

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 «Бетононасос для проведення відновлювальних робіт»

Виконав: здобувач вищої освіти
3 (приск) курсу, групи _ГМ 2023-1у_
напряму підготовки (спеціальності)

133 – Галузеве машинобудування

Робота Михайло Вячеславович

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. доц. Цегельник Є.В.

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

Рецензент к.т.н. доц. Аніщенко А.І.

(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 АКІТ

 **БАРАНОВ О. О.**

« 19 » червень 2026 року

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

Роботи Михайла Вячеславовича

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

1. Тема роботи Бетононасос для проведення відновлювальних робіт

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

Керівник роботи к.т.н. доц. Цегельник Є.В.

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

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи « 24 » червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: двoporшневий бетононасос з механічним приводом, горизонтальним розташуванням циліндрів, прямоточним завантаженням бетонної суміші та тарілчастими клапанами; параметри бетонної суміші, продуктивність, робочий тиск, параметри бетонопроводу та приводу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз конструкцій бетононасосів; розрахунок параметрів і продуктивності бетононасоса; розрахунок приводу та основних вузлів; обґрунтування пристрою примусового завантаження; питання експлуатації, охорони праці, пожежної, електричної та екологічної безпеки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) технологічна лінія, загальний вигляд бетононасосу, складові креслення (лопатевий вал), деталювання (вал, корпус підшипника, ви4нт)

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз проблеми	Цегельник Є.В.		
Основна частина	Цегельник Є.В.		
Спеціальна частина	Цегельник Є.В.		
Охорона праці	Рогозін А.С		

7. Дата видачі завдання «_23_» __травня__ 2026_р.

Керівник __к.т.н., доц. Цегельник Є.В.____

(підпис)

Завдання прийняв до виконання __Робота М.В.____

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання розділів	Примітка
1	Аналіз проблеми	01.06.2026	виконано
2	Основна частина	03.06.2026	виконано
3	Спеціальна частина	10.06.2026	виконано
4	Охорона праці	03.06.2026	виконано

Здобувач вищої освіти __Робота М.В.____

(підпис)

Керівник __к.т.н., доц. Цегельник Є.В.____

(підпис)

РЕФЕРАТ

У роботі розглядаються конструктивні особливості та принцип дії двопоршневого бетононасоса з механічним приводом, виконано аналіз сучасних конструкцій бетононасосів, розрахунок продуктивності, основних конструктивних параметрів і приводу машини, досліджено процес транспортування бетонної суміші, обґрунтовано використання пристрою примусового завантаження, а також розглянуто питання технічного обслуговування, охорони праці, пожежної, електричної та екологічної безпеки під час експлуатації обладнання.

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

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку посилань. Повний обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра становить 65 сторінок, в тому числі: 27 рисунків; 4 таблиці; перелік посилань з 29 найменувань на 2 сторінках.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БЕТОНОНАСОС, БЕТОННА СУМІШ, ТОРКРЕТУВАННЯ, МЕХАНІЧНИЙ ПРИВОД, ПРОДУКТИВНІСТЬ НАСОСА, ТАРИЛЧАСТИЙ КЛАПАН, ПРЯМОТОЧНЕ ЗАВАНТАЖЕННЯ, БЕТОНОПРОВІД, ТРАНСПОРТУВАННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ, ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ РОБОТИ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

ABSTRACT

The paper examines the design features and operating principle of a twin-piston concrete pump with a mechanical drive. It includes an analysis of modern concrete pump designs, calculations of productivity, main structural parameters, and drive characteristics of the machine, as well as a study of the concrete mixture transportation process. The use of a forced feeding device is substantiated, and issues related to maintenance, occupational safety, fire safety, electrical safety, and environmental protection during equipment operation are considered.

The structure of the thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, and a list of references.

The bachelor's qualification thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, and a list of references. The total volume of the bachelor's qualification thesis is 65 pages, including 27 figures, 4 tables, and a list of references containing 29 sources on 2 pages.

