

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА
Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та
транспортної інфраструктури
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

на тему **Віброгазобетонозмішувач у складі лінії**
з виробництва газоблоків

Виконав: здобувач вищої освіти
3 курсу, групи **ГМ 2023-1у**
напряму підготовки (спеціальності)
133 – Галузеве машинобудування

Зенін Денис Андрійович

(прізвище та ініціали)

Керівник **Саснко Л.В. к.т.н., доц.**

(прізвище та ініціали, наук. ступ., вч. звання)

Рецензент **Блажко В.В. к.т.н., доц.**

(прізвище та ініціали, наук. ступ., вч. звання)

Харків – 2026

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та
транспортної інфраструктури**

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

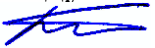
Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр

Галузі знань 13 – Механічна інженерія

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри АКИТ

 **БАРАНОВ О. О.**

« 22 » червень 2026 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Зеніну Денису Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

1. Тема роботи Віброгазобетонозмішувач у складі лінії з виробництва газоблоків.

затверджені наказом університету від « 22 » травня 2026 року № 440-03

Керівник роботи Саєнко Леонід Володимирович канд. техн. наук, доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи « 20 » червня 206 р.

3. Вихідні дані до роботи Лінія з виробництва газоблоків. Головне обладнання – віброгазобетонозмішувач. Продуктивність: 500 м³/год.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Аналіз проблеми (призначення та властивості продукції, сировина та її характеристика, характеристика технологічного процесу, режим роботи підприємства, потреба у сировині). Основна частина (опис об'єкта проєктування, порядок роботи обладнання). Спеціальна частина (розрахунок продуктивності лопатевого змішувача, інженерні розрахунки лопатевого змішувача, особливості ремонту машини та її основних вузлів). Охорона праці (Охорона праці та навколишнього середовища, Техніка безпеки та електробезпека, пожежна безпека). Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Технологічна схема. Загальний вид обладнання. Змішувач (складальне креслення). Ходовий візок (складальне креслення). Вузол приводного колеса у зборі. Вузол робочого органу. Деталювання: вал, лопать.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз проблеми	доц. Саєнко Л.В.	25.05	 12.06
Основна частина	доц. Саєнко Л.В.	25.05	 12.06
Спеціальна частина	доц. Саєнко Л.В.	25.05	 12.06
Охорона праці	доц. Рогозін А.С.	25.05	 12.06

7. Дата видачі завдання « 25 » травня 2026 р.

Керівник  _____
(підпис)

Завдання прийняв до виконання  _____
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання розділів	Примітка
1	Аналіз проблеми	до 29.05	
2	Основна частина	до 05.06	
3	Спеціальна частина	до 12.06	
4	Охорона праці	до 12.06	

Здобувач вищої освіти  _____
(підпис)

Керівник  _____
(підпис)

РЕФЕРАТ

У роботі розглядається можливість використання валкового млину у складі лінії з виробництва стінових блоків із коміркового бетону

Структура роботи представлена вступом, 4 розділами, висновками і переліком посилань.

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, 4 розділів, висновки та переліку посилань. Повний обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра становить 68 сторінок, в тому числі: 10 рисунків; 8 таблиць; перелік посилань з 26 найменувань на 2 сторінках.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: газобетон, сировина, віброгазобетонозмішувач, лопать, портал, механізм пересування.

ABSTRACT

The paper considers the possibility of using a roller mill as part of a line for the production of wall blocks from cellular concrete

The structure of the paper is presented by an introduction, 4 sections, conclusions and a list of references.

The bachelor's final qualification work consists of an introduction, 4 sections, conclusions and a list of references. The full volume of the bachelor's final qualification work is 68 pages, including: 10 figures; 8 tables; a list of references with 26 names on 2 pages.

KEYWORDS: aerated concrete, raw materials, vibrating aerated concrete mixer, blade, portal, movement mechanism.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ	8
1.1 Призначення та основні властивості продукції, що випускається	8
1.2 Вибір сировинних матеріалів	12
1.3 Характеристика технологічного процесу	18
1.4 Режим роботи підприємства	20
1.5 Розрахунок сировинного матеріального балансу	22
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	27
2.1 Опис об'єкта проєктування	27
2.2 Порядок роботи обладнання	30
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	33
3.1 Розрахунок продуктивності лопатевого змішувача	33
3.2 Інженерні розрахунки лопатевого змішувача	34
3.3 Особливості ремонту машини та її основних вузлів	45
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	52
4.1 Охорона праці та навколишнього середовища	52
4.2 Заходи безпеки та електробезпека	56
4.3 Пожежна безпека	61
ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Автоклавний комірчастий бетон належить до найбільш ефективних сучасних стінових матеріалів, що широко застосовуються у житловому, громадському та промисловому будівництві.

Сучасне виробництво виробів з автоклавного комірчастого бетону є складним багатостадійним технологічним процесом, який включає підготовку сировинних компонентів, приготування газобетонної суміші, формування масиву, його різання, автоклавну обробку та складування готової продукції. Якість виробів значною мірою залежить від правильного вибору цементу, вапна, кварцового піску, води та газоутворювача, а також від стабільності технологічних режимів на всіх стадіях виробництва.

Одним із ключових агрегатів технологічної лінії є віброгазобетонозмішувач, який забезпечує інтенсивне перемішування компонентів суміші та її подачу до форм. Удосконалення конструкції робочих органів змішувача дозволяє підвищити продуктивність обладнання, знизити питомі витрати електроенергії та покращити якість готових виробів.

Мета дослідження – підвищити продуктивність обладнання, знизити питомі витрати електроенергії та покращити якість готових виробів.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні **завдання**:

1. Скласти технологічну схему з виробництва газобетону;
2. Розрахувати потребу у сировинних матеріалах;
3. Обрати основне обладнання технологічної лінії;
4. Провести інженерні розрахунки віброгазобетонозмішувача

Об'єкт дослідження – віброгазобетонозмішувач

Предмет дослідження – можливість використання валкового млина у технологічній лінії з виробництва комірчастого бетону.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування та модернізації підприємств з виробництва виробів з автоклавного газобетону.

1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ

1.1 Призначення та основні властивості продукції, що випускається

Одношарові панелі виготовляються з автоклавного коміркового бетону та призначені для влаштування внутрішніх несучих стін, перегородок, міжповерхових і горищних перекриттів житлових та громадських будівель за умови, що відносна вологість повітря у приміщеннях не перевищує 75 %.

ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Панелі повинні виготовлятися відповідно до вимог чинних нормативних документів України, зокрема ДСТУ Б EN 771-4:2016 «Камені стінові. Вироби з автоклавного ніздрюватого бетону», ДСТУ Б В.2.6-53:2008, ДБН В.2.6-162:2010, а також робочої конструкторської документації, затвердженої у встановленому порядку.

Відхилення геометричних розмірів панелей від проєктних значень не повинні перевищувати допустимих величин, наведених у таблиці 1.

Таблиця 1.1 – Допустимі відхилення геометричних параметрів панелей

Відхилення	Відхилення що допускається, мм	
	несучі стіни та перекриття	перегородки
від проєктних розмірів за довжиною:		
- при довжині до 4,5 м	±5	±3
- при довжині понад 4,5 м	±7	±5
від проєктних розмірів за висотою та товщиною	±5	±2
від проєктних розмірів за висотою, шириною та положенню отворів та вирізів	±5	±5
від прямокутної форми лицьових поверхонь:		
- при довжині до 4,5 м	10	7
- при довжині понад 4,5 м	12	10
від площинності:		
- при довжині до 4,5 м	8	6
- при довжині понад 4,5 м	10	8

Відхилення за показником усадки під час висихання не нормується.

Елементи збірних панелей, призначені для склеювання, повинні мати відкалібровані поверхні контакту, що забезпечують необхідну точність з'єднання.

Матеріали та вироби, які використовуються для виготовлення панелей, повинні відповідати вимогам чинних державних стандартів України, технічних умов та нормативної документації на сировинні компоненти, арматурну сталь і допоміжні матеріали.

Панелі допускається виготовляти з автоклавних коміркових бетонів класів за міцністю на стиск, еквівалентних маркам 25, 35, 50, 75, 100 і 150.

Середня густина коміркового бетону у висушеному до постійної маси стані, клас бетону та його контрольні характеристики, що зазначаються у робочих кресленнях, повинні відповідати значенням, наведеним у таблиці 2.

Таблиця 1.2 – Рекомендовані показники коміркового бетону

Марка комірчастого бетону за міцністю на стискання	Контрольна характеристика (кгс/см ²), не менша за	Об'ємна маса кг/м ³ , не більша за
25	35	800
35	50	900
50	75	1000
75	100	1100
100	150	1200
150	200	1200

Міцність коміркового бетону у панелях, яка визначається за результатами випробування контрольних зразків у висушеному до постійної маси стані, повинна бути не нижчою за контрольну характеристику, що відповідає проектному класу бетону.

В окремих партіях панелей допускається зниження міцності бетону відносно контрольної характеристики, однак не більше ніж на 15 %.

Відхилення середньої густини коміркового бетону панелей, визначеної при випробуванні зразків у висушеному до постійної маси стані, від проєктного значення не повинно перевищувати ± 7 %.

Вологість коміркового бетону у панелях під час відвантаження споживачеві не повинна перевищувати:

25 % – для коміркових бетонів на піщаному заповнювачі;

35 % – для коміркових бетонів на золошлакових компонентах.

Морозостійкість коміркового бетону повинна відповідати вимогам проєктної документації та бути не нижчою за F25.

Для армування панелей необхідно застосовувати зварні арматурні каркаси та сітки, виготовлені зі сталей видів і класів, передбачених робочою документацією та вимогами ДСТУ Б В.2.6-168:2011.

Арматурні вироби та сталеві закладні елементи повинні відповідати чинним стандартам на арматурну сталь та зварні конструкції.

Монтажні петлі повинні виготовлятися з гарячекатаної арматурної сталі класу A240C або її сучасних аналогів відповідно до вимог ДСТУ 3760:2019.

Для виготовлення монтажних петель панелей, призначених для монтажу за температур нижче мінус 40 °С, необхідно застосовувати сталі з гарантованою ударною в'язкістю при низьких температурах.

За погодженням між виробником та споживачем панелі можуть виготовлятися без монтажних петель за умови застосування спеціальних захоплювальних пристроїв.

Арматура, сталеві закладні елементи та з'єднувальні накладки повинні бути захищені від корозії відповідно до вимог ДСТУ-Н Б В.2.6-186:2013 та проєктної документації.

Під час випробувань панелі повинні витримувати контрольні навантаження, передбачені робочими кресленнями.

Підприємство-виробник зобов'язане проводити випробування панелей на міцність і жорсткість у разі освоєння виробництва, зміни конструкції, технології виготовлення або виду коміркового бетону.

Товщина захисного шару бетону до робочої арматури, зазначена у робочих кресленнях, повинна бути не меншою ніж 25 мм.

Допустимі відхилення товщини захисного шару бетону до робочої арматури не повинні перевищувати ± 5 мм.

Панелі можуть виготовлятися як суцільними, так і складеними. Бічні грані панелей повинні мати профіль, передбачений проєктом, який забезпечує сумісну роботу зі суміжними панелями після заповнення швів розчином.

Зовнішній вигляд і якість опорядження поверхонь панелей повинні відповідати затвердженим еталонним зразкам.

На поверхнях панелей не допускаються:

а) раковини, локальні напливи бетону та заглиблення, розміри яких перевищують значення, наведені у таблиці 3;

б) наскрізні тріщини;

в) усадкові тріщини шириною понад 0,2 мм;

г) відколи бетону на ребрах панелей і по периметру прорізів загальною довжиною понад 50 мм на 1 м та глибиною більше 5 мм на лицьовій поверхні і 10 мм – на неліцьовій;

д) плями мастила та іржі на лицьових поверхнях.

Таблиця 1.3 – Допустимі дефекти поверхні панелей

Види поверхонь панелей	Діаметр раковин	Глибина раковин	Висота місцевих напливів та глибина западин
Такі що призначені під фарбування	1	1	1
Такі, що призначені під обклеювання шпалерами чи гідроізоляцією	4	3	1
Не лицьові (ті що не видно після монтажу)	10	5	5

Відкриті поверхні сталевих закладних деталей та випуски арматури, призначені для зварювання і замонолічування під час монтажу, повинні бути очищені від напливів бетону без пошкодження антикорозійного покриття.

Клейовий або розчинний шов складених панелей повинен бути ретельно розшитий та не мати напливів і нещільностей.

Відхилення товщини клейового шва від проєктного розміру не повинно перевищувати ± 1 мм.

Несуміщення лицьових площин стикувальних елементів не повинно перевищувати 1 мм.

Марка розчину для замонолічування швів складених панелей і закладних деталей повинна бути на один ступінь вищою за клас коміркового бетону панелі, але не вище класу В7,5.

Панелі повинні постачатися у комплекті з металевими з'єднувальними деталями.

1.2 Вибір сировинних матеріалів

Цемент

Для виробництва комірчастих бетонів необхідно застосовувати цемент, які відповідають вимогам чинних нормативних документів України, зокрема ДСТУ Б EN 197-1:2015 та ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Вибір типу цементу безпосередньо впливає на фізико-механічні характеристики готового комірчастого бетону, швидкість структуроутворення, інтенсивність газоутворення та стабільність технологічного процесу.

Основний вплив на якість цементу здійснює вміст трикальцієвого силікату (аліту), який характеризується високою гідравлічною активністю та забезпечує інтенсивне наростання міцності на ранніх стадіях тверднення. Двокальцієвий силікат (беліт) твердне повільніше та забезпечує середні показники міцності. Трикальцієвий алюмінат характеризується швидким твердненням, однак має нижчу кінцеву міцність. Регулювання мінералогічного

складу цементу дозволяє змінювати його технологічні та експлуатаційні властивості відповідно до вимог виробництва.

