітка 2.</b> C <sub>v</sub> – коефіцієнт варіації міцності бетонних зразків.		

Так як передбачається, що твердіння даного дрібнозернистого товарного бетону буде відбуватися без використання пропарювання, а за хімічним складом, обраний цемент є середньоалітовим, приймаємо K<sub>1</sub> = 0,94.

Рівень виробництва робіт передбачається середнім, тож приймаємо K<sub>2</sub> = 0,95.

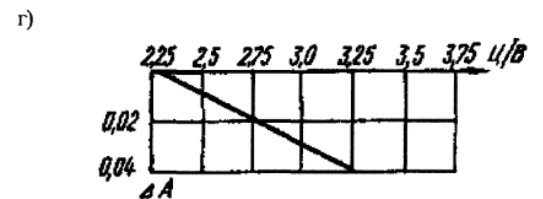
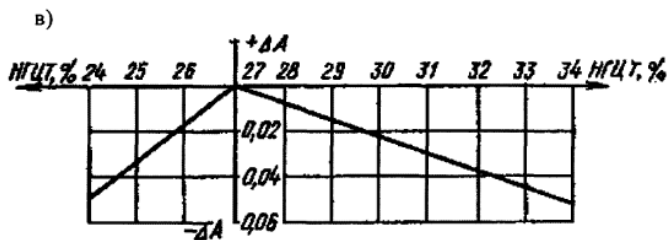
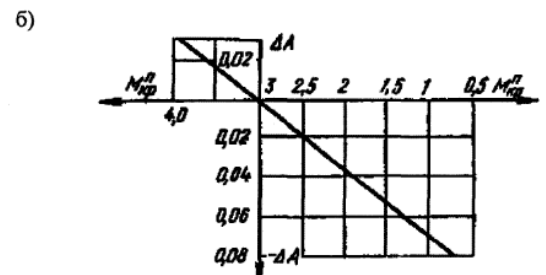
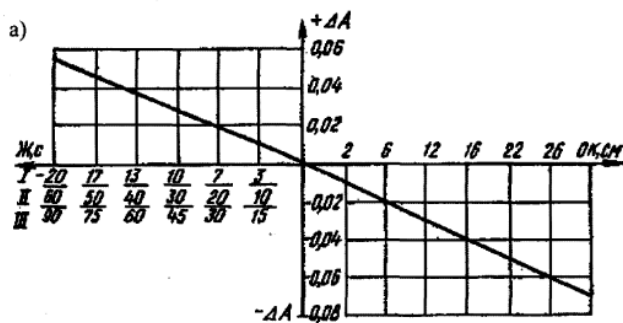
R<sub>ц</sub> приймаємо відповідно розділу 1 (45 МПа).

$$В/Ц = \frac{0,52 \cdot 45}{\frac{32,1}{0,94 \cdot 0,95} + 0,5 \cdot 0,52 \cdot 45} = 0,49$$

Далі уточнюється значення коефіцієнту А уточнюють, враховуючи поправку  $\sum \Delta A$ , складові якої беруть відповідно до таблиці А.2 з [11]:

Показники для визначення поправки	Поправка
За рухомістю чи жорсткістю суміші (ОК, Ж)	$\pm\Delta A_1$
За модулем крупності піску ( $M_{кр}^n$ )	$\pm\Delta A_2$
За нормальною густиною цементного тіста	$\pm\Delta A_3$
За цементно-водним відношенням (Ц/В)	$-\Delta A_4$
	$\sum \Delta A$

Значення поправок беруть за рисунком А.1 з [11]:



Враховавши, що ОК становить 12 см,  $M_{кр} - 2$ , НГЦТ – 0,28%, Ц/В = 2, значення поправок будуть такими:

$$\Delta A_1 = -0,03;$$

$$\Delta A_2 = +0,04;$$

$$\Delta A_3 = -0,01;$$

$$\Delta A_4 = 0.$$

$$\sum \Delta A = \Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3 + \Delta A_4$$

$$\sum \Delta A = -0,03 + 0,04 + (-0,01) + 0 = 0$$

Тож значення В/Ц залишається 0,49.

3) Пісок:

$$\Pi = \frac{\rho_{\text{нас.п}} \cdot V_{\text{п.б.с}}}{1 + V_{\text{пус.п}} \cdot (\alpha_{\text{ц.т}} - 1)}$$

де  $\rho_{\text{нас.п}}$  – насипна густина піску,

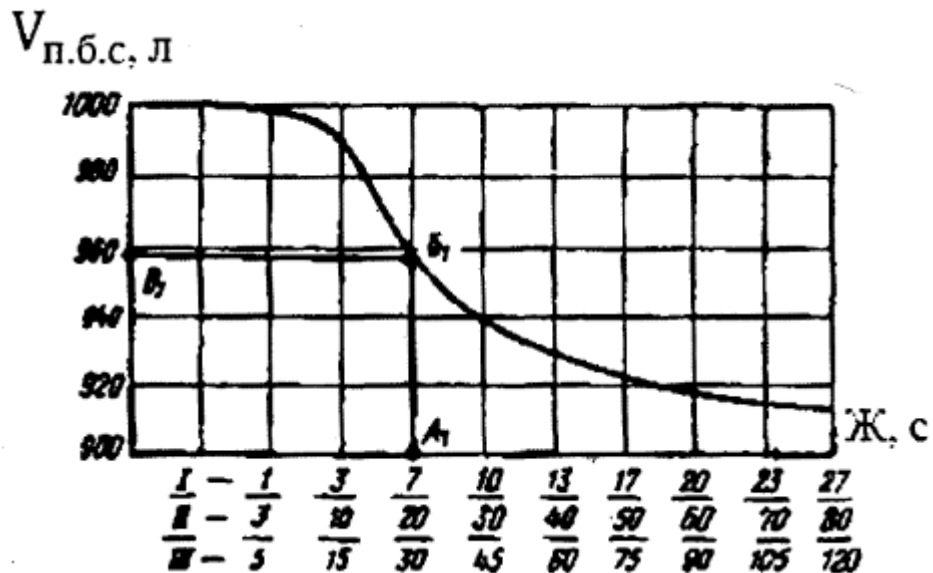
$V_{\text{п.б.с}}$  – абсолютний об'єм бетонної суміші,

$V_{\text{пус.п}}$  – пустотність піску,

$\alpha_{\text{ц.т}}$  – коефіцієнт розсуву зерен піску цементним тістом.

Згідно розділу 1  $\rho_{\text{нас.п}}$  становить  $1600 \text{ кг/м}^3$ .