KEYWORDS: CONCRETE PUMP, CONCRETE MIXTURE, SHOTCRETING, MECHANICAL DRIVE, PUMP PERFORMANCE, DISC VALVE, DIRECT-FLOW LOADING, CONCRETE PIPELINE, CONCRETE MIXTURE TRANSPORTATION, REPAIR WORKS, OCCUPATIONAL SAFETY.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

У сучасних умовах значна увага приділяється відновленню пошкоджених будівель, споруд та об'єктів інфраструктури. Проведення відновлювальних і ремонтно-будівельних робіт потребує використання ефективного обладнання для транспортування та подачі бетонних сумішей до місця виконання робіт. Одним із найбільш поширених видів такого обладнання є бетононасоси, які забезпечують безперервну подачу бетонної суміші на значну висоту та відстань, що дозволяє підвищити продуктивність праці, зменшити трудомісткість процесу та покращити якість бетонування.

Особливої актуальності застосування бетононасосів набуває під час проведення відновлювальних робіт у складних умовах будівельних майданчиків, при обмеженому доступі до об'єктів та необхідності оперативного виконання робіт. У зв'язку з цим удосконалення конструкцій бетононасосів, підвищення їх продуктивності, надійності та енергоефективності є важливим науково-технічним завданням.

Мета дослідження – розробка конструкції бетононасоса для забезпечення ефективної подачі бетонної суміші під час виконання відновлювальних робіт.

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

- провести аналіз сучасних конструкцій та принципів роботи бетононасосів;
- дослідити особливості подачі бетонних сумішей під час виконання відновлювальних робіт;
- обґрунтувати вибір конструкції двопоршневого бетононасоса;
- виконати розрахунок продуктивності та основних конструктивних параметрів насоса;
- провести розрахунок приводу і системи транспортування бетонної суміші;
- розробити конструкцію основних вузлів бетононасоса;
- дослідити роботу клапанних механізмів та пристрою примусового завантаження;
- розглянути питання охорони праці, пожежної безпеки та безпечної експлуатації обладнання.

Об'єкт дослідження – процес подачі бетонної суміші під час проведення

відновлювальних робіт.

Предмет дослідження – конструкція, параметри та робочі процеси бетононасоса для транспортування бетонних сумішей.

Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці конструкції бетононасоса, який може бути використаний для механізації процесів подачі бетонної суміші під час відновлювальних і ремонтно-будівельних робіт, що дозволить підвищити продуктивність, надійність та ефективність виконання будівельних процесів.

ЗМІСТ

	Стр
ВСТУП.....	6
ЗМІСТ.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ.....	10
1.1 Огляд літературних джерел.....	10
1.2 Аналіз сучасних конструкцій та принципів роботи бетононасосів.....	10
1.3 Особливості подачі бетонних сумішей під час виконання відновлювальних робіт.....	14
1.4 Способи подачі та ущільнення бетонних сумішей під час виконання будівельних і відновлювальних робіт.....	15
1.5 Аналіз та характеристика сучасних конструкцій бетононасосів	19
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	24
2.1 Конструктивні особливості та принцип роботи бетононасоса....	24
2.2 Визначення основних параметрів двопоршневого бетононасоса.....	30
2.2.1 Визначення продуктивності в залежності від технологічних параметрів робочого процесу.....	30 33
2.2.2 Визначення потужних витрат бетононасоса.....	
2.2.3 Розрахунок привода вертикального лопатевого вала устрою примусового завантаження.....	35 36
2.2.4 Розрахунок сумарної потужності змішувача.....	37
2.2.5 Вибір мотор-редуктора.....	38
2.2.7 Розрахунок колінчатого вала.....	40
2.2.8 Вибір шпонок.....	41
2.2.9 Вибір підшипників.....	42
РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	44
3.1 Вибір методу організації та проведення ремонту.....	44
3.2 Технологічний процес капітального ремонту бетононасоса.....	45
3.3 Розрахунок та розстановка робочої сили.....	47
3.4 Технологія відновлення деталі.....	48
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	54
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	54
4.2 Забезпечення виробничої безпеки під час експлуатації бетононасосного обладнання.....	54
4.3 Забезпечення пожежної безпеки об'єкта.....	55

4.4 Дії персоналу при аварійних ситуаціях.....	56
4.5 Заходи з охорони навколишнього середовища.....	56
4.6 Виробнича санітарія.....	57
4.7 Розрахунок заземлення.....	59
4.8 Технічні та організаційні заходи безпеки під час експлуатації двопоршневого бетононасоса.....	60
4.9 Визначення ступеня вогнестійкості будівлі та категорії вибухопожежної небезпеки.....	62
ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	64

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ

1.1 Огляд літературних джерел

Подача бетонних сумішей на будівельних майданчиках є важливим етапом технологічного процесу зведення та відновлення будівельних конструкцій. Для механізації цих процесів широко застосовуються бетононасоси різних типів, які забезпечують транспортування бетонної суміші по трубопроводах до місця укладання. У сучасному будівництві найбільшого поширення набули поршневі бетононасоси з гідравлічним приводом, що характеризуються високою продуктивністю та надійністю [1].