У виробництві комірчастих бетонів найбільш широко застосовуються портландцементи класів міцності 32,5; 42,5 та 52,5, що є аналогами цементів марок М400–М500. Для детальнішої характеристики властивостей цементу враховують кількість мінеральних добавок. Наприклад, цементи типу СЕМ І містять мінімальну кількість мінеральних компонентів, тоді як у цементах типу СЕМ ІІ допускається введення шлаку, пуцоланів або інших активних добавок.

Для виготовлення газобетону використовують портландцемент, який повинен відповідати спеціальним вимогам щодо лужності цементного тіста. Значення водневого показника рН повинно бути не нижчим за 12. Лужність визначається вмістом вільного оксиду кальцію та сумарною концентрацією лужних оксидів. Практика роботи заводів із виробництва газобетону свідчить, що вміст лугів у 1 літрі цементного розчину повинен бути не меншим за 75 мг. У разі недостатньої лужності до бетонної суміші вводять вапно або лужні компоненти у вигляді каустичної соди.

Портландцемент може використовуватись як компонент змішаного в'язучого. Для виробництва автоклавного комірчастого бетону цемент часто застосовують разом із негашеним вапном у співвідношенні 1:1 за масою. Введення вапна дозволяє скоротити витрати цементу, підвищити лужність системи та забезпечити більш інтенсивний перебіг реакції газоутворення.

Під час проєктування складу бетонної суміші необхідно враховувати, що цементі високих класів міцності набирають міцність швидше, ніж цементі нижчих класів. Для виробництва газобетону рекомендується застосовувати алітові портландцементи з вмістом С3S понад 50 %, а також низько- та середньоалюмінатні цементі із вмістом С3А у межах 5–8 %. Початок тужавлення цементу повинен наставати не пізніше ніж через 2 години.

Окрім показників міцності, до цементу висуваються вимоги щодо нормальної густоти та строків тужавлення. Нормальна густота портландцементу становить 22–27 %, тобто це кількість води, необхідна для

отримання цементного тіста стандартної консистенції. Відповідно до нормативних вимог початок тужавлення при температурі 20 °С повинен наставати не раніше ніж через 45 хвилин, а кінець – не пізніше ніж через 10 годин після замішування.

Портландцемент повинен мати високий ступінь помелу. Питома поверхня цементу суттєво впливає на швидкість гідратації та інтенсивність набору міцності. Через контрольне сито повинно проходити не менше 85 % загальної маси цементу.

Важливою вимогою є також рівномірність зміни об'єму цементу. Нерівномірне розширення або усадка можуть спричиняти утворення мікротріщин у структурі бетону та зниження його довговічності.

Якісний цемент повинен характеризуватись стабільністю фізико-механічних властивостей. Значення коефіцієнта варіації активності цементу не повинно перевищувати 3–5 % залежно від класу міцності. Також не допускається явище «хибного тужавлення», а температура цементу під час відвантаження не повинна перевищувати 95 °С.

Пісок

Для виробництва комірчастих бетонів пісок повинен відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-32-95 та ДСТУ EN 12620.

Найчастіше використовують природні кварцові піски, рідше – подрібнений пісок, отриманий шляхом дроблення гірських порід. Рекомендується застосовувати чисті кварцові піски річкового або кар'єрного походження із вмістом кремнезему не менше 90 %, вмістом глинистих домішок не більше 5 % та слюди – не більше 0,5 %.

Питома поверхня піску залежно від щільності комірчастого бетону повинна становити 1200–2000 см²/г.

При автоклавному твердненні газосилікатів поверхня зерен заповнювача взаємодіє із в'язучими компонентами, тому мінералогічний склад і дисперсність піску значною мірою визначають властивості готового матеріалу.

Кварцовий пісок для виробництва газобетону та газосилікату повинен бути чистим, без органічних домішок і глинистих включень, а вміст SiO_2 повинен бути не меншим за 80 %. Наявність глини уповільнює процес тверднення та знижує міцність виробів. Органічні домішки негативно впливають на процес газоутворення та погіршують спучування бетонної суміші.

У виробництві пінобетону використовують дрібнозернисті природні або мелені піски, оскільки великі зерна можуть спричиняти осідання бетонної маси. Для комірчастих бетонів пісок повинен проходити через сито з отворами 0,63 мм. Для пінобетонів із щільністю понад 800 кг/м^3 допускається використання піску крупністю до 1,2 мм.

Технологія виробництва газобетону передбачає мокрий помел піску у кульових млинах. При цьому відпадає необхідність попереднього сушіння піску в сушильних барабанах. Під час помелу до млина подається вода до отримання піщаного шламу щільністю $2000\text{--}2500 \text{ кг/м}^3$ та вологістю 32–35 %.

Питома поверхня меленого піску залежно від щільності комірчастого бетону повинна становити:

- $1500\text{--}2000 \text{ см}^2/\text{г}$ – для бетону щільністю 800 кг/м^3 ;
- $2000\text{--}2300 \text{ см}^2/\text{г}$ – для щільності 700 кг/м^3 ;
- $2300\text{--}2700 \text{ см}^2/\text{г}$ – для щільності 600 кг/м^3 ;
- $2700\text{--}3000 \text{ см}^2/\text{г}$ – для щільності 500 кг/м^3 і нижче.

Щільність піщаного шламу з грубомеленого піску повинна бути не меншою за $1,6 \text{ кг/л}$, а шламу нормального помелу – $1,68 \text{ кг/л}$. Для шламів, отриманих із вторинних продуктів збагачення руд, щільність може становити $1,75\text{--}1,8 \text{ кг/л}$.

Гранулометричний склад піску визначається просіюванням через стандартний набір сит. Розміри отворів сит становлять 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 мм. Повні залишки на ситах повинні відповідати технологічним вимогам виробництва комірчастих бетонів.

Модуль крупності піску є важливим показником, який характеризує зерновий склад заповнювача. Значення модуля крупності для пісків, що використовуються у виробництві комірчастого бетону, коливається у межах 2,1–3,25.

Щільність піску залежить від його істинної густини, пустотності та вологості. Вміст домішок, визначених методом відмучування, не повинен перевищувати 3 %. Також контролюється вміст органічних домішок за допомогою колориметричних випробувань.

Стандартні характеристики піску:

- істинна густина – 2,53–2,70 г/см³;
- насипна щільність – 1,37–1,56 кг/л;
- пустотність – 41–49 %;
- модуль крупності – 0,69–2,79;
- водопотреба – 4–11,5 %.

Коефіцієнт міцності заповнювача А, який характеризує вплив піску на міцність бетону, змінюється у межах 0,25–0,58.

Контроль вологості піску здійснюється під час приймання, дозування та приготування бетонної суміші. Найбільший об'єм пісок займає при вологості 5–7 %, а зі зміною вологості його об'єм зменшується.

Водопотреба піску становить:

- 4–6 % – для крупнозернистих пісків;
- 6–8 % – для середньозернистих;
- 8–10 % – для дрібнозернистих;
- понад 10 % – для дуже дрібних пісків.

Вода

Для приготування бетонної суміші використовують питну воду або технічну воду, яка відповідає вимогам ДСТУ EN 1008:2022.

Водневий показник рН води повинен бути не нижчим за 4. Вода не повинна містити сульфатів понад 2700 мг/л та загальної кількості розчинених солей понад 5000 мг/л.

У сумнівних випадках придатність води перевіряється шляхом порівняльних випробувань контрольних зразків бетону, виготовлених на досліджуваній воді та на стандартній водопровідній воді.

Газоутворювачі

Газоутворювачі повинні відповідати вимогам чинної нормативної документації на алюмінієві порошки та пасти.

У виробництві газобетону як газоутворювач застосовують алюмінієву пудру або алюмінієву пасту.

Сучасне виробництво газобетону потребує використання вискодисперсного алюмінієвого порошку із вмістом активного алюмінію 95–98 %.

Питома поверхня алюмінієвої пудри за Блейном повинна становити близько 20000 см²/г.

Розміри частинок алюмінію повинні бути однорідними, що забезпечує рівномірне газоутворення та формування пор однакового розміру у структурі комірчастого бетону.

Під час зберігання алюмінієва пудра може бути пожежонебезпечною та здатною до самозаймання. Для запобігання цьому поверхня частинок покривається парафіновою або стеариною плівкою.

Для підвищення реакційної здатності пудру піддають термічній обробці при температурі 190–250 °С протягом 2–4 годин. Прокалювання покращує змочуваність пудри водою та підвищує рівномірність її розподілу у бетонній суміші.

Також допускається використання непрокаленої пудри після попередньої обробки поверхнево-активними речовинами, які знижують поверхневий натяг на межі поділу фаз.

Значна частина алюмінієвої пудри може утворювати агломерати розміром 100–500 мкм, що негативно впливає на однорідність структури газобетону. Для диспергування алюмінієвої пудри застосовують спеціальні активатори.

Великі агломерати алюмінієвої пудри спричиняють утворення пор великих розмірів, які мають неправильну форму та можуть з'єднуватися між собою під час спучування масиву. Це призводить до виходу газу з масиву сирцю та погіршення структури матеріалу.

Витрата алюмінієвої пудри залежить від заданої щільності газобетону та становить 0,25–0,7 кг/м³.

1.3 Характеристика технологічного процесу

Технологічна схема виробництва блоків із автоклавного газобетону, наведена у графічній частині проєкту, включає три основні функціонально-технологічні зони, кожна з яких виконує окремий комплекс операцій, пов'язаних із підготовкою сировинних компонентів, формуванням масиву та автоклавною обробкою готової продукції.

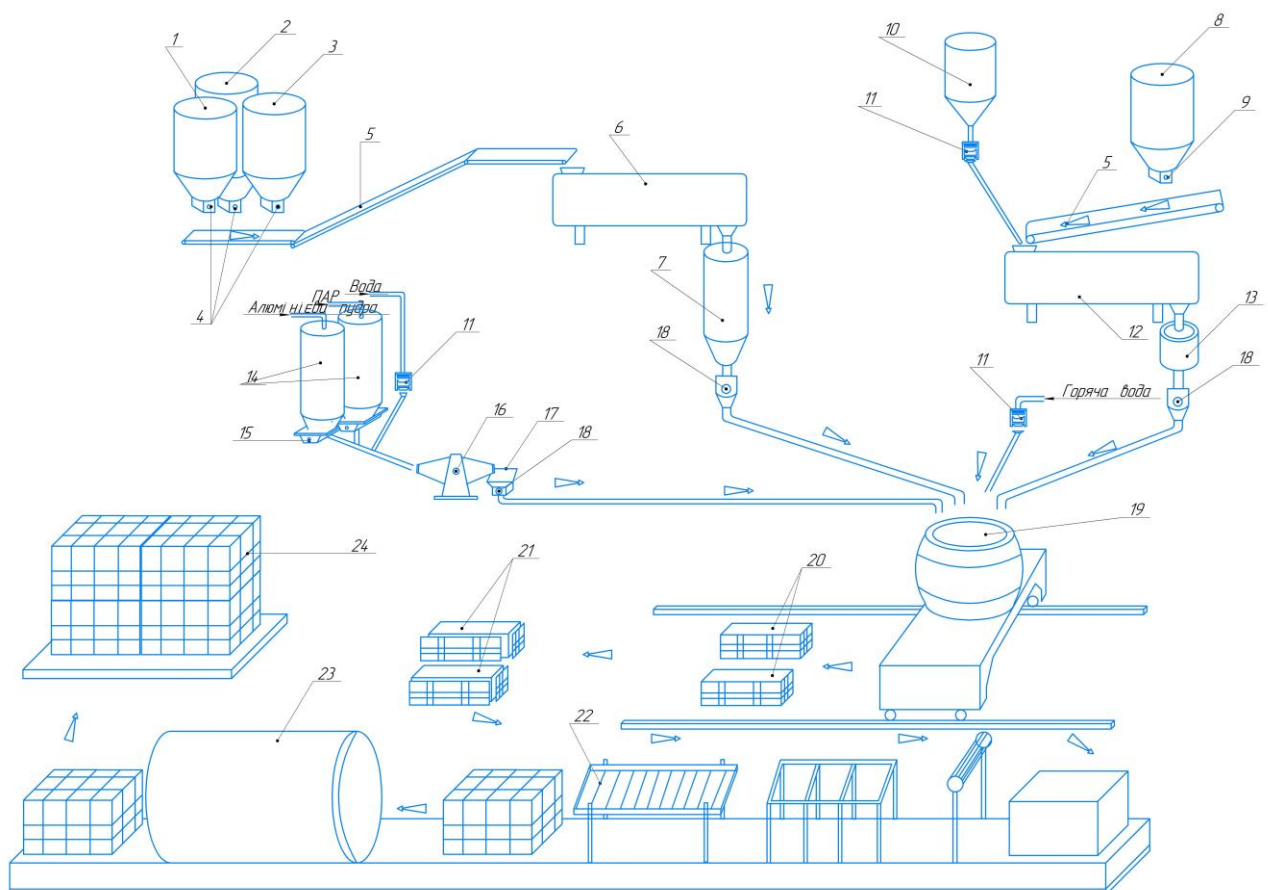


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва блоків з газобетону

Перша зона А – зона підготовки сировинних матеріалів. Дана зона призначена для дозування, транспортування, помелу та підготовки компонентів газобетонної суміші. Вона поділяється на три технологічні підзони.

Підзона А-1 призначена для підготовки в'язучих компонентів. Вапно, кварцовий пісок та цемент із витратних бункерів 1, 2 і 3 відповідно після дозування ваговим дозатором 4 надходять на стрічковий конвеєр 5. Конвеєр транспортує сировинні компоненти до млина в'язучого 6, де здійснюється їх спільний помел до необхідної питомої поверхні. Після завершення помелу підготовлене в'язуче подається до гомогенізатора 7, у якому забезпечується усереднення суміші та стабілізація її фізико-хімічних характеристик.

Підзона А-2 використовується для приготування піщаного шламу. Пісок із бункера 8 після дозування дозатором 9 подається на стрічковий конвеєр 5 та надходить до кульового млина 12. Одночасно до млина подається вода з резервуара 10, кількість якої регулюється дозатором води 11. У процесі мокрого помелу утворюється піщаний шлам необхідної дисперсності та вологості. Після завершення помелу шлам надходить до шламбасейну 13, де здійснюється його накопичення та технологічне витримання.