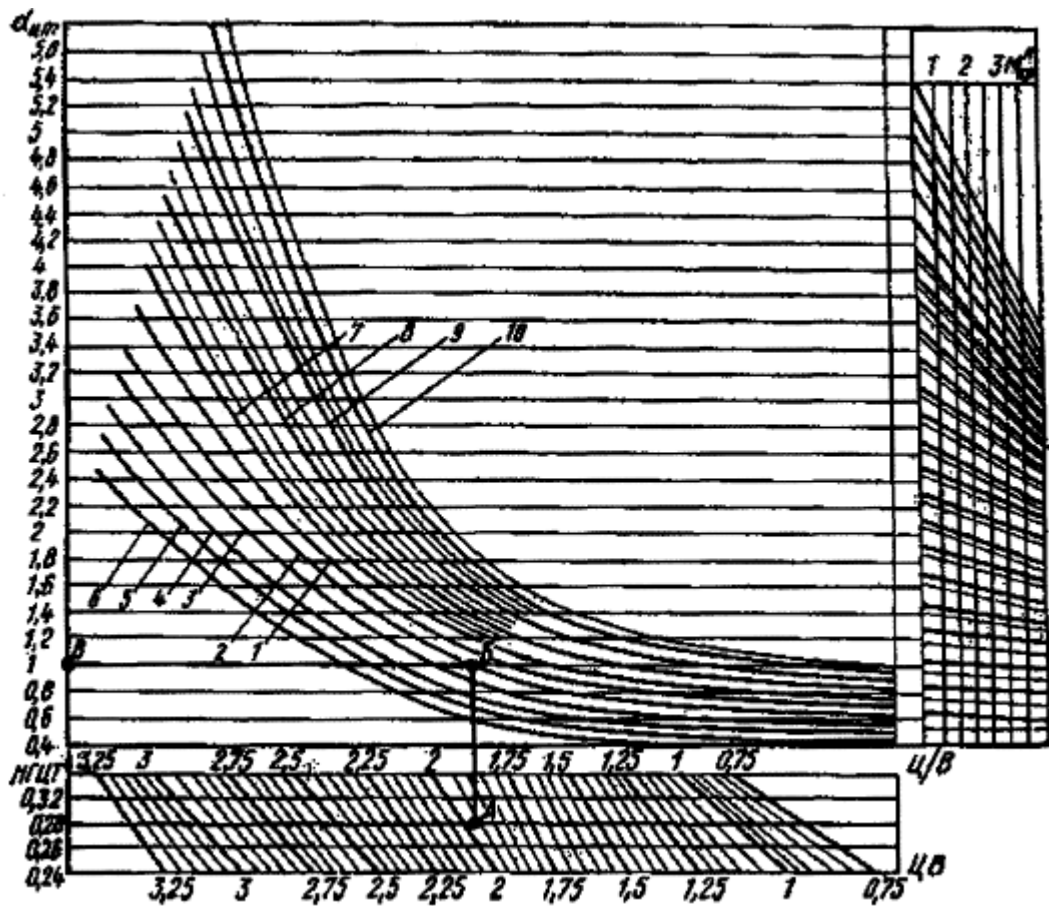
$V_{\text{п.б.с}}$  визначається за рисунком А.3 з [11]:



Відповідно до графіку,  $V_{\text{п.б.с}} = 1000 \text{ л}$ .

$V_{\text{пус.п}}$  становить 44%.

$\alpha_{\text{ц.т}}$  визначають за рисунком А.2 з [11]:



Відповідно до номограми,  $\alpha_{ц.т}$  становить 1,7.

$$\Pi = \frac{1,6 \cdot 1000}{1 + 0,44 \cdot (1,7 - 1)} = 1223 \text{ кг/м}^3$$

4) абсолютний об'єм піску:

$$V_{\Pi} = \frac{\Pi}{\rho_{\Pi}}$$

де  $\rho_{\Pi}$  – істинна густина піску (2,2 кг/дм<sup>3</sup> відповідно до розділу 1)

$$V_{\Pi} = \frac{1233}{2,2} = 560 \text{ дм}^3/\text{м}^3$$

5) об'єм втягнутого повітря:

$$V_{\text{в}} = 1000 - V_{\text{п.б.с}}$$

$$V_{\text{в}} = 1000 - 1000 = 0 \text{ дм}^3/\text{м}^3$$

6) абсолютний об'єм цементного тіста:

$$V_{ц.т} = 1000 - (V_{п} + V_{в})$$

$$V_{ц.т} = 1000 - (560 + 0) = 440 \text{ дм}^3/\text{м}^3$$

7) вихід цементного тіста з одного кілограму цементу:

$$V'_{ц.т} = \frac{1}{\gamma_{ц}} + B/Ц$$

$$V'_{ц.т} = \frac{1}{3,1} + 0,49 = 0,81$$

8) цемент:

$$Ц = \frac{V_{ц.т}}{V'_{ц.т}}$$

$$Ц = \frac{440}{0,81} = 543 \text{ кг/м}^3$$

9) вода:

$$B = Ц \cdot B/Ц$$

$$B = 543 \cdot 0,49 = 266 \text{ кг/м}^3$$

10) суперпластифікатор:

$$СПл = Ц \cdot 0,01$$

$$СПл = 543 \cdot 0,01 = 5 \text{ кг/м}^3$$

10) теоретична об'ємна маса суміші:

$$\rho_{п.б.с} = Ц + П + B + СПл$$

$$\rho_{п.б.с} = 543 + 1223 + 266 + 5 = 2037 \text{ кг/м}^3$$

## Розділ 4. Організація роботи бетонозмішувального заводу

Організація роботи заводу з випуску товарного дрібнозернистого бетону є визначальним чинником ефективності всього виробництва. На відміну від звичайного важкого бетону, дрібнозернистий бетон характеризується підвищеним вмістом цементу та відсутністю крупного заповнювача, що ставить більш жорсткі вимоги до точності дозування компонентів, стабільності технологічних параметрів і безперервності виробничого процесу. Будь-яке відхилення у водоцементному відношенні або нерівномірність перемішування суміші безпосередньо позначаються на міцності, однорідності та технологічних властивостях готової бетонної суміші.

Центральним технологічним вузлом заводу є бетонозмішувальний цех, в основі роботи якого лежить чітко організований цикл приготування бетонної суміші. Продуктивність заводу і стабільність якості продукції безпосередньо залежать від правильно розрахованих параметрів роботи змішувального обладнання. Саме тому технологічний розрахунок змішувального вузла є обов'язковою складовою проєктування бетонного заводу.

Для подальших розрахунків будуть прийняті такі коефіцієнти, з врахуванням виду товарного бетону, що буде вироблятися:

- коефіцієнт виходу суміші у щільному тілі – 0,8;
- добовий коефіцієнт нерівномірності видавання суміші – 0,6;
- коефіцієнт річного використання устаткування – 0,6.

Тривалість виконання технологічних операцій при виготовленні товарного дрібнозернистого бетону приймають такими, як наведені в таблиці 9.

Таблиця 9.

Розрахункова тривалість технологічних операцій під час виготовлення товарного дрібнозернистого бетону із застосуванням автоматизованого дозування

Операція	Тривалість, хв
завантаження компонентів у бетонозмішувач	2
перемішування компонентів	2,4
вивантаження готової суміші	1

#### 4.1. Вихідні дані

Відповідно до типу товарного бетону – дрібнозернистий, для проведення необхідних для організації роботи заводу розрахунків будуть використовуватися наступні дані.