У роботі Співаковського О. О. та Дьячкова В. К. розглянуто основні принципи роботи підйомно-транспортних і транспортуючих машин, наведено класифікацію обладнання безперервної дії та методики розрахунку їх основних параметрів [1]. Питання конструкції транспортуючих машин і механізмів подачі будівельних матеріалів також висвітлено у праці Гевка Б. М. [2].

Особливості роботи будівельних машин, призначених для транспортування та подачі бетонних сумішей, наведені у підручнику Волкова Д. П. та Крижанівського В. Я. [3]. Автори розглядають конструкції бетононасосів, їх робочі параметри та умови експлуатації у будівельному виробництві.

У сучасних умовах підвищення ефективності відновлювальних робіт потребує використання мобільних і високопродуктивних бетононасосів, здатних працювати у складних умовах будівельного майданчика. Значну увагу приділяють удосконаленню гідравлічних систем приводу, зниженню енерговитрат та підвищенню надійності роботи обладнання [4].

Питання безпечності машин та обладнання регламентуються вимогами ДСТУ ISO 12100:2014, де визначено основні принципи оцінки ризиків та забезпечення безпечної експлуатації машин і механізмів [5].

Аналіз літературних джерел показав, що існуючі конструкції бетононасосів забезпечують ефективну подачу бетонної суміші, проте потребують подальшого вдосконалення з метою підвищення мобільності, надійності та ефективності використання під час проведення відновлювальних робіт.

1.2 Аналіз сучасних конструкцій та принципів роботи бетононасосів

Бетононасоси є одним із найбільш ефективних видів будівельного обладнання, що застосовується для транспортування бетонних сумішей до місця

укладання. Використання бетононасосів дозволяє значно підвищити продуктивність бетонних робіт, скоротити трудомісткість процесу та забезпечити безперервність подачі бетонної суміші [1, 2].

Особливо актуальним використання бетононасосів є під час виконання відновлювальних та ремонтно-будівельних робіт, коли необхідно подавати бетонні суміші у важкодоступні місця, на значну висоту або у зони з обмеженим простором для маневрування техніки [6].

За конструктивним виконанням бетононасоси поділяють на:

- стаціонарні;
- автомобільні;
- причіпні;
- автобетононасоси зі стрілою;
- спеціалізовані бетононасоси для торкретування та ремонтних робіт.

Стаціонарні бетононасоси. Стаціонарні бетононасоси встановлюються на будівельному майданчику та забезпечують подачу бетонної суміші через систему бетоноводів до місця укладання (рис. 1.1). Такі машини характеризуються високою продуктивністю та значною дальністю транспортування суміші [7].

Основними перевагами стаціонарних бетононасосів є:

- висока продуктивність;
- можливість транспортування суміші на великі відстані;
- надійність роботи;
- можливість використання у складі автоматизованих бетонозмішувальних комплексів.

Недоліками є необхідність монтажу бетоноводів та менша мобільність у порівнянні з автобетононасосами.



Рисунок 1.2 – Стаціонарні бетононасоси

Автобетононасоси. Автобетононасос являє собою насосну установку, змонтовану на автомобільному шасі та оснащену розподільною стрілою (рис. 1.2). Такі машини забезпечують швидке переміщення між об'єктами та оперативну подачу бетонної суміші без монтажу значної кількості трубопроводів [8].

Автобетононасоси широко застосовуються під час: відновлення мостів; ремонту дорожнього покриття; реконструкції будівель; аварійно-відновлювальних робіт; бетонування висотних конструкцій.

Основними елементами автобетононасоса є: приймальний бункер; насосний механізм; гідравлічний привід; розподільна стріла; бетоновід; система керування.



Рисунок 1.2 – Автобетононасоси

Принцип роботи бетононасоса. Принцип роботи більшості сучасних бетононасосів базується на поршневій схемі подачі бетонної суміші.