Підзона А-3 призначена для підготовки газоутворювальної суспензії. Із проміжних ємностей 14 алюмінієва пудра та поверхнево-активні речовини після дозування ваговими дозаторами 15 подаються до змішувача алюмінієвої суспензії 16. Одночасно до змішувача подається вода, дозована дозатором 11. У змішувачі здійснюється рівномірний розподіл алюмінієвої пудри у водному середовищі з утворенням стабільної суспензії, яка після приготування надходить у приймальну воронку 17.

Друга зона Б – зона формування виробів. У даній зоні відбувається приготування газобетонної суміші, заливання форм, визрівання масиву, розпалублення та різання виробів.

Підготовлені сировинні суміші із зони А трубопроводами подаються разом із гарячою водою до вібраційного газобетоно-змішувача 19. У змішувачі відбувається інтенсивне перемішування компонентів та активація процесу

газоутворення. Після завершення перемішування готова газобетонна суміш заливається у металеві форми, які подаються на пост визрівання 20. У процесі визрівання відбувається спучування масиву, формування пористої структури та набір початкової пластичної міцності.

Після досягнення необхідної структурної міцності форми надходять на пост розпалублення 21, де здійснюється відокремлення сирцевого газобетонного масиву від форми. Далі монолітний масив подається на різальний комплекс 22, у якому здійснюється різання масиву на окремі блоки заданих геометричних розмірів.

Третя зона В – зона автоклавної обробки. На даній стадії здійснюється теплова та гідротермальна обробка виробів.

Після різання газобетонні блоки надходять до автоклава 23, де під впливом насиченої водяної пари при підвищеному тиску та температурі відбувається автоклавне тверднення. У процесі автоклавної обробки формуються гідросилікати кальцію, які забезпечують високу міцність, морозостійкість і довговічність готових виробів.

Після завершення автоклавної обробки готові газобетонні блоки транспортуються на склад готової продукції 24, де здійснюється їх тимчасове зберігання, комплектування та підготовка до відвантаження споживачеві.

1.4 Режим роботи підприємства

Режим роботи підприємства, виробничого цеху або окремого технологічного переділу характеризується кількістю робочих днів у році, кількістю змін на добу, тривалістю робочої зміни та встановлюється відповідно до вимог чинного трудового законодавства України, а також норм технологічного проєктування підприємств промисловості будівельних матеріалів.

Правильний вибір режиму роботи виробничого підприємства забезпечує виконання виробничої програми при мінімальних витратах трудових,

енергетичних та матеріальних ресурсів, що безпосередньо впливає на техніко-економічні показники виробництва та собівартість готової продукції.

Робочий час – це встановлена законодавством тривалість робочого дня та робочого тижня. Під робочим часом також розуміють період перебування працівника на підприємстві у зв'язку з виконанням виробничих обов'язків.

Фонд робочого часу являє собою норму робочого часу за відповідний обліковий період – рік, місяць або тиждень. Значення фонду робочого часу залежить від прийнятого режиму роботи підприємства. Розрізняють календарний, номінальний та дійсний фонд робочого часу для персоналу та технологічного обладнання.

Приймаємо такий режим роботи підприємства:

Склад сировини:

кількість робочих днів у році – 259;
кількість змін на добу – 3;
тривалість зміни – 8 год;
календарний фонд – 8784 год;
номінальний фонд для робітників – 2063 год;
номінальний фонд для обладнання – 6186 год;
дійсний фонд для робітників – 1902 год;
дійсний фонд для обладнання – 5258 год.

Газобетоно-змішувальне відділення:

кількість робочих днів – 259;
кількість змін – 2;
тривалість зміни – 8 год;
календарний фонд – 8784 год;
номінальний фонд для робітників – 2063 год;
номінальний фонд для обладнання – 4124 год;
дійсний фонд для робітників – 1902 год;
дійсний фонд для обладнання – 3505 год.

Автоклавне відділення:

кількість робочих днів – 259;

кількість змін – 3;

тривалість зміни – 8 год;

календарний фонд – 8784 год;

номінальний фонд для робітників – 2063 год;

номінальний фонд для обладнання – 6186 год;

дійсний фонд для робітників – 1902 год;

дійсний фонд для обладнання – 5258 год.

Склад готової продукції:

кількість робочих днів – 259;

кількість змін – 2;

тривалість зміни – 8 год;

календарний фонд – 8784 год;

номінальний фонд для робітників – 2063 год;

номінальний фонд для обладнання – 4124 год;

дійсний фонд для робітників – 1902 год;

дійсний фонд для обладнання – 3505 год.

1.5 Розрахунок сировинного матеріального балансу

Витрати мінеральних компонентів комірчастобетонної суміші та води на один заміс визначаються за відповідними розрахунковими формулами матеріального балансу технологічного процесу.

$$\text{Витрата складеного в'язучого: } P_{\text{вяжс}} = \frac{\gamma_{\text{Б}}}{K_{\text{С}}(1+C)} \cdot V$$

$$\text{Витрата вапна: } P_{\text{И}} = P_{\text{вяжс}} \cdot n$$

$$\text{Витрата цементу: } P_{\text{Ц}} = P_{\text{вяжс}} - P_{\text{И}}$$

$$\text{Витрата кремнеземистого компонента: } P_{\text{К}} = P_{\text{вяжс}} \cdot C$$

$$\text{Витрата меленого двоводного гіпсу: } P_{\text{Г}} = P_{\text{И}} \cdot 0,03$$

$$\text{Витрата води: } B = (P_{\text{вяжс}} + P_{\text{Г}}) \cdot B/T$$

де γ_B – задана середня густина комірчастого бетону у сухому стані, кг/дм³;

K_c – коефіцієнт збільшення маси сухої суміші внаслідок тверднення в'язучого, який приймається рівним 1,1;

V – об'єм одного замісу, що дорівнює об'єму форм, які заповнюються з одного замісу, помноженому на коефіцієнт надлишку суміші. Для пінобетону коефіцієнт надлишку становить 1,05, для газобетону – 1,1–1,15. Під час виготовлення лабораторних зразків коефіцієнт надлишку приймають не меншим за 1,5;

C – кількість вагових частин кремнеземистого компонента, що припадає на одну вагову частину в'язучого;

P – масова частка вапна у складі в'язучого;

B/T – водотверде відношення.

Під час розрахунку витрати пороутворювача (піноутворювача або газоутворювача) попередньо визначають величину пористості бетону, яка повинна бути створена пороутворювачем для отримання комірчастого бетону заданої середньої густини:

$$P_B = 1 - \frac{\gamma_B}{K_c} \cdot (W + B/T)$$

де W – питомий об'єм сухої суміші.

Кількість газоутворювача або піни теоретично повинна забезпечувати виділення такого об'єму газу або введення такого об'єму піни, який відповідає необхідній пористості, визначеній за наведеною вище формулою.

У реальних виробничих умовах пороутворювач використовується не повністю для створення пористої структури бетону. У зв'язку з цим витрата пороутворювача приймається більшою за теоретично необхідну та визначається за відповідною технологічною формулою.

$$P = \frac{P_B}{K \cdot \alpha} \cdot V$$

Проектування складу газобетону

Необхідно отримати газобетон марки 300 за середньою густиною із застосуванням змішаного цементно-вапняного в'язучого.

Об'єм одного замісу – 10 дм³.

Вихідні матеріали:

- портландцемент марки 400;
- мелене негашене вапно-кипілка активністю 70 %;
- кремнеземистий компонент – кварцовий пісок;
- пороутворювач – алюмінієва пудра для виробництва газобетону;
- поверхнево-активна речовина – милонафт;
- сповільнювач гідратації вапна-кипілки – мелений двоводний гіпс.

Розрахунок

Користуючись відповідними розрахунковими залежностями, визначаємо витрати матеріалів на один заміс з урахуванням вихідних параметрів: $C = 1,5$; $n = 0,5$.

Розплив за Суттардом (рухливість розчину) повинен становити 30 см. Експериментально встановлено, що необхідна текучість суміші досягається при водотвердому відношенні $V/T = 0,5$.

Визначено, що при використанні наведених матеріалів питомі витрати сухої суміші становлять відповідне значення.

Для газобетону вихід пор становить відповідну величину. Коефіцієнт використання пороутворювача приймається згідно з технологічними рекомендаціями.

Після встановлення необхідних параметрів виконуємо розрахунок витрат матеріалів на 10 дм³ газобетону, кг:

$$\text{В'яжучого} \quad P_{\text{вяж}} = \frac{0,5}{1,1 \cdot (1+1,5)} \cdot 10 = 1,81$$

$$\text{Вапна} \quad P_{\text{И}} = 1,8 \cdot 0,5 = 0,9$$

$$\text{Цементу} \quad P_{\text{Ц}} = 1,8 - 0,9 = 0,9$$

$$\text{Кремнеземистого компонента (піску)} \quad P_{\text{К}} = 1,8 \cdot 1,5 = 2,715$$

$$\text{Меленого двоводного гіпсу} \quad P_{\text{К}} = 1,8 \cdot 1,5 = 2,715$$

$$\text{Води } B = (1,81 + 2,715) \cdot 0,5 = 2,2625$$

Пористість, яку необхідно створити за допомогою пороутворювача для отримання заданої середньої густини:

$$P_B = 1 - \frac{0,5}{1,1} \cdot (0,38 + 0,5) = 0,472$$

На основі визначеної пористості розраховуємо витрати алюмінієвої пудри для виробництва газобетону.

Витрата алюмінієвої пудри:

$$P_{\Pi} = \frac{0,472}{1,39 \cdot 0,85} \cdot 10 = 3,99 \text{ г}$$

Витрата милонафту для приготування водно-алюмінієвої суспензії:

$$P_M = 3,99 \cdot 0,05 = 0,199$$

Таблиця 1.4 – Витрати матеріалів на 10 дм³ газобетонної суміші

Вид суміші	Расхода материала на 10 дм³						
	Цемент (т)	Вапно (т)	Пісок (т)	Гіпс (т)	Вода (т)	Алюмінієв а пудра (т)	Милонафт (т)
Комірчастий бетон	90	90	217,5	2,7	226,25	39,9	19,9

Таблиця 1.5 – Річні витрати матеріалів

Вид суміші		Витрати матеріалу на 1 рік						
Бетонна суміш		Цемент (т)	Известь (т)	Песок (т)	Гипс (т)	Вода (т)	Алюминиевая пудра (т)	Мылонафт (т)
Без урахування втрат	З урахуванням втрат	4 567 500	4 567 500	10 998 975	137 025	11 482 187	2 024 925	1 009 925
50 000	50 570							

Таблиця 1.6 – Витрати матеріалів за часовими інтервалами

Матеріал	Кількість матеріалу на				
	рік		Доба	Зміна	Година
	без втрат	з урахуванням втрат			
Цемент (т)	4 500 000	4 567 500	17 635,13	5 878,37	734,8
Вапно (т)	4 500 000	4 567 500	17 635,13	5 878,37	734,8
Пісок (т)	10 875 000	10 998 975	42 467,08	14 155,69	1 769,5
Гіпс (т)	135 000	137 025	529,05	176,35	22,04
Вода (т)	11 312 500	11 482 187	44 332,73	1 477 758,6	184 719,8
Алюмінієва пудра (т)	1 995 000	2 024 925	7 818,24	2 606, 08	325,76
Милонфт (т)	995 000	1 009 925	3 899,3	1 299,76	162,47
Бетонна суміш (т)	50 000	50 570	195,25	65,08	8,135

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Опис об'єкта проєктування

Віброгазобетонозмішувач СМС-40 призначений для інтенсивного перемішування газобетонної суміші, її транспортування та подачі у форми на технологічних лініях виробництва виробів із вібраційного комірчастого бетону середньою густиною 500–700 кг/м³.

Основним робочим органом змішувача є вертикальний вал із лопатями, який приводиться в обертання приводним механізмом. Привод складається з електродвигуна та клинопасової передачі. У процесі експлуатації приводного механізму виникає підвищений рівень шуму та вібраційних навантажень, що негативно впливає як на умови праці обслуговуючого персоналу, так і на довговічність окремих вузлів машини. Крім того, конструкція характеризується значною металоємністю, підвищеною трудомісткістю технічного обслуговування та ремонту, що знижує загальну економічну ефективність експлуатації обладнання.

Під час детального аналізу конструкції робочого органу, а саме вертикального лопатевого валу, встановлено низку конструктивних недоліків. На сучасному етапі існує декілька варіантів виконання лопатевих роторів для змішувачів газобетонної суміші, які відрізняються формою, геометрією та розташуванням лопатей.

Порівняльний аналіз різних конструктивних рішень лопатевого валу, а також дослідження питомих витрат енергії на 1 м³ приготованої суміші дозволяють визначити найбільш ефективну конфігурацію робочих органів. Рациональна форма та розташування лопатей забезпечують інтенсивніше перемішування компонентів суміші при одночасному зменшенні енергоспоживання.