Спершу обирається тип змішувального апарату (бетонозмішувача), який буде використаний на заводі. Оскільки випускаєма бетонна суміш є дрібнозернистою, приймаються до уваги її особливості. Дрібнозернистий бетон має специфіку: в ньому немає крупного заповнювача (щебеню чи гравію), а є лише пісок, цемент і вода. Це кардинально змінює внутрішню тертя в суміші. Оскільки частинки піску є достатньо дрібними, загальна площа поверхні всіх частинок у рази більша, ніж у звичайному бетоні зі щебенем. Щоб змочити весь цей пісок і рівномірно розподілити цемент, потрібне потужне механічне зусилля. Зважаючи на це для виготовлення товарного дрібнозернистого бетону доцільно використовувати змішувальний апарат примусового принципу дії.

Таке обладнання допоможе запобігти налипанню через високу клейкість піщано-цементної суміші на стінки та лопаті барабана і обертання разом із ним, взагалі не перемішуючись. Буде відбуватися ефективно розбиття мікрогрудок цементу в густій піщаній масі, що дозволить досягти високої однорідності, і як наслідок, міцності.

Використовуваний змішувач матиме по ємність барабана змішувача по об'єму матеріалів, що завантажуються ( $V_6$ ) 650 л або 0,65 м<sup>3</sup>.

Для розрахунків приймається ряд стандартних коефіцієнтів, наведених в таблиці 10.

Таблиця 10

Коефіцієнти для розрахунків

Коефіцієнт	Позначення	Значення
Коефіцієнт виходу сумішей (у щільному тілі)	$K_e$	0,8
Коефіцієнт нерівномірності видачі бетонної суміші	$K_n$	0,7
Коефіцієнт річного використання устаткування	$K_u$	0,7

#### 4.2. Розрахунки:

1) Визначення тривалості виготовлення однієї порції товарного дрібнозернистого бетону, з врахуванням обраного типу змішувача:

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

де  $t_1$  - задана тривалість перемішування, с;

$t_2$  - час завантаження матеріалів;

$t_3$  - час розвантаження суміші;

$t_4$  - час, необхідний для повернення перекинутого барабана у вихідне положення.

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

2) Визначення кількості порцій, які будуть видаватися змішувачем за годину роботи:

$$n_{зб} = 60 \times K_n / t_{ц}, \text{ шт.}$$

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

3) Визначення годинної продуктивності змішувача:

$$P_{год} = V_6 \times n_{36} \times K_6 / 1000, \text{ м}^3/\text{год},$$

$$P_{год} = (650 \times 8,4 \cdot 0,8) / 1000 = 4,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

4) Визначення необхідної кількості змішувачів з врахуванням заданої (планової) потужності заводу ( $P_{max}$ ) та річного розрахункового годинного фонду часу ( $T_{річ год}$ ):

$$n_3^p = \frac{P_{max} \times K_{и}}{T_{річ год} \times P_{год}} \text{ шт.},$$

$$n_3^p = \frac{17000 \cdot 0,7}{4048 \cdot 4,4} = 0,7 \approx 1 \text{ змішувач.}$$

Обов'язковим є розміщення в цеху приготування суміші ще одного змішувача, функція якого бути запасним.

5) Визначення продуктивності заводу з виготовлення товарного дрібнозернистого бетону фактичної (на основі проведених розрахунків):

$$P_{річ} = P_{год} \times T_{річ} \times n_3^p, \text{ м}^3$$

$$P_{річ} = 4,4 \times 4048 \times 1 = 17811,2 \text{ м}^3$$

Тобто по факту на заводі буде випускатися товарного дрібнозернистого бетону на 4,7% більше за планований обсяг. Це є доцільно та економічно припустимо.

Особливе місце в процесі організації роботи заводу по виготовленню товарного дрібнозернистого бетону заданої якості займає розробка «поопераційного графіку». Він може виконуватися у вигляді таблиці, яка містить усі необхідні відомості щодо технологічного здійснення виготовлення товарного бетону (табл.. 11).

Таблиця 11

## «Поопераційний графік»

Процес	Технологічна операція	Використовуване обладання	Виконавці		Час виконання, с.	Тривалість виконання, с.											
			проф.	кїл.		120	240	300									
Виготовлення бетонної суміші	Завантаження компонентів	Дозатори	оператор	1	120	[Горизонтальна лінія від 120 до 240]											
	Перемішування компонентів	Бетонозмішувач	оператор	1	120	[Горизонтальна лінія від 240 до 300]											
	Вивантаження готової суміші	Бетонозмішувач	оператор	1	60	[Горизонтальна лінія від 240 до 300]											
	Повернення змішувача у вихідне положення	Бетонозмішувач	оператор	1	0	[Горизонтальна лінія від 240 до 300]											

Наступним етапом в організації роботи заводу, що виготовлятиме товарний дрібнозернистий бетон є встановлення змінних та добових витрат кожного складника товарного бетону. Це виконується на основі встановленої годинної продуктивності ( $P_{\text{год}}$ ), продовжуваності робочої зміни ( $t_{\text{зм}}$ ), прийнятої добової кількості робочих змін ( $n_{\text{зм}}$ ) та відомої витрати складників на один метр кубічний бетонної суміші (розділ 3).

6) Визначення необхідної кількості в'язучого (СЕМ II/A-S):

$$\text{на зміну: } Ц_{\text{зм}} = Ц \times P_{\text{год}} \times t_{\text{зм}}$$

$$Ц_{\text{зм}} = 543 \times 4,4 \times 8 = 19113,6 \text{ кг/зм}$$

$$\text{на добу } Ц_{\text{доб}} = Ц_{\text{зм}} \times n_{\text{зм}}$$

$$Ц_{\text{доб}} = 19113,6 \times 2 = 38227,2 \text{ кг/доб}$$

7) Визначення необхідної кількості піску відсівів подрібнення вивержених гірських порід:

$$\text{на зміну: } П_{\text{зм}} = П \times P_{\text{год}} \times t_{\text{зм}}$$

$$П_{\text{зм}} = 1223 \times 4,4 \times 8 = 43049,6 \text{ кг/зм}$$

$$\text{на добу } П_{\text{доб}} = П_{\text{зм}} \times n_{\text{зм}}$$

$$П_{\text{доб}} = 43049,6 \times 2 = 86099,2 \text{ кг/доб}$$

8) Визначення необхідної кількості води для замішування товарного бетону:

$$\text{на зміну: } В_{\text{зм}} = В \times P_{\text{год}} \times t_{\text{зм}}$$

$$В_{\text{зм}} = 266 \times 4,4 \times 8 = 3963,2 \text{ кг/зм}$$

$$\text{на добу } В_{\text{доб}} = В_{\text{зм}} \times n_{\text{зм}}$$

$$В_{\text{доб}} = 3963,2 \times 2 = 7926,4 \text{ кг/доб}$$

9) Визначення необхідної кількості суперпластифікатора:

$$\text{на зміну: } СП_{\text{зм}} = СП \times P_{\text{год}} \times t_{\text{зм}}$$

$$СП_{\text{зм}} = 5 \times 4,4 \times 8 = 176 \text{ кг/зм}$$

$$\text{на добу } СП_{\text{доб}} = СП_{\text{зм}} \times n_{\text{зм}}$$

$$СП_{\text{доб}} = 176 \times 2 = 352 \text{ кг/доб}$$

## Розділ 5. Проектування споруд підприємства

### 5.1 Вибір технологічної схеми виробництва

Вибір технологічної схеми бетонозмішувального заводу (БЗЗ) – це базове рішення проєкту, яке визначає об'ємно-планувальні характеристики будівель, склад обладнання та собівартість кінцевої продукції. В основі цього вибору лежить аналіз декількох взаємопов'язаних факторів.