Бетонна суміш із приймального бункера надходить у робочий циліндр, де за допомогою поршня створюється тиск, необхідний для переміщення суміші по бетоноводу. У сучасних конструкціях зазвичай використовують два робочих циліндри, що працюють поперемінно, забезпечуючи безперервну подачу бетонної суміші (рис. 1.3).

Розподіл потоків суміші здійснюється за допомогою S-подібного шибера або клапанного механізму. Гідравлічний привід забезпечує синхронний рух поршнів і роботу розподільного пристрою [9].

Основними перевагами поршневих бетононасосів є: висока продуктивність; значний робочий тиск; можливість транспортування жорстких бетонних сумішей; надійність і довговічність конструкції.

Основні технічні параметри бетононасосів

До основних параметрів бетононасосів належать: продуктивність, м³/год; дальність подачі суміші по горизонталі та вертикалі; робочий тиск у системі; потужність приводу; діаметр бетоноводу; тип приводу; об'єм приймального бункера.

Сучасні бетононасоси можуть забезпечувати подачу бетонної суміші:

- по горизонталі – до 300–400 м;
- по вертикалі – до 100–150 м;
- продуктивністю – до 150–200 м³/год [10].

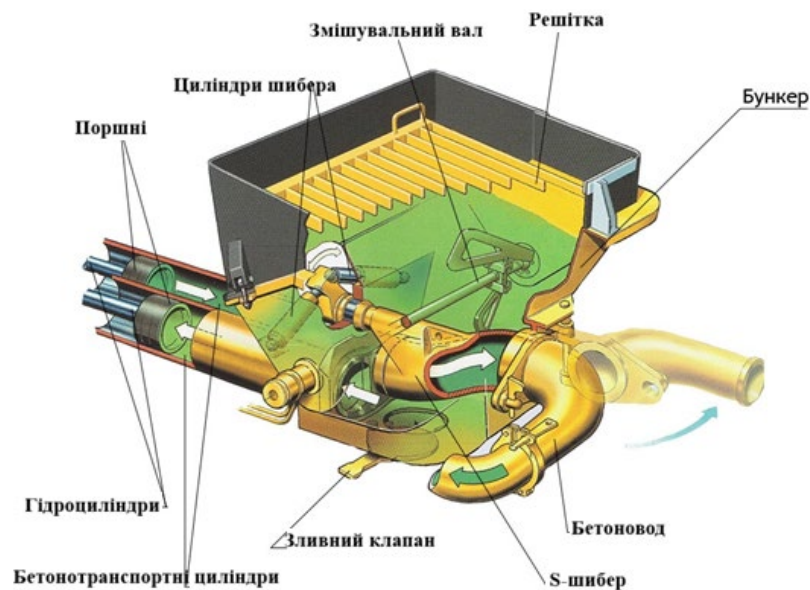


Рисунок 1.3 – Бетононасос

Гідравлічні системи бетононасосів. У більшості сучасних конструкцій застосовуються гідравлічні приводи, що забезпечують: плавність роботи; стабільність подачі; автоматичне регулювання продуктивності; зменшення динамічних навантажень; підвищення надійності обладнання.

Гідравлічна система включає: насосну станцію; гідроциліндри; розподільники; гідроаккумулятори; систему охолодження робочої рідини.

Сучасні тенденції розвитку бетононасосів. Основними напрямками вдосконалення сучасних бетононасосів є: підвищення енергоефективності; автоматизація процесів керування; зниження рівня шуму та вібрації; підвищення зносостійкості деталей; застосування систем дистанційного контролю; зменшення маси конструкції.

Для відновлювальних робіт особливо важливими є компактність, мобільність і можливість роботи в обмежених умовах міської забудови.

1.3 Особливості подачі бетонних сумішей під час виконання відновлювальних робіт

Відновлювальні роботи передбачають ремонт або реконструкцію будівельних конструкцій, мостів, дорожніх покриттів, гідротехнічних споруд та інших об'єктів, що зазнали пошкоджень у процесі експлуатації або внаслідок аварійних ситуацій [11].

Під час виконання таких робіт до систем подачі бетонних сумішей висуваються підвищені вимоги щодо: мобільності обладнання; безперервності транспортування; точності подачі; роботи у важкодоступних місцях; забезпечення стабільних характеристик бетонної суміші.