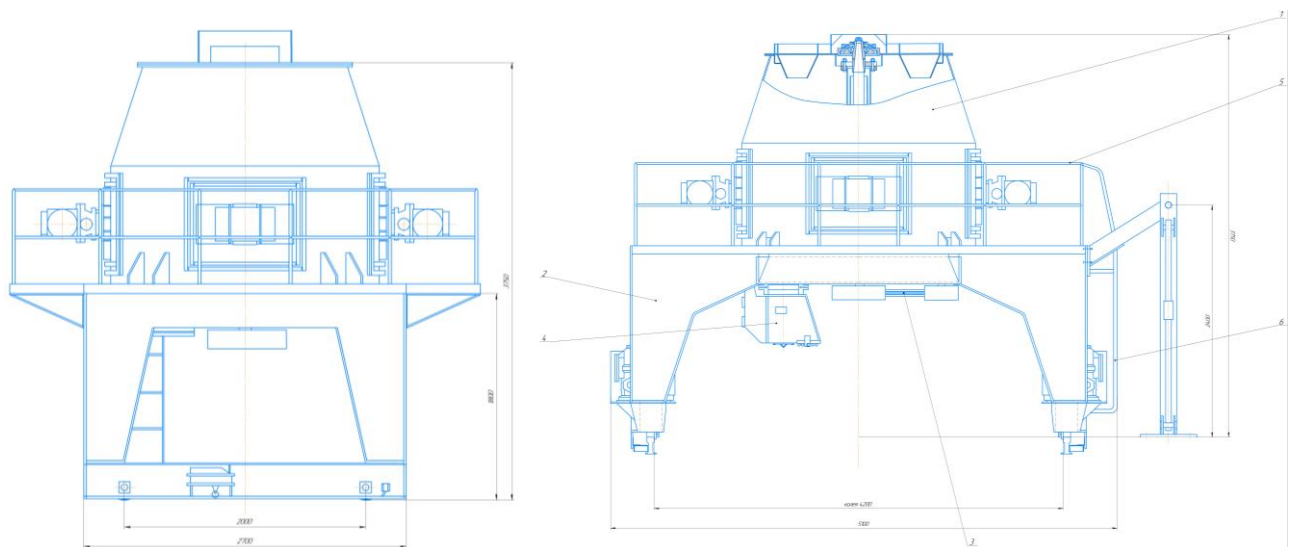
Результати досліджень робочих органів змішувачів свідчать про те, що лопаті змінного перерізу з перфорацією та розташуванням під кутом до осі

обертання характеризуються найменшою енергоємністю за інших однакових умов експлуатації.

Пропонується встановлення на вертикальному лопатовому валу похило розташованих вертикальних лопатей, що дозволить суттєво підвищити продуктивність змішувача, скоротити тривалість циклу перемішування та покращити однорідність газобетонної суміші.

Застосування удосконаленого лопатевого ротора дозволяє підвищити ефективність гідродинамічного перемішування, інтенсифікувати процес диспергування газоутворювача та забезпечити рівномірний розподіл компонентів у всьому об'ємі суміші.

Додатковою перевагою модернізованої конструкції є зниження динамічних навантажень на приводний механізм, зменшення питомого споживання електроенергії та підвищення експлуатаційної надійності обладнання.



1 – змішувач; 2 – портал; 3 – привод змішувача; 4 – розвантажувальний пристрій; 5 – огороження; 6 – сходи.

Рисунок 2.1 – Вібροгазобетонозмішувач СМС-40

Вібροгазобетонозмішувач являє собою самохідну порталну установку, до складу якої входять:

- портал;
- змішувач;

- роторний вал із приводом;
- вібропоршні;
- гасники із затворами;
- приводний блок;
- електрообладнання;
- пневматична система.

Портал являє собою жорстку раму, зварену зі швелерів та листової сталі. Рама спирається на дві ходові візки, кожна з яких оснащена індивідуальним приводом, що складається з електродвигуна, редуктора, гальмівного механізму та ланцюгової передачі. Окрім ходових візків, до рами кріпляться обслуговуючі майданчики та елементи кріплення змішувача.

Змішувач виконаний у вигляді зварного циліндричного корпусу, який у верхній та нижній частинах переходить у зрізані конуси. До нижнього конуса приварюється плоске днище з двома зливними патрубками. У центральній частині днища передбачено отвір для встановлення приводного вала.

На циліндричній частині корпусу розташовані чотири вібропоршні, які закріплюються до корпусу через гумові діафрагми. Діафрагми виконують функцію віброізоляційних та ущільнювальних елементів.

Вібропоршень являє собою завальцьований металевий лист, радіус якого відповідає радіусу циліндричної частини змішувача. Із зовнішнього боку листа закріплений вібратор, а з внутрішнього – похила лопать, призначена для збільшення активної віброуючої поверхні, яка контактує із сумішшю.

До фланця корпусу змішувача кріпиться кришка. Два завантажувальні отвори у кришці призначені для подачі компонентів комірчастої суміші. Для видалення повітря із внутрішнього об'єму змішувача під час завантаження у кришці встановлено клапан. Сам змішувач кріпиться до порталу за допомогою болтових з'єднань.

Привод роторного валу складається з клинопасової передачі та електродвигуна, закріпленого на монтажній плиті. Плита встановлена на

кронштейні та має можливість переміщення для регулювання натягу пасової передачі. Приводний блок закріплюється на рамі порталу.

Ротор складається з трьох лопатей висотою 600 мм, які закріплені на трубчастому роторі вертикально та під кутом 30°. Труба-ротор приєднується до приводного валу, який передає крутний момент від електропривода. Вивантаження суміші здійснюється через затворний механізм.

Затвор призначений для пережиму рукава, з'єднаного із випускними отворами змішувача. Конструктивно затвор виконаний у вигляді рамки з рухомими та нерухомими притискними елементами, між якими встановлений рукав гасника. Рухомий притиск приводиться у дію пневмоциліндром.

Для зменшення швидкості падіння суміші під час її подачі у форми передбачений гасник, який складається з корпусу та еластичного рукава.

Пневмоциліндри затворів з'єднані із цеховою пневмомагістраллю за допомогою шлангів через вузол підготовки повітря та два пневморозподільники. Вузол підготовки повітря встановлений на кронштейні та закріплений на порталі.

У вихідному положенні штоки пневмоциліндрів висунуті. При вмиканні електромагнітів пневморозподільників відбувається реверс пневматичних виконавчих механізмів, у результаті чого штоки пневмоциліндрів втягуються. За допомогою пневмодроселів здійснюється регулювання швидкості переміщення штоків.

На приводі пересування встановлено електродвигун типу 4A100L643. На приводному блоці використовується електродвигун A02-81-8. Для приводу вібропоршнів застосовується вібратор ІВ-101.

2.2 Порядок роботи обладнання

Для приготування газобетонної суспензії у виробництві комірчастих бетонів застосовується самохідний віброгазобетоно-змішувач СМС-40, оскільки приготовану суміш необхідно оперативно подавати у форми без зупинки процесу перемішування.

Завантаження сировинних компонентів здійснюється при увімкненому приводі лопатевого ротора.

У першу чергу до змішувача подають шлам та воду. Подача шламу і води здійснюється через завантажувальні воронки, розташовані у кришці змішувача. Після завантаження зазначених компонентів виконується їх попереднє перемішування протягом приблизно 60 секунд.

Після цього у суміш вводять необхідну кількість в'язучого. Для запобігання утворенню склепінь та грудкування сухі компоненти повинні подаватися рівномірно протягом 0,5–1 хвилини.

З початком подачі в'язучого вмикаються вібратори. На даному етапі відбувається інтенсивне перемішування всіх компонентів та активація процесу диспергування газобетонної суміші.

Через 1,5–2,5 хвилини після початку перемішування у суміш вводиться газоутворювач, після чого вмикається привод пересування змішувача.

Одночасно з процесом перемішування віброгазобетоно-змішувач переміщується до форми. Після досягнення заданого положення змішувач зупиняється перед формою.

Через одну хвилину після завершення завантаження газоутворювача відкриваються затвори та здійснюється видача газобетонної суміші у форму.

Кількість газобетонної суміші у змішувачі повинна бути точно розрахована таким чином, щоб забезпечити повне вивантаження суміші та заповнення форми до необхідного рівня.

Після завершення вивантаження суміші затвори закриваються, вимикаються привод лопатевого ротора та вібратори. Далі вмикається привод пересування, і змішувач повертається у вихідне положення на пост підготовчого відділення.

Обслуговування віброгазобетоно-змішувача здійснюється одним машиністом, який керує обладнанням дистанційно.

Не рідше одного разу за зміну необхідно виконувати промивання змішувача, а також очищення обладнання перед кожною зупинкою тривалістю понад 30 хвилин.

Під час очищення змішувача від затверділої суміші для запобігання можливому спалаху водню, що виділяється, необхідно забезпечити постійну продувку внутрішнього об'єму змішувача повітрям.

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок продуктивності лопатевого змішувача

Продуктивність лопатевих змішувачів визначається виходячи з кінематичних параметрів руху робочих органів та характеру переміщення газобетонної суміші у внутрішньому об'ємі змішувача.

Кожна лопать за один оберт ротора переміщує певний об'єм суміші на відстань, що відповідає проєкції лопаті на напрямок руху матеріалу. Сукупна дія всіх лопатей забезпечує безперервне перемішування та транспортування суміші у робочому просторі змішувача.

Загальна продуктивність лопатевого змішувача визначається за формулою:

$$V = 3600 \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) b \cdot \sin \lambda \cdot \phi \cdot n \cdot k \cdot \beta \text{ м}^3/\text{год}$$

де: D – діаметр кола, описуваного кінцем лопаті, м;

d – діаметр приводного валу, м;

b – середня ширина лопаті, м;

$\sin \lambda$ – кут нахилу лопаті, $\lambda = 30^\circ$;

ϕ – коефіцієнт заповнення корпусу змішувача, $\phi = 0,5$;

n – частота обертання валу змішувача, об/с;

β – коефіцієнт, що враховує часткове повернення суміші під час перемішування, $\beta = 0,75$;

k – коефіцієнт, який враховує нерівномірність подачі сировини та її розпушення у змішувачі, $k = 0,6$.

Після підстановки числових значень отримуємо:

$$V = 3600 \frac{3,14}{4} (1,2^2 - 0,2^2) \cdot 0,35 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 3,3 \cdot 0,6 \cdot 0,75 = 510 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Отримане значення продуктивності підтверджує ефективність прийнятої конструкції змішувача та відповідність його параметрів вимогам технологічного процесу виробництва комірчастого бетону.

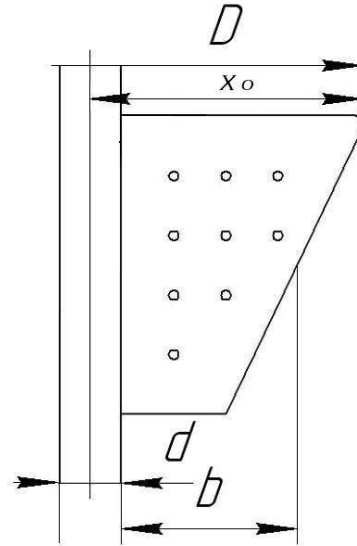


Рисунок 3.1 – Лопать віброгазобетонозмішувача

3.2 Інженерні розрахунки лопатевого змішувача

Вибір необхідної потужності привода лопатевого валу

Для визначення необхідної потужності електропривода лопатевого валу виконується розрахунок силового навантаження на робочі органи змішувача.

Вихідні дані для розрахунку:

c – коефіцієнт опору руху суміші, $c = 1,5$;

γ – питома вага суміші, $\gamma = 12000 \text{ Н/м}^3$;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

ω – кутова швидкість обертання, $\omega = 20 \text{ рад/с}$;

h – висота лопаті, $h = 600 \text{ мм}$;

$\sin \lambda$ – кут нахилу лопаті, $\lambda = 30^\circ$;

R – радіус кола, описуваного середньою шириною лопаті, $R = 0,35 \text{ м}$;

r – радіус приводного вала, $r = 0,1 \text{ м}$;

z – кількість лопатей, $z = 3$.

Лопатка, встановлена під кутом λ , обертається з коловою швидкістю v . Тиск на виділений елемент поверхні лопаті визначається відповідно до формули:

$$dP = \frac{c}{2} \cdot \frac{\gamma_{\text{уд}}}{g} h dx \cdot \sin \alpha v^2$$

Замінюючи швидкість v через ωr , де ω – кутова швидкість обертання, отримуємо:

$$dP = \frac{c}{2} \cdot \frac{\gamma_{\text{уд}}}{g} h dx \cdot \sin \alpha \omega^2 x^2$$

Інтегруючи отриманий вираз у межах від r до R , одержуємо:

$$dP = \frac{c}{2} \cdot \frac{\gamma_{\text{уд}}}{g} \omega^2 h \cdot \sin \alpha \int_r^R x^2 dx$$

Звідки визначається сила:

$$P = \frac{c}{2} \cdot \frac{\gamma_{\text{уд}} \cdot \omega^2 \cdot h \cdot \sin \alpha}{3g} (R^3 - r^3)$$

Точка прикладання сили P розташована на відстані x_0 від осі обертання.

Тоді:

$$x_0 = \frac{3(R^4 - r^4)}{4(R^3 - r^3)}$$

Колову швидкість у точці прикладання сили P визначають за залежністю:

$$v = \omega x_0 = \frac{3}{4} \omega \frac{(R^4 - r^4)}{(R^3 - r^3)}$$

Потужність, необхідна для обертання однієї лопаті, визначається за формулою:

$$N_1 = P \cdot v \text{ Вт}$$

Після підстановки значень сили P та швидкості v та виконання перетворень отримуємо:

$$N_1 = \frac{z \cdot c \cdot \gamma_{\text{уд}}}{8g} \cdot \omega^3 h \sin \alpha (R^4 - r^4), \text{ Вт}$$

У такому випадку загальна потужність привода становить:

$$N_1 = \frac{3 \cdot 1,5 \cdot 12000}{8 \cdot 9,8} \cdot 20^3 \cdot 0,6 \cdot 0,5 (0,35^4 - 0,1^4) = 23,605 \text{ кВт.}$$

Потужність з урахуванням використання перфорованих лопатей:

$$N = N_1 \cdot K_{\text{перф}} = 24,6 \cdot 0,98 = 22 \text{ кВт.}$$

Площа пластини визначається за формулою:

$$F_{\text{пласт}} = 0,6 \cdot 0,35 = 0,21 \text{ м}^2.$$

Площа отворів:

$$F_{\text{отв}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 9 = \frac{3,14 \cdot 0,02^2}{4} \cdot 9 = 0,0028 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт, що враховує перфорування лопатей:

$$K_{\text{перф}} = \frac{F_{\text{пласт}} - F_{\text{отв}}}{F_{\text{пласт}}} = \frac{0,21 - 0,0028}{0,21} = 0,98$$

З урахуванням коефіцієнта перфорування $K_{\text{перф}} = 0,98$ необхідна потужність привода становить: $N = 22 \text{ кВт}$.