#### 1. Планові обсяги виробництва та режим роботи закладу

Це головний вектор проєктування. Потужність визначає компонування заводу (висотне або партерне):

- висотна (одноступінчаста) схема: сировина одноразово піднімається на верхній ярус у видаткові бункери, а далі рухається вниз під дією гравітації через дозатори в бетонозмішувач. Вона є безальтернативною для заводів великої потужності (від 60-90 м<sup>3</sup>/год і більше), оскільки мінімізує енерговитрати на повторний підйом матеріалів та забезпечує максимальну автоматизацію.

- горизонтальна (дво- або багатоступінчаста) схема: матеріали піднімаються двічі (наприклад, спочатку у складські бункери, а потім похилим конвеєром або скіпом у змішувач). Цю схему обирають для заводів малої та середньої потужності, тимчасових або мобільних приоб'єктних установок.

#### 2. Номенклатура, якість та характеристики сумішей

Технологічні вузли підбираються під фізико-механічні властивості майбутнього бетону:

- тип обладнання для змішування компонентів: для виробництва жорстких конструкційних бетонів та сумішей із помірною рухомістю у схему закладають примусові змішувачі (двовальні або планетарні). Для рухомих товарних бетонів великих об'ємів допустимо використовувати гравітаційні змішувачі;

- кількість фракцій та компонентів: високомарочні бетони вимагають роздільного дозування 3–4 фракцій щебеню та 2 фракцій піску. Це пропорційно збільшує кількість видаткових бункерів та ускладнює схему дозувального відділення;

- хімічні добавки: сучасні схеми передбачають автоматизовані вузли введення кількох видів рідких модифікаторів (пластифікатори, протиморозні добавки, прискорювачі твердіння).

### 3. Логістика та зберігання сировини

Схема складу сукупних матеріалів (щебеню та піску) залежить від способу їхньої доставки:

- залізничний транспорт вимагає організації підвищених колій, приймальних бункерів під вагони-хопери та розвиненої системи підземних галерей із конвеєрами;

- автотранспорт передбачає організацію естакад або закритих складів бункерного/шатлового типу з автомобільними розвантажувачами.

- ємність складів розраховується на основі нормативного запасу, що впливає на площу та вибір між силосними, напівзакритими естакадними чи відкритими складами радіального типу.

4. Природні умови району будівництва. Для всесезонної роботи в технологічну схему обов'язково інтегрують систему паро- або теплогенерації (вузли підігріву води та реєстри для прогріву заповнювачів у бункерах гарячим повітрям або сухою парою). Для південних або літніх умов у схему навпаки вводять чиллери (охолоджувачі води) або установки для додавання лускатого льоду, щоб контролювати температуру гідратації цементу під час замісу.

### 5. Топографія майданчика та містобудівні обмеження

- рельєф місцевості – перепади висот ділянки раціонально використовуються для мінімізації механічного підйому матеріалів (наприклад, розвантаження сировини проєктують на верхній терасі, а видачу бетону – на нижній);

- площа ділянки – за умов дефіциту землі в межах міст обирають виключно компактні вертикальні схеми вертикального типу з мінімальною плямою забудови.

#### б. Вимоги по екології та рециклінг

Сучасне проектування БЗВ неможливе без замкнутого технологічного циклу. Передбачається системи аспірації – включення в схему блоків тканинних та картриджних фільтрів у точках розвантаження цементу та безпосередньо над бетонозмішувачем. Також інтегрують в схему рециклінгових установок (сепараторів), які розділяють залишки невикористаного бетону та воду після промивки міксерів на заповнювачі й технічну воду, що повторно повертаються у виробництво.

Для даного випадку обрано проектування міні заводу виробництва товарного дрібнозернистого бетону заданої якості. Таке рішення пояснюється тим, що потреба в дрібнозернистому бетоні на об'єктах часто має «рваний» характер, коли суміш потрібна регулярними, але невеликими порціями (для стяжок, оздоблення, торкретування чи дорожніх бордюрів), що робить замовлення великих міксерів зі стаціонарних заводів економічно збитковим. Мобільні установки циклічної дії дозволяють гнучко випускати суміш за вимогою без фінансових втрат від недовантаження транспорту, а в разі будівництва лінійно-протяжних об'єктів (доріг, тунелів) такий завод без капітального фундаменту можна оперативнo перебазувати слідом за рухом фронту робіт.

Оскільки даний завод відноситься до підприємств малої потужності міні завод є доцільним рішенням.

На рисунку 1 представлена технологічна схема такого мобільного БЗВ.