Використання перфорованих лопатей дозволяє знизити енергоспоживання, покращити інтенсивність перемішування та зменшити гідродинамічний опір руху суміші у змішувачі.

Розрахунок шпонок приводного валу

Шпонкові з'єднання працюють переважно на зріз та зминання, тому під час розрахунку необхідно перевірити виконання умов міцності за відповідними напруженнями.

Умова міцності має вигляд:

$$\tau_{\text{зр}} = \frac{P}{F} \leq [\tau_{\text{зр}}] \quad \text{та} \quad \sigma_{\text{зм}} = \frac{P}{F_1} \leq [\sigma_{\text{зм}}]$$

де: P – максимальне колове зусилля $P = \frac{2M_{\text{к.р.}}}{d}$;

d – середній діаметр валу у місці встановлення шпонки, $d = 80 \text{ мм}$;

F – площа зрізу;

F_1 – площа зминання.

Мінімальна площа зрізу шпонки:

$$F = b \times l,$$

де: b – ширина шпонки;

l – довжина шпонки, $l = 120 \text{ мм}$.

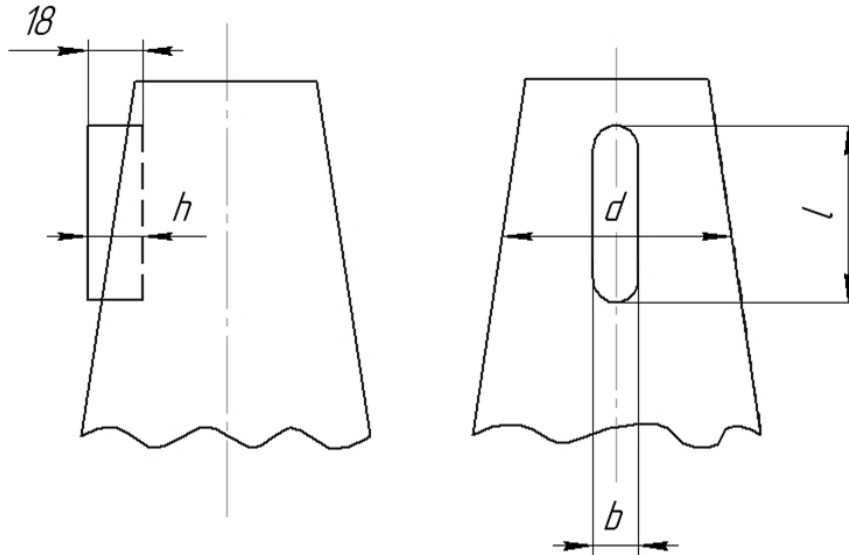


Рисунок 3.2 – Шпонка приводного валу

Площа зминання:

$$F_1 = l \times h,$$

де: h – середня висота зминання, $h = 9$ мм.

Після підстановки числових значень отримуємо:

$$F = 2,2 \times 12 = 26,5 \text{ см}^2 = 0,00265 \text{ м}^2.$$

$$F_1 = 12 \times 0,9 = 10,8 \text{ см}^2 = 0,00108 \text{ м}^2.$$

Відповідно визначаємо напруження:

$$M_{\text{кр}} = 97500 = \frac{N}{n} = 97500 = \frac{22}{200} = 11000 \text{ кгсм} = 1100 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{2 \cdot 1100}{0,08} = 27500 \text{ Н}$$

$$F = b \times l = 2,2 \times 12 = 26,5 \text{ см}^2 = 0,00265 \text{ м}^2$$

$$F_1 = l \times h = 12 \times 0,9 = 10,8 \text{ см}^2 = 0,00108 \text{ м}^2$$

$$\tau = \frac{P}{F} = \frac{27500}{0,00265} = 10,3 \cdot 10^6 \text{ Па} = 10,3 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{P}{F_1} = \frac{27500}{0,00108} = 25,4 \cdot 10^6 \text{ Па} = 25,4 \text{ МПа}.$$

Для сталі 45 допустимі значення напружень на зріз та зминання повинні бути не нижчими за 80 МПа.

Отже, умови міцності шпонкового з'єднання на зріз і зминання виконуються.

Розрахунок шпонки у місці закріплення нижньої опори

Для забезпечення надійної передачі крутного моменту в нижній опорі виконується додатковий розрахунок шпонкового з'єднання.

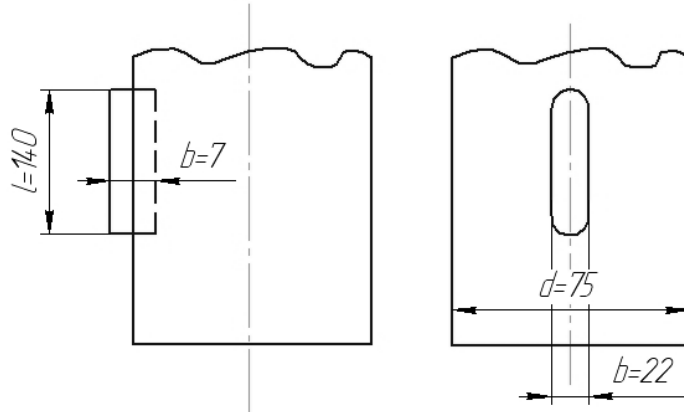


Рисунок 3.3 – Шпонка нижньої опори

Площа зрізу:

$$F = 2,2 \times 14 = 30,8 \text{ см}^2 = 0,00308 \text{ м}^2.$$

Площа зминання:

$$F_1 = 14 \times 0,7 = 9,8 \text{ см}^2 = 0,00098 \text{ м}^2.$$

Колове зусилля у місці встановлення шпонки визначається за розрахунковими залежностями.

Отримані значення напружень:

$$\tau = \frac{P}{F} = \frac{27500}{0,00308} = 8,9 \cdot 10^6 \text{ Па} = 8,9 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{P}{F_1} = \frac{27500}{0,00098} = 28 \cdot 10^6 \text{ Па} = 28 \text{ МПа}.$$

Для сталі 45 допустимі значення напружень на зріз та зминання повинні бути не нижчими за 80 МПа.

Отримані результати підтверджують, що шпонкове з'єднання забезпечує необхідний запас міцності та надійність роботи вузла в експлуатаційних умовах.

Розрахунок клинопасової передачі привода лопатевого вала

Розрахунок клинопасової передачі привода лопатевого валу виконується з метою забезпечення надійної передачі крутного моменту від електродвигуна до робочого органу змішувача при заданих кінематичних та силових параметрах.

Вихідні дані для розрахунку:

- потужність електродвигуна: $N = 22$ кВт;
- частота обертання ведучого шківа: $n_1 = 750$ об/хв;
- частота обертання лопатевого валу: $n_2 = 200$ об/хв.

Розрахунок передачі виконується відповідно до вимог чинних стандартів та методик розрахунку пасових передач.

Передаточне число передачі:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{750}{200} = 3,75$$

Розрахунковий діаметр меншого шківа: $d_{ш} = 315$ мм.

Тоді швидкість руху pasa становить:

$$V = \frac{\pi \cdot d_{ш} \cdot n_2}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,315 \cdot 750}{60} = 12,3 \text{ м/с.}$$

Потужність, яка передається одним пасом при швидкості 12,3 м/с та діаметрі шківа 315 мм, дорівнює: $N_0 = 8,25$ кВт.

Необхідна кількість пасів визначається за формулою:

$$z = \frac{N_{дв}}{N_0 \cdot k_1 \cdot k_2}$$

де: $N_{дв}$ – передавана потужність, 22 кВт;

N_0 – потужність, що передається одним пасом;

k_1 – коефіцієнт, який враховує кут обхвату;

k_2 – коефіцієнт, який враховує характер навантаження: $k_2 = 0,92$.

Кут обхвату визначається за залежністю:

$$\alpha = 180^\circ - 60^\circ \left(\frac{D - d_{ш}}{A} \right)$$

де: D – діаметр більшого шківа.

Розрахункове значення діаметра більшого шківа:

$$D = d_{ш} \cdot i = 315 \cdot 3,75 = 1180 \text{ мм.}$$

З конструктивних міркувань приймаємо: $D = 1180$ мм.

Міжосьову відстань приймаємо конструкційно: $A = 1720$ мм.

За табличними даними коефіцієнт кута обхвату: $k_1 = 0,95$.

Кількість пасів:

$$z = \frac{22}{8,25 \cdot 0,95 \cdot 0,92} = 3,05 \text{пасів.}$$

Приймаємо три клинові паси.

Відповідно до розрахунку приймається стандартна довжина паса:

$$L = 5900 \text{ мм.}$$

Фактичне передаточне число передачі:

$$i_{\phi} = \frac{D}{d_{\text{ш}}} = \frac{1180}{315} = 3,74$$

Фактична частота обертання лопатевого валу:

$$n_1 = \frac{n_2}{i_{\phi}} = \frac{750}{3,74} = 200 \text{об/хв.}$$

Використання клинопасової передачі забезпечує плавність роботи привода, зменшення динамічних навантажень та надійність експлуатації змішувача.

Розрахунок необхідної потужності привода пересування порталу

Для забезпечення переміщення віброгазобетоно-змішувача вздовж технологічної лінії необхідно визначити потужність привода механізму пересування порталу.

Вихідні дані:

$Q = 13000$ кг – маса віброгазобетоно-змішувача з комірчастою сумішшю;

$V = 12,4$ м/хв – швидкість переміщення;

$D = 300$ мм – діаметр ходового колеса.

Опір руху порталу від сил тертя на прямолінійній ділянці визначається за формулою:

$$W_c = Q \cdot \frac{\mu \cdot d + 2k}{D} \cdot C$$

де: $\mu = 0,015$ – коефіцієнт тертя підшипників кочення;

$d = 95$ мм – середній діаметр підшипників;

$k = 0,06$ см – плече тертя кочення сталевих коліс по рейках;

C – коефіцієнт, який враховує тертя реборд коліс об рейки та залежить від точності виготовлення ходової частини й стану рейкового шляху;

$D = 30$ см – діаметр колеса.

Після підстановки числових значень отримуємо:

$$W_c = 1300 \cdot \frac{0,015 \cdot 9,5 + 2 \cdot 0,06}{30} \cdot 5 = 562,5 \text{ кг.}$$

Необхідна потужність привода:

$$N_p = \frac{W_c \cdot V}{102 \cdot 60} = \frac{562,5 \cdot 12,4}{102 \cdot 60 \cdot 0,76^2 \cdot 0,8^2} = 3 \text{ кВт.}$$

де: η – загальний коефіцієнт корисної дії передачі;

η_1 – ККД редуктора;

η_2 – ККД відкритої зубчастої передачі.

Розрахована потужність розподіляється між двома електродвигунами механізму пересування.

З урахуванням запасу потужності приймається електродвигун типу 4A100L6Y3 потужністю 2,2 кВт та частотою обертання 950 об/хв.

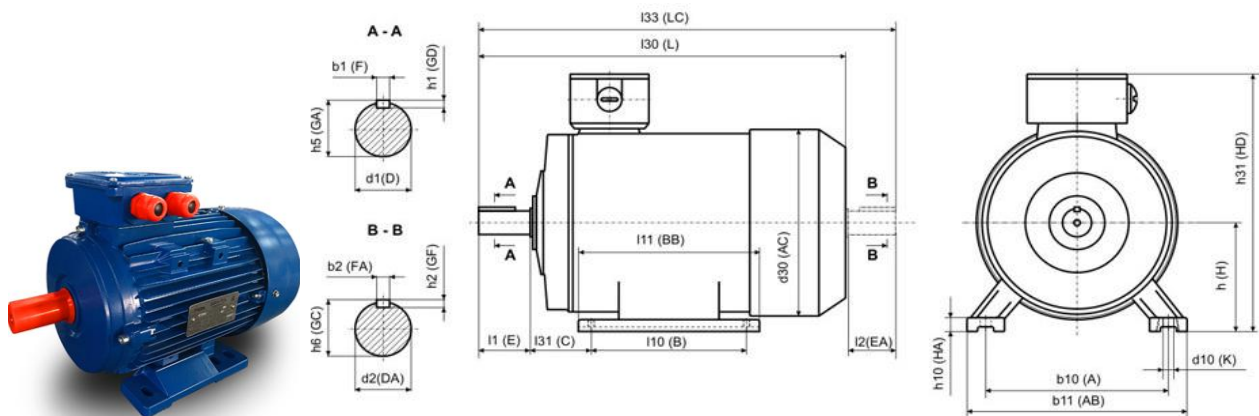


Рисунок 3.4 – Електродвигун типу 4A100L6Y3

Перевірочний розрахунок редуктора 4-125-40 привода пересування

Вихідні дані:

- електродвигун 4A100L6Y3 ($N = 2,2$ кВт та $n = 950$ об/хв);
- передаточне число редуктора $i_p = 40$;
- ККД редуктора $\eta = 0,76$.

Режим роботи привода – важкий.

Крутий момент на тихохідному валу визначається за розрахунковою залежністю:

$$M_{тр} = \frac{974 \cdot N_0 \cdot \eta \cdot i}{n_{дв}} = \frac{974 \cdot 2,2 \cdot 0,76 \cdot 40}{950} = 68,5 \text{кГм} = 685 \text{Н} \cdot \text{м}$$

Допустимі навантаження для редуктора типу Ч-125 при важкому режимі роботи та частоті обертання швидкохідного валу 950 об/хв становлять:

$$M_T = 775 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Допустиме значення перевищує розрахунковий момент на тихохідному валу, що підтверджує працездатність обраного редуктора в заданих умовах експлуатації.

Перевірочний розрахунок гальма ТКТ-100

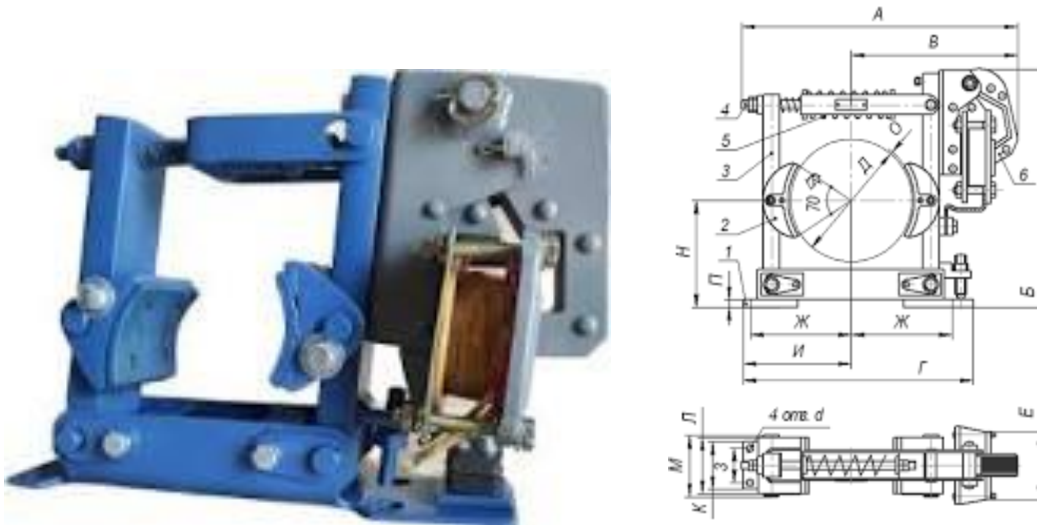


Рисунок 3.5 – Гальма ТКТ-100

Основною умовою працездатності гальмівного механізму є виконання нерівності: $M_{кр} < M_T$.

Розрахунок крутного моменту виконується за потужністю, необхідною для переміщення машини. $N_p = 3 \text{ кВт}$.

Потужність, що припадає на один ходовий візок:

$$\frac{N_p}{2} = 1,5 \text{ кВт}$$

$$M_{кр} = 97500 = \frac{N}{n_{дв.}} = 97500 = \frac{1,5}{950} = 154 \text{кгсм} = 15,4 \text{Н} \cdot \text{м}$$

Для обраного гальма гальмівний момент становить: $M_T = 20 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Таким чином, умова гальмування виконується.

Консольне навантаження на тихохідний вал редуктора визначається за залежністю:

$$P_k = \frac{M_{т.р.}}{\frac{d_{д1.}}{2}}$$

де: $d_{д1.}$ – діаметр ділительного кола зірочки, закріпленої на тихохідному валу редуктора.

Консольне навантаження визначається за розрахунковою потужністю механізму пересування.

$$M_{т.р.} = \frac{974 \cdot N_p \cdot \eta \cdot i}{n} = \frac{974 \cdot 1,5 \cdot 0,76 \cdot 40}{950} = 46,75 \text{ кгм} = 467,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$P_k = \frac{467,5 \cdot 2}{0,143} = 6538 \text{ Н}$$

Допустиме консольне навантаження на тихохідний вал редуктора 4-125-40 при частоті обертання 1000 об/хв становить: 700 кгс = 7000 Н.

Допустиме навантаження перевищує розрахункове, тому обраний редуктор забезпечує необхідну надійність роботи.

Кінематичний розрахунок привода пересування

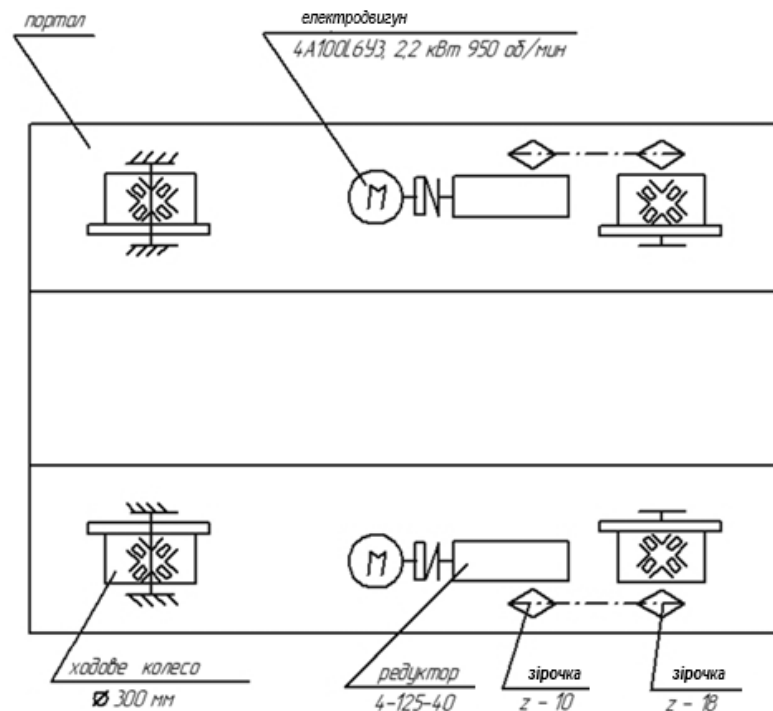


Рисунок 3.6 – Кінематична схема приводу переміщення

Вихідні дані:

а) $V = 12,4$ м/хв – швидкість пересування машини;

б) $D = 0,3$ м – діаметр ходового колеса;

в) $n_{дв} = 950$ об/хв – частота обертання електродвигуна;

г) z_1 – кількість зубців меншої зірочки;

д) z_2 – кількість зубців більшої зірочки.

Для забезпечення заданої швидкості пересування ходові колеса повинні мати частоту обертання:

$$n_k = \frac{V}{\pi \cdot D} = \frac{12,4}{3,14 \cdot 0,3} = 13 \text{ об/хв.}$$

Тоді загальне передаточне число механізму:

$$i_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n_k} = \frac{950}{13} = 73$$

Для забезпечення необхідного передаточного числа приймається редуктор типу Ч-125 із передаточним числом: $i_{\text{ред}} = 40$.

Додатково застосовується ланцюгова передача.

Передаточне число ланцюгової передачі:

$$i_{\text{л.п.}} = \frac{i_{\text{заг}}}{i_{\text{ред}}} = \frac{73}{40} = 1,825$$

Приймається зірочка, закріплена на ходовому колесі: $z_2 = 18$.

Діаметр ділильного кола: $d_2 = 255,97$ мм.

Тоді кількість зубців меншої зірочки, встановленої на вихідному валу редуктора:

$$z_1 = \frac{z_2}{i_{\text{зуб}}} = \frac{18}{1,8} = 10$$

Діаметр ділильного кола меншої зірочки: $d_1 = 143,84$ мм.

За конструктивними параметрами визначають міжосьову відстань між зірочками та довжину ланцюга.

Міжосьова відстань: $L = 620$ мм.

Довжина ланцюга: $L_{\text{ц}} = 1865$ мм.

Кількість ланок ланцюга:

$$n_{\text{ланок}} = \frac{l_{\text{ц}}}{t} = \frac{1865}{44 \cdot 45} = 42$$

Виконаний кінематичний розрахунок підтверджує правильність вибору параметрів привода пересування та забезпечує необхідну швидкість і надійність роботи технологічного обладнання.

3.3 Особливості ремонту машини та її основних вузлів

У процесі експлуатації технологічного обладнання передбачаються різні види технічного обслуговування та ремонту машин і механізмів.

Технічне обслуговування являє собою комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на підтримання працездатності обладнання під час його підготовки до використання, роботи та зберігання.

Ремонт – це комплекс робіт, спрямованих на відновлення працездатності машин, механізмів та окремих вузлів шляхом усунення дефектів, заміни або відновлення зношених деталей.

Системи планово-попереджувального ремонту (ППР) та системи технічного обслуговування і ремонту (СТОІР) у загальному вигляді передбачають три основні методи організації ремонту обладнання.

1. Післяоглядовий метод ремонту – плануються лише періодичні огляди обладнання, а всі інші види ремонтних робіт виконуються за фактичною потребою залежно від технічного стану машини.

2. Стандартний метод ремонту – передбачає обов’язкову періодичну заміну або оновлення елементів машини після встановленого нормативного строку напрацювання.

3. Метод періодичних ремонтів – проведення ремонтів у заздалегідь визначені строки після певного ресурсу роботи обладнання. При цьому допускається зміна обсягу ремонтних робіт залежно від фактичного технічного стану деталей та вузлів.

У промисловості будівельних матеріалів найбільшого поширення набув саме метод періодичних ремонтів, який забезпечує оптимальне поєднання експлуатаційної надійності обладнання та економічної ефективності ремонтних робіт.

На кожному підприємстві технічне обслуговування та ремонт обладнання плануються річним планом-графіком ППР, який розробляється відділом головного механіка. Ремонтні роботи плануються по місяцях з урахуванням режиму роботи обладнання та виробничого навантаження.

Основою для складання річного графіка ППР є фактичний технічний стан обладнання, результати діагностування та ремонтні нормативи, наведені у чинних нормативних документах та інструкціях.

Оскільки у всіх галузях промисловості будівельних матеріалів використовуються єдині принципи організації та планування ремонтів із попереднім визначенням трудомісткості робіт, для проведення розрахунків приймають систему нормативних коефіцієнтів, що базується на групах ремонтної складності обладнання.

Усе обладнання поділяється на групи ремонтної складності, які враховують конструктивні особливості машини, рівень складності ремонту та трудомісткість виконання ремонтних робіт. Група ремонтної складності показує кількість умовних ремонтних одиниць, що містяться у повній трудомісткості ремонту конкретної машини.

У графіках ППР, як правило, планують усі види технічного обслуговування та ремонту лише основного технологічного обладнання. Допоміжне, резервне та інше обладнання обслуговується відповідно до виробничої необхідності та фактичного режиму експлуатації.

У зв'язку з цим річна трудомісткість ремонтів за графіками ППР не завжди повністю відображає загальний обсяг ремонтних робіт, які виконуються на підприємстві.

Вибір методу організації та проведення ремонтів

Залежно від виробничої потужності підприємства та типу виробництва адміністрація заводу визначає метод організації ремонту обладнання: централізований, децентралізований або змішаний.

Вибір методу організації ремонту залежить від типу обладнання, його потужності, категорії ремонтної складності, стану ремонтної бази, чисельності та кваліфікації ремонтного персоналу.

Централізований метод передбачає виконання всіх видів ремонтних та монтажних робіт, а в окремих випадках і технічного обслуговування, силами ремонтно-механічного цеху (РМЦ). У ремонтному цеху створюються спеціалізовані ремонтні бригади, за якими закріплюються окремі виробничі ділянки та групи обладнання.

Централізований метод ремонту застосовується переважно на невеликих підприємствах промисловості будівельних матеріалів або на заводах із великою кількістю однотипного обладнання.

Децентралізований метод передбачає виконання планових ремонтів, щоденного технічного обслуговування та профілактичних робіт силами цехових ремонтних бригад під керівництвом механіка цеху.

При цьому ремонтно-механічний цех займається виготовленням запасних частин, спеціального технологічного оснащення, нестандартного обладнання та проведенням капітального ремонту складних технологічних ліній.

Децентралізований метод застосовується на підприємствах із великою кількістю різнотипного технологічного обладнання.

Змішаний метод організації ремонту передбачає, що технічне обслуговування та поточні ремонти виконуються цеховими ремонтними бригадами, а капітальні ремонти – силами ремонтно-механічного цеху або спеціалізованих ремонтних організацій.

Для даного підприємства приймається змішаний метод організації ремонтної служби, який найбільш повно відповідає умовам експлуатації обладнання у виробництві комірчастого бетону.

Технологічний процес ремонту змішувача

У загальному вигляді технологічний процес ремонту машин складається з комплексу організаційно-технічних заходів з підготовки капітального ремонту та безпосереднього виконання ремонтних операцій.

Під час проведення капітального ремонту технологічного обладнання для виробництва будівельних матеріалів особливе значення має комплекс підготовчих робіт, особливо у випадках виконання ремонту безпосередньо на місці експлуатації машини.

Підготовчі роботи до проведення капітального ремонту включають:

1. Складання попередньої дефектної відомості, уточнення потреби у запасних частинах, перевірку наявності креслень та іншої технічної документації.

2. Підготовку проєкту виконання робіт для найбільш складного обладнання із визначенням способів ремонту, засобів механізації, потреби у вантажопідіймальних пристроях, інструменті, оснащенні та робочій силі.

Підготовчі роботи при проведенні капітального ремонту змішувача включають:

- складання дефектної відомості;
- визначення характеру зношення деталей;
- перевірку стану робочих органів;
- контроль стану підшипникових вузлів;
- перевірку герметичності трубопроводів;
- уточнення переліку запасних частин;
- підготовку технологічної документації;
- перевірку наявності спеціальних знімальних пристроїв та оснащення.

Перед розбиранням машина повинна бути повністю очищена від залишків матеріалу, пилу та забруднень.

Розбиральні роботи становлять приблизно 10–15 % загального обсягу капітального ремонту обладнання.

Якість виконання розбирання значною мірою впливає на тривалість ремонту, його вартість та якість подальшого складання.

Машина поділяється на окремі конструктивно-складальні елементи: агрегати, вузли, механізми та окремі деталі.

Розбирання виконується у суворій послідовності, передбаченій технологічним процесом ремонту. Для складного обладнання розробляються спеціальні схеми розбирання та технологічні карти.

Після розбирання всі деталі проходять очищення, миття та дефектування.

Миття деталей виконується у спеціальних мийних розчинах при температурі близько 85 °С.

Для інтенсифікації очищення використовуються ультразвукові та вібраційні установки.

Дефектування являє собою визначення технічного стану деталей та їх сортування на придатні, такі, що потребують ремонту, та непридатні.

Придатними вважаються деталі, параметри яких знаходяться у межах установлених допусків.