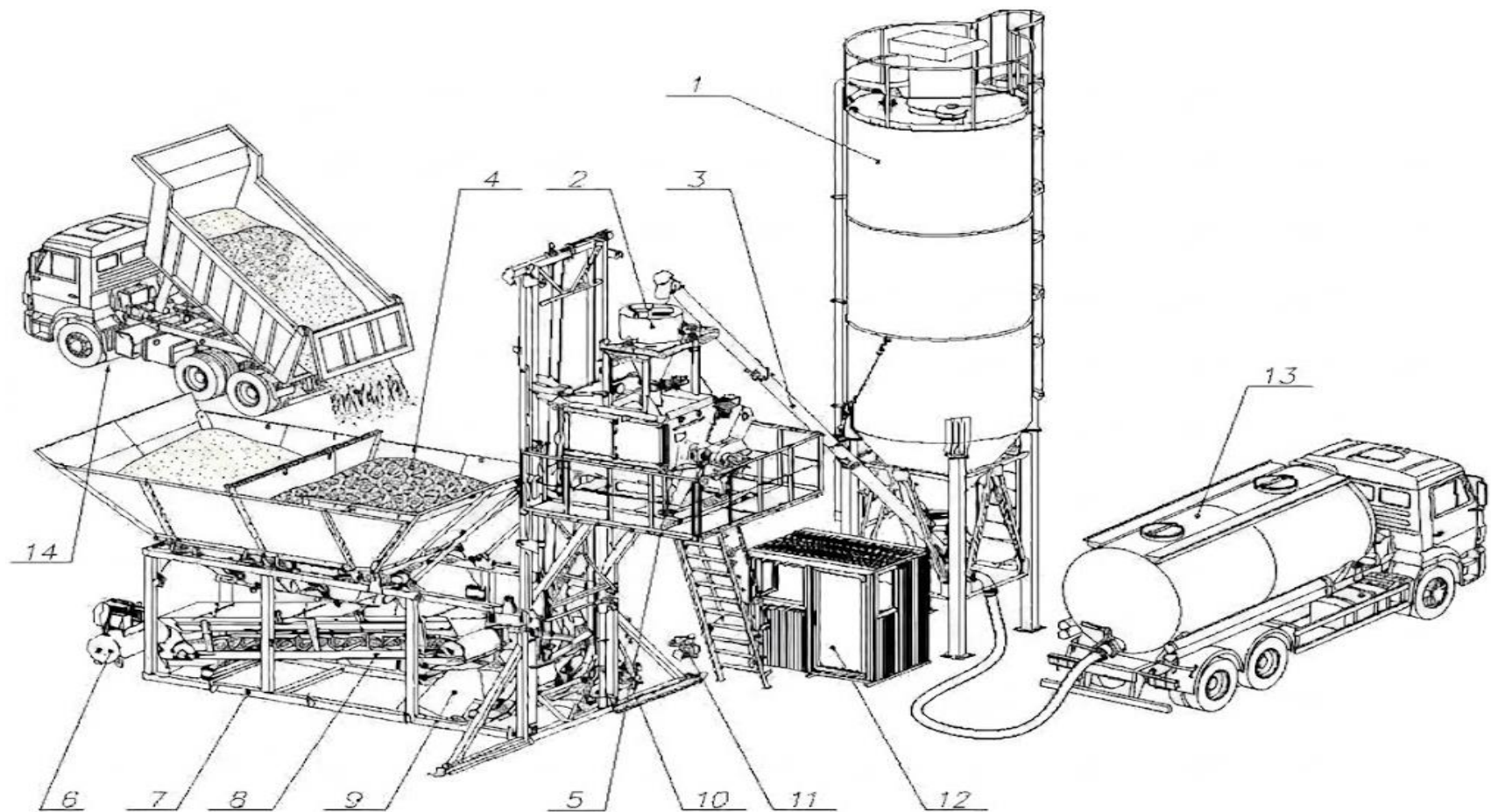


Рис.1. Технологічна схема виробництва:

- 1 – силос цементу; 2 – блок дозатору цементу; 3 – шнек; 4 – бункер піску;  
 5 – змішувач; 6 – компресор; 7 – шарнірна рама; 8 – ваговий конвеєр; 9 – бункер скіпа; 10 – привод скіпа; 11 – дозатор води проточний; 12 –  
 кабіна оператора з пультом управління; 13 – постачання цементу; 14 – постачання піску.

Оскільки завод є міні, постачання компонентів буде відбуватися по автошляхам вантажівками. Портландцемент перевозять в автоцементовозах (13), оскільки вони максимально захищають його від дії вологи і інших негативних для нього впливів. З транспорту доставки в'яжуче перекачують по пневмошлангу до ємності, в якій воно буде зберігатися – силосу (1). Це ємність, яка закривається герметично, адже протягом часу зберігання також повинні бути дотримані належні умови – в першу чергу ніякої вологи, бруду. З такої ємності цемент не буде розлітатися навколо, призводячи до забруднення середовища та втрат.

Пісок же доставляють у звичайних вантажних машинах (14). Цей спосіб є швидким та вигідним. Розвантажують вантажівки у бункери – відкриті або напівзакриті. Вони представляють собою металеві ємності і призначені для зберігання заповнювачів ( в даному випадку піску) до моменту його безпосереднього використання.

На даному заводі зважування піску (дозування) відбувається спеціальною системою, яка знаходиться безпосередньо під бункерами – вагового конвеєру (8). Він знаходиться під шарнірою рамою (7), а його роботу забезпечує компресор (6). Відважені порції піску потрапляють у бункер скіпа (9). Далі самим скіпом пісок буде піднятий у основне – змішувальне – відділення.

Портландцемент же по гвинтовому конвеєру – шнеку (3) – переміщається в головну частину заводу і потрапляє у власний дозатор (2).

Вода та суперпластифікатор відважуються своїми дозаторами.

Всі компоненти «зустрічаються» в барабані змішувача (5).

Готовий товарний бетон через спеціальний отвір відвантажується відразу в автомобільний транспорт, який призначений для його перевезення і направляється до місця використання.

## 5.2. Проектування головного корпусу заводу

Для того, щоб запроектиувати головний корпус БЗЗ, необхідно врахувати такі чинники:

- яке число змішувального устаткування буде працювати;
- якого виду обране змішувальне устаткування;
- як багато буде векторів видачі готового товарного бетону.

І виходячи з цього вирішують, в якому вигляді будуть розташовувати міксери в корпусі. Варіантів може бути декілька:

- в один ряд
- в два ряди
- «кустарно»
- «комбіновано»

Оскільки розрахунки, проведені в розділі 4, показали, що для того щоб завод виконував поставлений річний план по виготовленню товарного дрібнозернистого бетону заданої якості, показали, що для цього буде достатньо одного основного міксера, а ще один буде матися в запасі, раціональним вибором буде розмістити міксери однорядово (рис. 2).

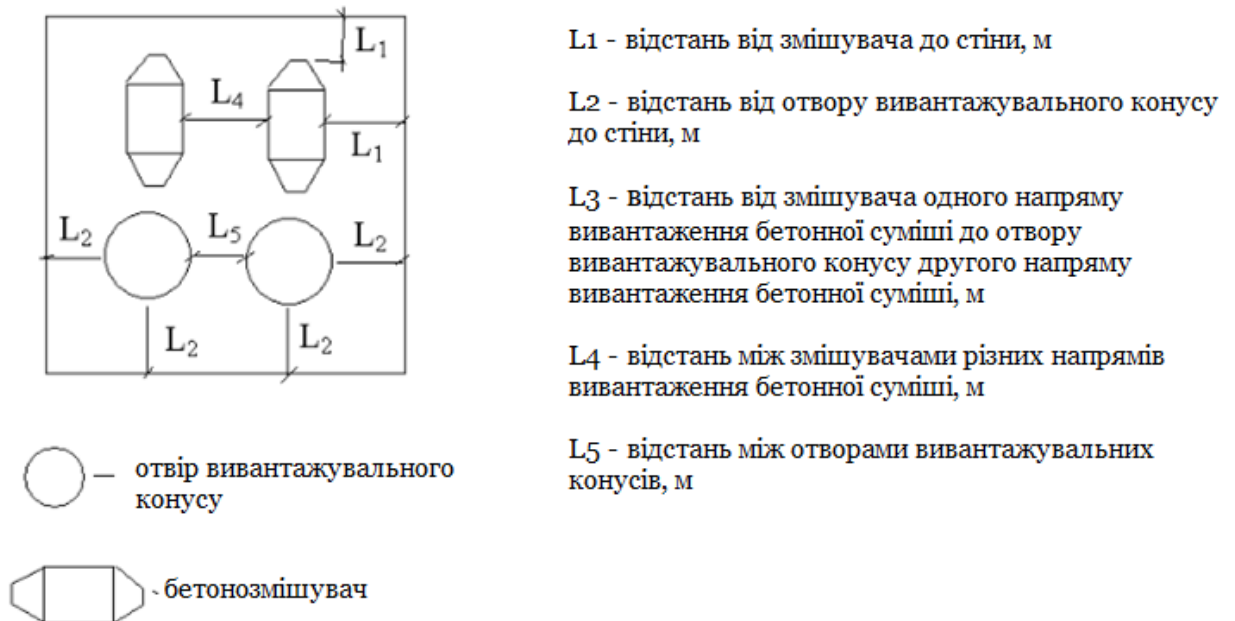


Рис.2. Схема розстановки змішувачів

Відповідно до положень [12], розміри, вказані на рисунку 2 призначаються із закладенням потрібних розмірів на проходи та робочі зони обслуговування. Тож в результаті вони матимуть такі значення:

-  $L_1 = 1,9$  м;

-  $L_2 = 1,9$  м;

-  $L_3 = 2,6$  м;

-  $L_4 = 2,6$  м;

-  $L_5 = 2,6$  м.

Висота змішувального відділення розраховується як сума висот міксера, пристроїв для захвату вантажів, пристрою для підйому вантажів.

Загальна висота становитиме 4,1 м.

### 5.3. Проектування складів компонентів бетонної суміші

#### 5.3.1. Розрахунок складів в'язучої речовини

Як вже зазначалося, цемент типу ПЦ II/A-III (СЕМ II/A-S) буде складуватися в металеві силоси. Його вміщуваність повинна бути такою, щоб можна було туди завантажити таку кількість цементу, якої вистачить на декілька діб безперебійної роботи і при цьому будуть дотримані стандартні умови збереження.

Об'єм ємності силоса розраховується як:

$$V_{\text{Ц}} = \frac{\text{Ц}_{\text{доб}} \times n \cdot \times \cdot K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5}{\text{П}_в}, \text{ м}^3$$

де  $\text{Ц}_{\text{доб}}$  - витрата портландцементу на добу, кг;

$n$  - нормативний запас збереження портландцементу;

$K_1$  - коефіцієнт нерівномірності надходження портландцементу в силос;

$K_2$  - коефіцієнт нерівномірності споживання портландцементу;

$K_3$  - коефіцієнт можливих утрат портландцементу при розвантаженні;

$K_4$  - коефіцієнт використання технологічного обладнання;

$K_5$  - коефіцієнт заповнення силосу;

$P_v$  – насипна густина портландцементу,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Приймаємо наступні значення:

$P_{\text{доб}} = 38227,2$  кг (розділ 4);

$n = 7$  діб (оскільки доставляється автоцементовозами);

$K_1 = 1,1$  (оскільки доставляється автоцементовозами);

$K_2 = 1,4$ ;

$K_3 = 1,04$ ;

$K_4 = 0,943$ ;

$K_5 = 0,9$ ;

$P_v = 1000$   $\text{кг}/\text{м}^3$  (розрахункове).

$$V_{\text{ц}} = \frac{38227,2 \times 7 \times 1,1 \times 1,4 \times 1,04 \times 0,943 \times 0,9}{1000} = 363,7 \text{ м}^3.$$

Приймаємо найближче стандартне значення місткості в  $430 \text{ м}^3$ .

### 5.3.2 Склади заповнювачів

Так як було прийняте рішення проектувати дане підприємство як міні завод, і згідно технологічної схеми виробництва використовуватиметься бункерний тип складів. Вони будуть тимчасовими, інвентарними, розхідними, притрасовими.

Місткість цих бункерів розраховуємо за формулою:

$$V_{\text{п}} = \frac{P_{\text{доб}} \times n \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4}{P_{\text{п}}}, \text{ м}^3$$

де  $P_{\text{доб}}$  - витрата піску на добу, кг;

$n$  - запас збереження піску, діб.

$K_1$  - коефіцієнт нерівномірності надходження піску на склад;

$K_2$  - коефіцієнт нерівномірності споживання піску;

$K_3$  - коефіцієнт можливих утрат піску при розвантаженні;

$K_4$  - коефіцієнт використання технологічного устаткування;

$P_{\text{п}}$  - насипна густина піску,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Приймаємо наступні значення:

$P_{\text{доб}} = 86099,2$  кг (розділ 4);

$n = 7$  діб (оскільки доставляється автовантажівками);

$K_1 = 1,1$  (оскільки доставляється автовантажівками);

$K_2 = 1,4$ ;

$K_3 = 1,04$ ;

$K_4 = 0,943$ ;

$\rho_{\text{п}} = 1600 \text{ кг/м}^3$  (розділ 1)

$$V_{\text{п}} = \frac{86099,2 \times 7 \times 1,1 \times 1,4 \times 1,04 \times 0,943}{1600} = 568,9 \text{ м}^3.$$

Приймаємо найближче стандартне значення – 2 бункери по 300 м<sup>3</sup>.

### 5.3.2 Склади добавок

Обрана для пластифікації товарного бетону добавка SikaPlast-520 N повинна зберігатися так, як це вказано у її технічному паспорті [10]. Виробник зазначає, що для зберігання SikaPlast-520 N необхідно організувати приміщення із сухими умовами, куди не потрапляє напряму сонячне випромінювання. В зимовий час за низьких температур необхідно забезпечити опалення складу. Найбільш оптимальна температура для складу цього пластифікатора – від +5°C до +35°C.

Об'єм ємності для суперпластифікатора розраховуємо за формулою:

$$V_{\text{спл}} = \frac{C_{\text{плдоб}} \times n \times K_1}{\rho}, \text{ м}^3$$

де  $C_{\text{плдоб}}$  – добова витрата піноутворювача, кг/м<sup>3</sup>;

$n$  – запас зберігання пластифікатора, діб;

$K_1$  – коефіцієнт заповнення ємності;

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

Приймаємо наступні значення:

$C_{\text{плдоб}} = 352 \text{ кг}$  (розділ 4);

$n = 15$  діб;

$K_1 = 0,9$ ;

$\rho = 1150 \text{ кг/м}^3$  (розділ 1)

$$V_{\text{спл}} = \frac{352 \times 15 \times 0,9}{1150} = 4,1 \text{ м}^3$$

Приймаємо найближче стандартне значення – 4,5 м<sup>3</sup>.

## Розділ 6. Контроль якості

Контроль якості на заводі з виробництва товарного дрібнозернистого бетону заданої якості є одним із найважливіших елементів технологічного процесу. Його головна мета полягає у забезпеченні стабільного випуску бетонних сумішей, характеристики яких відповідають вимогам проектної документації, державних стандартів і технічних умов. Якість бетону безпосередньо впливає на міцність, довговічність, надійність та безпеку будівельних конструкцій, тому навіть незначні відхилення у складі суміші можуть призвести до зниження експлуатаційних властивостей готових виробів або споруд.

Необхідність контролю якості обумовлена тим, що бетон є багатокомпонентним матеріалом, властивості якого залежать від характеристик цементу, заповнювачів, води, хімічних і мінеральних добавок, а також від точності дозування та дотримання технології приготування. Своєчасне виявлення відхилень дозволяє запобігти випуску неякісної продукції, зменшити виробничі втрати та уникнути претензій з боку замовників.

На БЗЗ зазвичай здійснюється кілька видів контролю якості (рис. 3).

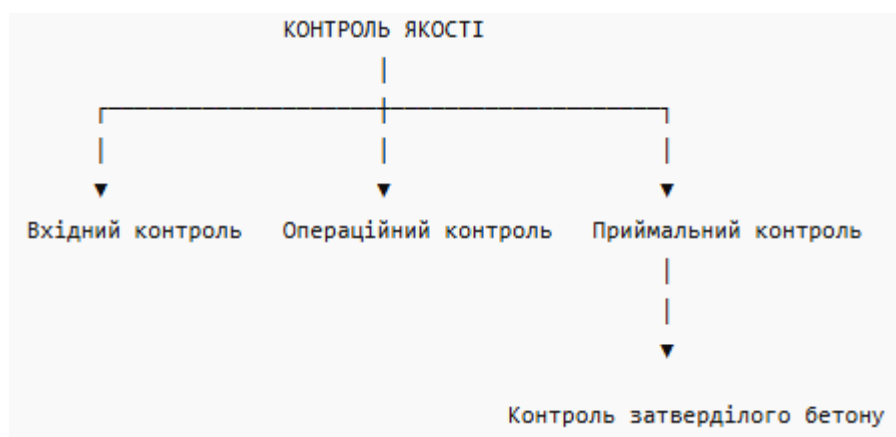


Рис.3. Види контролю якості на БЗЗ

Вхідний контроль проводиться для всіх матеріалів, що надходять на підприємство. Перевіряються сертифікати якості постачальників, а також

основні характеристики цементу, піску, щебеню, води та хімічних добавок. Для заповнювачів визначають зерновий склад, вміст пилюватих і глинистих частинок, вологість, насипну щільність та інші показники. Для цементу контролюють марку або клас міцності, терміни зберігання та відповідність супровідній документації.

Операційний (технологічний) контроль здійснюється безпосередньо під час виробництва бетонної суміші. Він включає перевірку правильності дозування компонентів, роботи дозаторів, дотримання рецептури, тривалості перемішування, вологості заповнювачів і коригування кількості води замішування. Особливу увагу приділяють автоматизованим системам керування, від точності яких залежить стабільність складу бетону.

Приймальний контроль товарного бетону проводиться після її виготовлення. На цьому етапі визначають показники, що характеризують технологічні властивості суміші: рухливість або жорсткість, густину, температуру, повітровміст (за потреби), однорідність та інші характеристики залежно від призначення бетону. Результати випробувань порівнюють із вимогами нормативних документів і замовлення.

Контроль якості бетону у затверділому стані виконується шляхом виготовлення контрольних зразків (кубів або циліндрів), які випробовують на стиск після встановленого терміну тверднення, найчастіше через 28 діб. За необхідності визначають також морозостійкість, водонепроникність, середню густину та інші спеціальні властивості.

На сучасних підприємствах також застосовується періодичний контроль, під час якого перевіряють точність вагових дозаторів, роботу змішувачів, стан лабораторного обладнання та відповідність технологічних процесів встановленим регламентам.

Організацією та проведенням контролю якості займається виробнича або заводська лабораторія. До її складу входять інженери-лаборанти, техніки-лаборанти та фахівці з контролю якості. Вони здійснюють відбір проб, проводять випробування матеріалів і бетонних сумішей, ведуть журнали

контролю та оформлюють протоколи випробувань. Відповідальність за дотримання технологічного процесу також несуть технолог підприємства, начальник виробництва та оператори бетонозмішувальної установки, які контролюють правильність виконання виробничих операцій.

Таким чином, система контролю якості на заводі бетонних сумішей охоплює всі стадії виробництва – від приймання сировини до перевірки властивостей готового бетону. Її ефективна робота забезпечує стабільну якість продукції, відповідність нормативним вимогам та надійну роботу будівельних конструкцій протягом усього терміну експлуатації.

Опис контролю при прийманні товарного дрібнозернистого бетону (бетонної суміші) представлений в таблиці 12.

Таблиця 12

Контроль при прийманні бетонної суміші

Найменування контролюваного показника	Нормативний документ, що встановлює		Контролююча служба і періодичність контролю
	технічні вимоги до показника якості	методи контролю та випробувань	
вид суміші	ДСТУ 9208:2022	ДСТУ 9208:2022	Лабораторія, кожна партія
легкоукладальність	ДСТУ 9208:2022	ДСТУ EN 12350-2:2022	Лабораторія, кожна партія
густина суміші	ДСТУ 9208:2022	ДСТУ EN 12350-6:2022	Лабораторія, періодично, але у зимовий та літній періоди – кожна партія

Опис контролю при прийманні затверділого дрібнозернистого бетону представлений в таблиці 13.

## Приймальний контроль якості твердого бетону

Найменування контролюваного показника	Нормативний документ, що встановлює		Контролююча служба і періодичність контролю
	технічні вимоги до показника якості	методи контролю та випробувань	
Клас (марка) бетону та розчину за міцністю. Відпускна міцність бетону	ДСТУ EN 206:2022	ДСТУ EN 12390-3:2022	Лабораторія, кожна партія
Якість структури бетону	ДСТУ 9208:2022	ДСТУ Б В.2.7-224:2009	Лабораторія, кожна партія
Морозостійкість бетону та розчину	ДСТУ 9208:2022	ДСТУ СЕН/TR 15177:2019	Лабораторія, раз на місяць
Водонепроникність бетону	ДСТУ 9208:2022	ДСТУ Б В.2.7-170:2008	Лабораторія, раз на місяць
Щільність важкого бетону	ДСТУ 9208:2022	ДСТУ Б В.2.7-170:2008	Лабораторія, кожна партія

Ще одним важливим кроком при організації контролю якості на БЗЗ є складання карти контролю якості. Це організаційно-технологічний документ, у якому систематизовано всі операції контролю, що здійснюються на підприємстві під час виробництва бетонних сумішей. Вона визначає об'єкти контролю, контрольовані показники, методи випробувань, періодичність перевірок, нормативні вимоги та відповідальних осіб. По суті, карта контролю якості є інструкцією, яка регламентує порядок здійснення контролю на всіх стадіях виробничого процесу.

На заводі з виробництва бетонних сумішей карта контролю якості охоплює вхідний контроль сировинних матеріалів, операційний контроль технологічного процесу та приймальний контроль готової продукції.

Основною функцією карти контролю якості є забезпечення системності та безперервності контролю виробництва. Вона дозволяє уникнути пропуску важливих контрольних операцій, забезпечує єдиний підхід до оцінювання якості продукції та сприяє своєчасному виявленню відхилень від

установлених вимог. Крім того, карта є важливим інструментом для координації роботи виробничого персоналу та лабораторії.