Деталі, що мають дефекти, які можуть бути усунені, підлягають ремонту або відновленню.

Непридатними вважаються деталі, відновлення яких технічно неможливе або економічно недоцільне.

Контроль деталей виконується візуально та за допомогою вимірювального інструменту.

Для виявлення прихованих дефектів застосовують гідравлічний, пневматичний, магнітний, ультразвуковий та рентгенографічний методи контролю.

Магнітний метод контролю базується на виникненні поля розсіювання магнітного потоку у місцях дефектів.

Ультразвуковий контроль ґрунтується на відбитті ультразвукових хвиль від внутрішніх дефектів матеріалу.

Після завершення дефектування виконується комплектування вузлів та агрегатів.

Складання машини полягає у з'єднанні деталей, вузлів та механізмів відповідно до кінематичної схеми та технічних умов.

Для складання застосовується метод повної взаємозамінності, який дозволяє виконувати монтаж деталей без додаткової пригонки та підбору.

При змішаному методі ремонту частина вузлів надходить на складання у вигляді готових агрегатів із проміжного складу.

Такий підхід дозволяє скоротити тривалість простою обладнання у ремонті приблизно на 50–60 % та забезпечити високу якість ремонтних робіт.

Після завершення складання виконують пробний пуск машини та обкатку на холостому ходу.

Тривалість обкатки визначається відповідними технічними інструкціями.

Після цього проводять випробування обладнання під навантаженням із поступовим збільшенням навантаження у декілька етапів.

Під час випробувань контролюють:

- роботу вузлів та механізмів;
- температуру підшипників;
- рівень вібрації;
- тиск у системах;
- витрати мастильних матеріалів;
- продуктивність машини;
- якість готової продукції.

Контроль якості ремонту на підприємстві здійснюють головний механік, начальник ремонтно-механічного цеху та механік виробничого цеху.

Після завершення ремонту та випробувань спеціальна комісія складає приймально-здавальний акт.

Технологія ремонту деталі

У практиці технічної експлуатації обладнання важливе місце займає відновлення зношених деталей, що дозволяє суттєво скоротити вартість ремонту та підвищити економічну ефективність експлуатації машин.

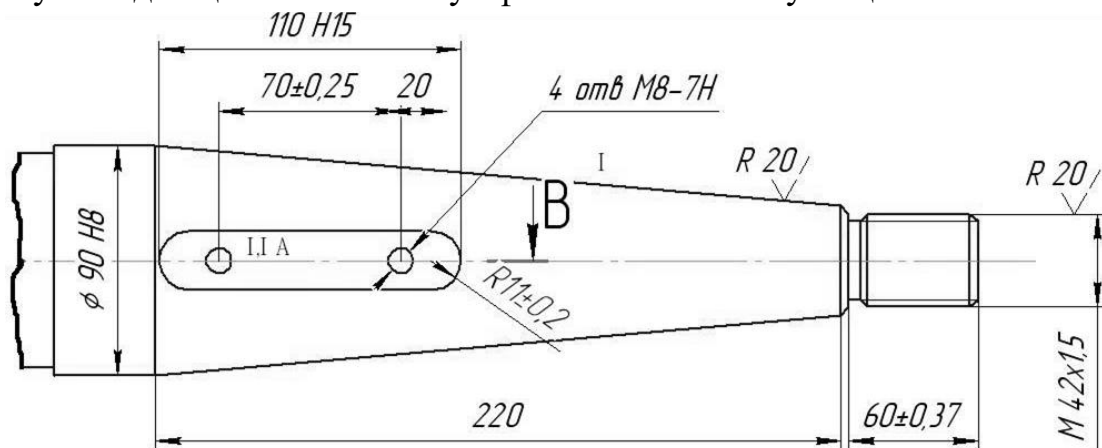


Рисунок 3.7 – Деталь для відновлення

Перелік та послідовність робіт для відновлення деталі:

1. Заварювання шпонкового паза та наплавлення поверхні I
2. Проведення відпуску оброблених поверхонь ТВЧ
3. Чорнова токарна обробка наплавлених поверхонь
4. Фрезерування шпонкового паза

5. Гартування та відпуск поверхонь ТВЧ

6. Чистове шліфування відновленої поверхні до номінального розміру після термічної обробки

Таблиця 3.1 – Прийняті технологічні параметри відновлення деталі

Позиція	Вел. зносу на сторону	Прийнятий спосіб відновлення	Прийнятий діаметр під відновлення	Діаметр після відновлення	Вид термообробки	Номінальний розмір	Розмір попередньої обробки		Вид термообробки після відновлення	Вид обробки під ном. розмір
							токарна	фрезерна		
I	0,5	Ручне зварювання	Ø89,0	Ø 96	отпуск	Ø 90 h7	Ø 90,3	—	Закалка ТВЧ	Шліфівка ø 90 -0,035
II A	2,0	Ручне зварювання	—	—	отпуск	22×14		22×14	Закалка ТВЧ	

Таблиця 3.2 – Маршрутна карта відновлення валу

№ операції	поверхня	Назва та зміст операції	Обладнання (код, назва)	Оснащення
1	IA	зварювання шпонкового паза та наплавлення	токарний верстат типу 1K62	вібродугова головка ОКС-1252
2	I, IA	відпуск	установка ТВЧ типу ЛЗТ-60	індуктор
3	I	токарна обробка	токарний верстат типу 1K62	вимірювальний інструмент
4	IA	фрезерування	горизонтально-фрезерний верстат типу 6П80Г	вимірювальний та верстатний інструмент
5	I, IA	гартування	установка ТВЧ типу ЛЗТ-60	індуктор
6	I	шліфування	круглошліфувальний верстат типу 312А	вимірювальний інструмент

Маршрутна карта відновлення валу є основним документом, який визначає послідовність технологічних операцій під час ремонту та відновлення деталі.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Охорона праці та навколишнього середовища

Розрахунок системи освітлення виробничого приміщення

Розрахунок штучного освітлення виробничого приміщення виконується методом коефіцієнта використання світлового потоку відповідно до вимог чинних нормативних документів України: ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» та ДСТУ EN 12464-1:2016.

Нормована освітленість виробничого приміщення визначається залежно від характеру виконуваних робіт, розряду зорової роботи та особливостей технологічного процесу. Для ділянки, на якій експлуатується бетонозмішувач у цеху виробництва газобетонної суміші, приймається значення нормованої освітленості: $E_n = 60$ лк.

Індекс приміщення визначається за формулою:

$$i = \frac{L \cdot S}{h \cdot (L + S)} = \frac{25 \cdot 5}{5 \cdot (25 + 10)} = 0.7$$

де: $L = 25$ м – довжина виробничої ділянки;

$S = 10$ м – ширина приміщення;

$h = 5$ м – висота встановлення світильників.

Відповідно до методичних рекомендацій приймаємо: $i = 1$.

Необхідний світловий потік визначається залежністю:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot A \cdot k_3 \cdot k_n}{n \cdot N \cdot \eta} = \frac{60 \cdot 250 \cdot 1,3 \cdot 1,2}{1 \cdot 35 \cdot 0,42} = 1591,8_{\text{лм}}$$

де: $A = L \times S = 250$ м² – площа освітлення;

$k_3 = 1,3$ – коефіцієнт запасу для ламп розжарювання;

$k_3 = 1,5$ – коефіцієнт запасу для газорозрядних ламп;

$z = 1,2$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

$n = 1$ – кількість ламп у світильнику;

$N = 35$ – кількість світильників;

$\eta = 42$ % – коефіцієнт використання світлового потоку.

Для освітлення виробничого приміщення передбачається використання ламп розжарювання типу Г потужністю 150 Вт зі світловим потоком 2000 лм.

Необхідна кількість світильників визначається розрахунком:

$$N_n = \frac{E_n \cdot A \cdot k_3 \cdot k_n}{\Phi \cdot \eta} = \frac{60 \cdot 250 \cdot 1,3 \cdot 1,2}{1591,8 \cdot 0,42} = 35 \text{ шт.}$$

Остаточно приймається: $N = 35$ шт.

При застосуванні газорозрядних ламп додатково виконується уточнений розрахунок світлового потоку.

Для системи освітлення обираються лампи денного світла типу ЛД зі світловим потоком 2340 лм при потужності 40 Вт.

Сумарна різниця встановленої потужності між лампами денного світла та лампами розжарювання становить: $\Delta N = 440$ Вт.

Рациональна організація освітлення забезпечує підвищення продуктивності праці, зменшення зорової втоми працівників, підвищення безпеки виконання технологічних операцій та зниження ризику виробничого травматизму.

Аналіз основних потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації обладнання лінії виробництва газобетону на працівників можуть впливати шум, вібрація, пил, підвищена температура повітря, а також несприятливі параметри мікроклімату.

Коливальні процеси, що виникають у деталях машин, трубопроводах, технологічних конструкціях та будівельних елементах унаслідок динамічної невідновженості механізмів або інерційних навантажень, належать до виробничої вібрації.

Відповідно до вимог ДСН 3.3.6.039-99 та ДСТУ ISO 2631 параметри виробничої вібрації повинні підлягати постійному контролю та нормуванню.

Дослідження підтверджують, що тривалий вплив шуму та вібрації негативно впливає на центральну нервову систему, серцево-судинну систему та опорно-руховий апарат працівників.

Шкідливий вплив вібрації проявляється у вигляді підвищеної стомлюваності, головного болю, болю у суглобах, порушення кровообігу та підвищеної нервової збудливості.

Тривала дія інтенсивної вібрації може призвести до розвитку професійного захворювання – вібраційної хвороби.

Для зменшення негативного впливу вібрації застосовуються:

- балансування обертових деталей;
- встановлення віброізолюючих опор;
- використання демпфувальних елементів;
- зменшення динамічних навантажень;
- дистанційне керування технологічним обладнанням.

Допустимі рівні виробничого шуму регламентуються ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму».

Комплекс заходів щодо зниження шуму передбачає:

- використання малoshумного обладнання;
- своєчасне технічне обслуговування механізмів;
- застосування звукопоглинальних облицювань;
- встановлення звукоізолюючих кожухів;
- використання засобів індивідуального захисту органів слуху.

Порушення правил технічної експлуатації машин та механізмів може спричинити суттєве збільшення рівня шуму у виробничому середовищі.

Під час дроблення, помелу, транспортування та змішування сипких матеріалів утворюється виробничий пил.

Пил, що утворюється у виробництві газобетону, переважно має подразнювальну дію та належить до 4 класу небезпеки згідно з ГН 3.3.5-8-6.6.1-2002.

Гранично допустима концентрація пилу у повітрі робочої зони не повинна перевищувати встановлених нормативних значень.

Для захисту працівників від пилу застосовуються:

- аспіраційні установки;

- системи місцевої та загальнообмінної вентиляції;
- герметизація обладнання;
- зрошення пиловиділяючих зон;
- респіратори та інші засоби індивідуального захисту.

Працівники повинні забезпечуватись засобами захисту органів дихання відповідно до вимог ДСТУ EN 149:2017.

Забезпечення нормативних метеорологічних умов на робочих місцях

Нормування параметрів мікроклімату виробничих приміщень здійснюється відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 та ДСТУ EN ISO 7730.

Нормативними документами встановлюються допустимі та оптимальні параметри температури повітря, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні.

На формування мікроклімату у виробничих приміщеннях суттєво впливають особливості технологічного процесу, інтенсивність тепловиділень, вологовиділень, а також стан вентиляційних систем та огорожувальних конструкцій.

Відносна вологість повітря у виробничих цехах повинна підтримуватись у межах 40–60 %.

Джерелами підвищеної вологості можуть бути несправності воріт, шлюзів та вентиляційних систем, через які здійснюється транспортування готової продукції.

Роботи з обслуговування віброгазобетоно-змішувача належать до категорії робіт середньої важкості Па.

Відповідно до вимог санітарних норм оптимальна температура повітря у робочій зоні повинна становити:

у теплий період року – 20–24 °С;

у холодний період року – 18–22 °С.

Швидкість руху повітря на робочих місцях повинна становити:

у теплий період року – 0,5–1 м/с;

у холодний період року – 0,2–0,5 м/с.

Забезпечення нормативних параметрів мікроклімату досягається за рахунок:

- ефективної вентиляції;
- теплоізоляції технологічного обладнання;
- автоматизації тепловиділяючих процесів;
- дистанційного керування обладнанням;
- забезпечення працівників спеціальним одягом та засобами індивідуального захисту.

Поблизу робочих місць повинні встановлюватися питні установки або сатуратори для забезпечення працівників питною водою з розрахунку 4–5 літрів на одного працівника за зміну.

Дотримання вимог охорони праці, виробничої санітарії та екологічної безпеки є обов'язковою умовою безпечної експлуатації технологічного обладнання у виробництві комірчастого бетону.

4.2 Заходи безпеки та електробезпека

Технічні та організаційні заходи безпеки під час монтажу, ремонту та експлуатації віброгазобетоно-змішувача

Під час виконання технологічних операцій у виробництві будівельних матеріалів необхідно суворо дотримуватись вимог охорони праці, промислової безпеки та електробезпеки відповідно до чинних нормативно-правових актів України, зокрема НПАОП, ДСТУ EN ISO, Правил охорони праці під час експлуатації обладнання та Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

До обслуговування, ремонту та експлуатації віброгазобетоно-змішувача допускаються працівники відповідної кваліфікації, які:

- пройшли професійне навчання;
- ознайомлені з конструкцією обладнання;
- вивчили правила технічної експлуатації;

- пройшли вступний, первинний та повторний інструктажі з охорони праці;
- мають відповідну групу з електробезпеки.

Корпуси електродвигунів, рама обладнання та пульти керування повинні бути надійно заземлені відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) та ДСТУ EN 61140.

Під час проведення профілактичних оглядів, технічного обслуговування та ремонтів пульти керування повинні бути відключені від електромережі. На пускових пристроях необхідно вивішувати попереджувальні плакати: «Не вмикати! Працюють люди!»