Складання карти контролю якості має велике практичне значення, оскільки дозволяє підвищити стабільність технологічного процесу, зменшити ризик випуску неякісної продукції та забезпечити відповідність бетонних сумішей вимогам нормативної документації. Наявність такої карти також спрощує внутрішній аудит системи якості, полегшує навчання персоналу та підвищує відповідальність працівників за результати контролю.

Таким чином, карта контролю якості є одним із ключових документів системи управління якістю на бетонному заводі, що забезпечує планомірний контроль усіх етапів виробництва та сприяє випуску продукції стабільно високої якості.

Карта контролю якості для заводу з випуску товарного дрібнозернистого бетону заданої якості, який проектується представлена у вигляді таблиці (табл. 14).

Загалом контролювання якості на кожному етапі виробничого процесу є одним з основних чинників досягання заданої якості товарного бетону та майбутнього затверділого дрібнозернистого бетону.

## 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 (п.п. 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

## Розділ 7. Охорона праці та техніка безпеки

Система охорони праці на заводі з виготовлення бетонних сумішей спрямована на забезпечення безпечних умов праці під час приймання, зберігання та транспортування сировини, дозування компонентів, приготування бетонних сумішей, обслуговування технологічного обладнання та виконання ремонтних робіт. Вимоги охорони праці поширюються на всіх працівників виробництва незалежно від займаної посади та форми власності підприємства.

Охорона праці на заводі з виготовлення товарного дрібнозернистого бетону являє собою систему організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та аварійним ситуаціям під час приготування, транспортування та видачі бетонних сумішей. Відповідно до [13] вимоги правил є обов'язковими для працівників підприємств, що здійснюють виробництво бетонних та залізобетонних виробів і конструкцій.

Однією з основних вимог є забезпечення безпечної організації технологічного процесу приготування бетонної суміші. Відповідно до [14] виробництво повинно здійснюватися за технологічним регламентом, розробленим з урахуванням конкретних умов підприємства. До основних операцій належать підготовка матеріалів, дозування компонентів, перемішування, видавання та транспортування готових сумішей.

Особлива увага приділяється безпечному зберіганню та подачі цементу й піску. Подача матеріалів до бетонозмішувального відділення повинна здійснюватися транспортним обладнанням, яке забезпечує збереження їх якості та безпечну експлуатацію. Відкриті завантажувальні отвори бункерів повинні бути огорожені, що запобігає падінню працівників у технологічні ємності.

Підвищені вимоги встановлюються до робіт усередині силосу для портландцементу. Перед допуском працівників до таких робіт шнеки та

елеватори повинні бути відключені від електромережі, а на пускових пристроях мають бути встановлені попереджувальні знаки із заборонаю вмикання обладнання. Працівники повинні бути забезпечені спецодягом, касками, респіраторами, захисними окулярами, запобіжними поясами та страховими канатами. Забороняється перебувати під навислими масами матеріалу та виконувати обвалення цементу підрубванням знизу.

Важливе місце у системі охорони праці займає боротьба з виробничим пилом. Цементний пил та пил окремих добавок негативно впливають на органи дихання працівників, тому на виробництві повинні використовуватися системи припливно-витяжної вентиляції та місцеві відсмоктувачі. Для багатьох хімічних добавок нормативний документ прямо передбачає застосування загальнообмінної вентиляції та локальних систем видалення шкідливих виділень.

Окремі вимоги встановлені для роботи з хімічними добавками. Рідкі добавки повинні готуватися у спеціально відведених місцях і доводитися до необхідної концентрації перед подачею до бетонозмішувального цеху. Змішування комплексних добавок з водою необхідно виконувати безпосередньо перед подачею у бетонозмішувач, а подача розчинів повинна здійснюватися трубопроводами з автоматичним керуванням. У місцях приготування розчинів мають бути вивішені інструкції з пожежної безпеки та надання першої допомоги.

Важливим напрямом є забезпечення справності технологічного обладнання та точності дозування компонентів. Перед початком кожної зміни рекомендується перевіряти справність дозаторів та повноту їх випорожнення. Це дозволяє не лише забезпечити якість бетонної суміші, а й запобігти аварійним ситуаціям, пов'язаним із неправильною роботою обладнання.

У сфері електробезпеки виробництво повинно відповідати вимогам нормативних документів щодо експлуатації електроустановок та електрообладнання. Особливу небезпеку становлять бетонозмішувачі,

конвеєри, елеватори та інше обладнання з електричним приводом, тому його обслуговування та ремонт повинні виконуватися лише після відключення від джерел живлення та вжиття заходів, що виключають випадковий пуск механізмів.

Працівники підприємства повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт. До таких засобів належать спецодяг, спецвзуття, захисні каски, окуляри, респіратори та страхувальні пристрої для виконання робіт на висоті або всередині технологічних ємностей.

Отже, вимоги охорони праці на заводі з виготовлення товарного бетону спрямовані на забезпечення безпечної роботи технологічного обладнання, захист працівників від дії пилу та хімічних речовин, попередження пожеж і вибухів, а також створення безпечних умов праці під час експлуатації силосів, бункерів, змішувачів та транспортного обладнання. Основними засобами досягнення цієї мети є механізація та автоматизація процесів, використання вентиляційних систем, застосування засобів індивідуального захисту та суворе дотримання встановлених виробничих інструкцій.

## Список використаної літератури

1. 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. 24с.
2. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1. На заміну СНиП 2.03.01-84\* ; чинний від 2020-06-01. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку та територій України, 2020. 70 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, 2011. 20 с.
4. ДСТУ Б В.2.7-281:2011 Цементи. Класифікація. На заміну ГОСТ 23464-79 ; чинний від 2012-10-01. Київ : Мінрегіон України, 2012. 29 с.
5. ДСТУ Б EN 197-1:2015 Цемент. Частина 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів. На заміну ДСТУ Б EN 197-1:2008 ; чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 59 с.
6. ДСТУ Б EN 12620:2013 Заповнювачі для бетону. Чинний від 2014-10-01. Київ : Мінрегіон України, 2014. 60 с.
7. ДСТУ Б В.2.7-210:2010 Будівельні матеріали. Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови. На заміну ДСТУ Б В.2.7-210:2009 ; чинний від 2011-08-01. Київ : Мінрегіон України, 2011. 23 с.
8. 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. Київ : НДІБМВ, 1995. 21 с.

9. 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. Брюссель : CEN, 2022. 19 с.

10. Суперпластифікатор для бетону і розчину. URL: <http://sika.com.ua/products/sikaplast-520/>

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

12. ДСТУ-Н Б А.3.1-35:2016. Настанова з проектування підприємств з виробництва залізобетонних виробів. На заміну ДБН А.3.1-8-96 ; чинний від 2017-04-01. Київ : Мінрегіон України, 2016. 34 с.

13. 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.

14. 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.