У процесі експлуатації необхідно постійно контролювати технічний стан електрообладнання, електропроводки та заземлювальних пристроїв, не допускаючи їх механічних пошкоджень та порушення ізоляції.

Вантажопідіймальні механізми, що використовуються для монтажу та демонтажу вузлів обладнання, повинні відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.80-18.

Вантажопідіймальність крана для переміщення вузлів змішувача повинна бути не меншою за 5 т.

Стропувальні пристрої та вантажозахоплювальні елементи повинні відповідати масі вантажів та схемам стропування.

Під час роботи з електроінструментом необхідно використовувати справні та перевірені засоби індивідуального захисту:

- діелектричні рукавиці;
- діелектричне взуття;
- гумові килимки;
- ізолювальні підставки.

Електроінструмент повинен підключатися до мережі за допомогою кабелю із захисною жилою для заземлення.

Для огляду внутрішньої порожнини змішувача та інших замкнених просторів необхідно використовувати низьковольтне переносне освітлення.

Категорично забороняється:

- розпочинати роботу при наявності несправностей обладнання;
- експлуатувати машину зі знятими або пошкодженими огороженнями;
- виконувати монтаж, демонтаж чи ремонт обладнання без відключення від електромережі;
- самовільно змінювати конструкцію блокувальних та захисних пристроїв;
- виконувати підтягування болтових з'єднань, змащування або ремонт під час роботи обладнання;
- залишати працюючий агрегат без нагляду;
- захаращувати робочі місця;
- експлуатувати обладнання з несправними блокувальними вимикачами.

Силова та освітлювальна електропроводка повинна прокладатися у металевих трубах або спеціальних кабельних каналах для забезпечення електро- та пожежної безпеки.

Для забезпечення безпечної експлуатації вантажопідіймального обладнання необхідно:

- підтримувати належний технічний стан ремонтної бази;
- організовувати своєчасний та якісний ремонт механізмів;
- створювати резерв запасних частин і вантажозахоплювальних пристроїв;
- проводити технічне обстеження вантажопідіймальних машин;
- підвищувати рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Працівники монтажно-ї бригади повинні знати:

- конструкцію машин та обладнання;
- технологію монтажу й демонтажу;
- правила строкування та переміщення вантажів;
- способи регулювання та балансування механізмів;
- вимоги безпеки під час проведення випробувань обладнання після монтажу.

Улаштування та розрахунок захисного заземлення електроустановок

Захисне заземлення – це спеціальне електричне з'єднання із землею металевих неструмовідних частин обладнання, які можуть опинитися під напругою у випадку пошкодження ізоляції.

Основне призначення захисного заземлення полягає у зниженні напруги дотику та забезпеченні безпечних умов експлуатації електроустановок.

Розрахунок системи заземлення виконується відповідно до вимог ПУЕ, ДСТУ EN 50522 та ДСТУ ІЕС 60364.

Розрахунок виконується методом коефіцієнтів використання електродів.

Допустиме значення опору заземлення: $R_z = 10 \text{ Ом}$.

Для системи заземлення приймається конструкція, що складається з вертикальних та горизонтальних електродів.

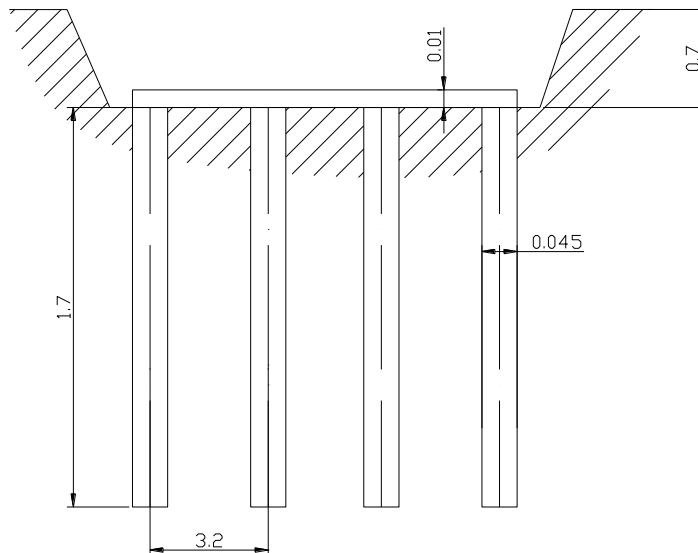


Схема заземлювального пристрою включає:

- 1 – заземлена електроустановка;
- 2 – котлован для встановлення електродів;
- 3 – горизонтальний електрод;
- 4 – вертикальні електроди.

Опір розтікання струму одного вертикального електрода визначається за розрахунковою залежністю:

$$R_B^1 = 0,336 \cdot \frac{P}{l_B} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l_B}{d_B} + 0,5 \lg \frac{4t + l_B}{4t - l_B} \right) \text{ Ом}$$

де: $l_v = 2$ м – довжина вертикального електрода;

$d_v = 0,04$ м – діаметр електрода;

$\rho = 95$ Ом·м – питомий електричний опір ґрунту (суглинок).

$$t = \frac{l_e}{2} + t_o = \frac{2}{2} + 0,7 = 1,7$$

$$R_B^1 = 0,336 \cdot \frac{95}{2} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 2}{0,04} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} \right) = 34,02 \text{ Ом}$$

$$R_B = \frac{R_B^1}{n \cdot \eta_B} = \frac{34,02}{4 \cdot 0,91} = 9,35 \approx 9,5 \text{ Ом}$$

Кількість вертикальних електродів: $n = 4$.

Коефіцієнт використання вертикальних електродів: $\eta = 0,91$.

Опір розтікання струму горизонтального електрода визначається за відповідною формулою з урахуванням коефіцієнта використання.

$$R_r^1 = 0,336 \cdot \frac{\rho}{l_z} \cdot \lg \frac{l_z^2}{d_r \cdot t_o} = 0,336 \cdot \frac{95}{6,3} \cdot \lg \frac{6,3^2}{0,01 \cdot 0,7} = 19 \text{ Ом}$$

$$l_z = 1,05 \cdot (n - 1) \cdot a = 1,05 \cdot (4 - 1) \cdot 2 = 6,3 \text{ м}$$

$$R_r = \frac{R_r^1}{\eta_o} = \frac{19}{0,74} = 25,6 \text{ Ом}$$

Після виконання розрахунків отримано сумарний опір заземлювального пристрою: $R = 6,9$ Ом.

Отримане значення не перевищує допустимого нормативного значення.

$$6 \text{ Ом} \leq R_1 = 6,9 \leq 10 \text{ Ом}$$

Висновок: прийнята схема повторного заземлення нульового проводу відповідає вимогам електробезпеки та забезпечує безпечну експлуатацію електрообладнання виробничої ділянки.

Дотримання вимог техніки безпеки, електробезпеки та виробничої санітарії є необхідною умовою забезпечення безпечної роботи персоналу та надійної експлуатації обладнання у виробництві комірчастого бетону.

4.3 Пожежна безпека

Визначення категорії виробництва та необхідного ступеня вогнестійкості бетонозмішувального цеху

Під час проєктування виробничих будівель та споруд необхідно враховувати можливість виникнення пожежі, а також забезпечувати виконання вимог чинних нормативно-правових актів України у сфері пожежної безпеки.

Класифікація виробництв за вибухопожежною та пожежною небезпекою здійснюється відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», ДСТУ Б В.1.1-36:2016 та НАПБ Б.03.002.

Ступінь вогнестійкості будівель визначається межами вогнестійкості та класами пожежної небезпеки будівельних конструкцій.

Виробничі приміщення за рівнем пожежної небезпеки поділяються на категорії А, Б, В, Г та Д залежно від фізико-хімічних властивостей речовин і матеріалів, що застосовуються у технологічному процесі.

Цех виробництва будівельних матеріалів із комірчастого бетону належить до категорії Д за пожежною небезпекою, оскільки у виробництві використовуються переважно негорючі та важкогорючі матеріали.

Відповідно до чинних будівельних норм для даного виробничого приміщення приймається III ступінь вогнестійкості.

Основними причинами виникнення пожеж на промислових підприємствах є:

- порушення правил пожежної безпеки;
- несправність електрообладнання;
- короткі замикання електромереж;
- порушення правил проведення зварювальних робіт;
- перегрів електродвигунів;
- накопичення пилу та горючих відкладень на обладнанні.

Підвищену небезпеку у виробництві газобетону становлять:

- електроустановки;
- системи електропривода;

- технологічні вузли з високою температурою;
- місця проведення ремонтно-зварювальних робіт.

Тому під час експлуатації обладнання необхідно забезпечувати постійний контроль технічного стану електромереж, заземлення та засобів пожежного захисту.

Технічні та організаційні заходи пожежної профілактики.

Засоби пожежогасіння

Відповідальність за забезпечення пожежної безпеки на підприємстві покладається на керівника підприємства, керівників структурних підрозділів, майстрів виробничих ділянок та інших посадових осіб відповідно до Кодексу цивільного захисту України.

Для запобігання виникненню пожежі на виробництві передбачається комплекс організаційних та технічних заходів пожежної профілактики.

До організаційних заходів належать:

- проведення вступного та первинного інструктажів з пожежної безпеки;
- навчання працівників правилам користування первинними засобами пожежогасіння;
- розроблення та затвердження плану евакуації;
- проведення протипожежних тренувань;
- контроль дотримання протипожежного режиму.

План евакуації повинен бути розроблений відповідно до вимог ДСТУ ISO 23601 та розміщений на видимих місцях у виробничих приміщеннях.

Технічні заходи пожежної безпеки передбачають:

- оснащення приміщень автоматичною системою пожежної сигналізації;
- встановлення систем оповіщення про пожежу;
- використання протипожежних перегородок та перешкод для запобігання поширенню вогню;
- забезпечення вільного доступу до евакуаційних виходів;
- обладнання приміщень первинними засобами пожежогасіння.

На території виробничого цеху передбачається встановлення пожежного щита, укомплектованого:

- багром;
- ломом;
- відрами;
- ящиком із піском;
- лопатами;
- вуглекислотними вогнегасниками типу ВВК-2, ВВК-5, ВВК-8.

Для забезпечення внутрішнього протипожежного водопостачання передбачаються пожежні крани та рукави діаметром 80 мм із байонетними з'єднаннями.

У виробничих приміщеннях повинні бути забезпечені:

- справне аварійне освітлення;
- освітлення евакуаційних виходів;
- вільні під'їзди для пожежної техніки;
- постійний контроль технічного стану електрообладнання.

Пожежонебезпечні роботи, зокрема електрозварювання та газополум'яна обробка металів, повинні виконуватись відповідно до вимог НАПБ А.01.001 та із застосуванням необхідних засобів пожежогасіння.

Первинні засоби пожежогасіння повинні проходити періодичний технічний огляд та обслуговування відповідно до вимог чинних нормативних документів.

Ефективна організація системи пожежної безпеки, дотримання протипожежного режиму та своєчасне проведення профілактичних заходів дозволяють мінімізувати ризик виникнення пожежі та забезпечити безпечні умови праці у виробництві комірчастого бетону.

ВИСНОВКИ

У роботі проаналізовано технологію виробництва виробів з автоклавного комірчастого бетону та обґрунтовано вибір основних сировинних компонентів для отримання матеріалу із заданими фізико-механічними характеристиками. Розглянуто особливості приготування газобетонної суміші, формування масиву та автоклавної обробки виробів.

Виконано розрахунок матеріального балансу виробництва, визначено потребу в основних матеріалах та встановлено режим роботи підприємства. Проведено аналіз конструкції віброгазобетонозмішувача СМС-40, виконано розрахунок його продуктивності та основних параметрів приводу і робочих органів. Показано, що використання удосконаленого лопатевого ротора дозволяє інтенсифікувати процес перемішування, покращити однорідність газобетонної суміші та підвищити ефективність роботи обладнання.

Запропоновані технічні рішення сприяють підвищенню продуктивності виробництва, зменшенню енерговитрат та забезпеченню стабільної якості готових виробів з автоклавного комірчастого бетону.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б EN 771-4:2016. Камені стінові. Частина 4. Вироби з автоклавного ніздрюватого бетону. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.
2. ДСТУ Б В.2.6-53:2008. Конструкції будинків і споруд. Панелі стінові з ніздрюватих бетонів для будівель. Загальні технічні умови. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.
3. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
4. ДСТУ EN 1008:2022. Вода замісна для бетону. Технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
5. ДСТУ Б EN 197-1:2015. Цемент. Склад, технічні вимоги та критерії відповідності для звичайних цементів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
6. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011.
7. ДСТУ EN 12620:2022. Заповнювачі для бетону. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
8. ДБН В.2.6-162:2010. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011.
9. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Будівельне матеріалознавство : підручник. Рівне : НУВГП, 2009. 448 с.
10. Пушкарьова К. К. Будівельне матеріалознавство : підручник. Київ : Ліра-К, 2015. 592 с.
11. Рунова Р. Ф., Шейнич Л. О., Пушкарьова Є. К. та ін. Технологія сучасних будівельних матеріалів : підручник. Київ : КНУБА, 2012. 568 с.
12. Санницький М. А., Позняк О. Р. Будівельні матеріали : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 256 с.
13. Narayanan N., Ramamurthy K. Structure and Properties of Aerated Concrete: A Review. Cement and Concrete Composites. 2000. Vol. 22. No. 5. P. 321–329.
14. Hänsel J. Autoclaved Aerated Concrete. Berlin : Ernst & Sohn, 2012. 312 p.

15. Short A., Kinniburgh W. Lightweight Concrete. 5th ed. London : Applied Science Publishers, 1978. 406 p.
16. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (зі змінами та доповненнями).
17. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI.
18. ДСТУ EN 12464-1:2016. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Робочі місця в приміщеннях. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
19. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018.
20. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Чинна редакція. Харків : Форт.
21. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Чинна редакція. Київ : Міністерство енергетики України.
22. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Київ : Мінрегіон України, 2017.
23. Правила пожежної безпеки в Україні : наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417.
24. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-ХІІ.
25. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-ІХ.
26. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.