Для ремонтно-відновлювальних робіт часто використовують спеціальні бетонні суміші: дрібнозернисті; фібробетонні; швидкотверднучі; високоміцні; самоущільнювальні.

Такі суміші характеризуються підвищеною рухливістю та однорідністю, що необхідно для ефективної роботи бетононасоса.

Основними параметрами бетонної суміші є: рухливість; водоцементне співвідношення; максимальна крупність заповнювача; щільність; час збереження рухливості.

Особливості транспортування бетонної суміші

Під час подачі бетонної суміші бетоноводами виникають такі явища: гідравлічний опір; розшарування суміші; зношування трубопроводів; пульсації тиску; утворення заторів.

Для запобігання закупорюванню бетоноводу необхідно забезпечити оптимальний склад суміші та відповідну швидкість її переміщення.

Під час відновлення будівель і споруд часто виникають такі складні умови:

- обмежений простір;
- складний доступ до місця бетонування;
- необхідність роботи на висоті;
- потреба у швидкому введенні об'єкта в експлуатацію;

– нерівномірний режим подачі суміші.

У таких умовах найбільш ефективними є компактні мобільні бетононасоси з гідравлічним приводом.

Основними **вимогами** до бетононасосів є: висока маневровість; надійність роботи; можливість плавного регулювання продуктивності; стійкість до абразивного зношування; простота технічного обслуговування; безпечність експлуатації.

Особливе значення має зносостійкість елементів бетоноводу та робочих циліндрів, оскільки бетонна суміш є абразивним матеріалом.

Підвищення ефективності роботи бетононасосів досягається за рахунок: оптимізації конструкції насосного механізму; використання сучасних гідравлічних систем; застосування зносостійких матеріалів; автоматизації керування; удосконалення складу бетонних сумішей; використання систем контролю тиску та продуктивності.

У сучасних умовах бетононасоси є невід’ємною частиною технологічних процесів будівництва та відновлення об’єктів будівельної індустрії.

1.4 Способи подачі та ущільнення бетонних сумішей під час виконання будівельних і відновлювальних робіт

Під час виконання будівельних та відновлювальних робіт важливе значення має вибір способу подачі бетонної суміші до місця укладання. Від прийнятого способу транспортування залежить продуктивність робіт, якість бетонування, трудомісткість процесу та економічна ефективність виконання робіт. Вибір способу подачі бетонної суміші визначається конструктивними особливостями споруди, обсягами бетонування, умовами будівельного майданчика та наявністю засобів механізації [12].

Подача бетонної суміші безпосередньо в конструкцію. При бетонуванні автомобільних доріг, підлог, фундаментних підготовок і буронабивних паль бетонну суміш часто подають безпосередньо до конструкції за допомогою автосамоскидів, автобетоновозів або автобетонозмішувачів. Такий спосіб є найбільш простим і не потребує застосування додаткових транспортуючих пристроїв.

Безпосереднє розвантаження бетонної суміші забезпечує: зменшення втрат матеріалу; скорочення часу подачі; зниження трудомісткості робіт; мінімізацію розшарування суміші.

При подачі суміші з великої висоти використовують лотки, лійки або трубчасті хоботи, які забезпечують спрямоване надходження суміші та запобігають її розшаруванню.

Подача бетонної суміші віброжолобами. Під час бетонування конструкцій, розташованих нижче рівня землі, доцільно застосовувати віброжолоби. Віброжолоб являє собою металевий лоток, оснащений вібраторами, що забезпечують переміщення бетонної суміші під дією коливань.

Суміш подається у віброживильник, після чого надходить у віброжолоб, встановлений під кутом $5...30^\circ$ до горизонту. Для транспортування використовують суміші з осіданням конуса $4...12$ см. Малорухомі суміші транспортують при нахилі жолоба не більше 10° .

Перевагами віброжолобів є: простота конструкції; невисока енергоємність; можливість подачі суміші у важкодоступні місця; рівномірне транспортування бетонної суміші.

Продуктивність подачі залежно від складу суміші становить $10...30$ м³/год.

Подача бетонної суміші за допомогою кранів. При бетонуванні окремо розташованих фундаментів, масивних стін, тунелів та інших споруд бетонну суміш часто подають у баддях за допомогою баштових або стрілових кранів (рис.1.4).

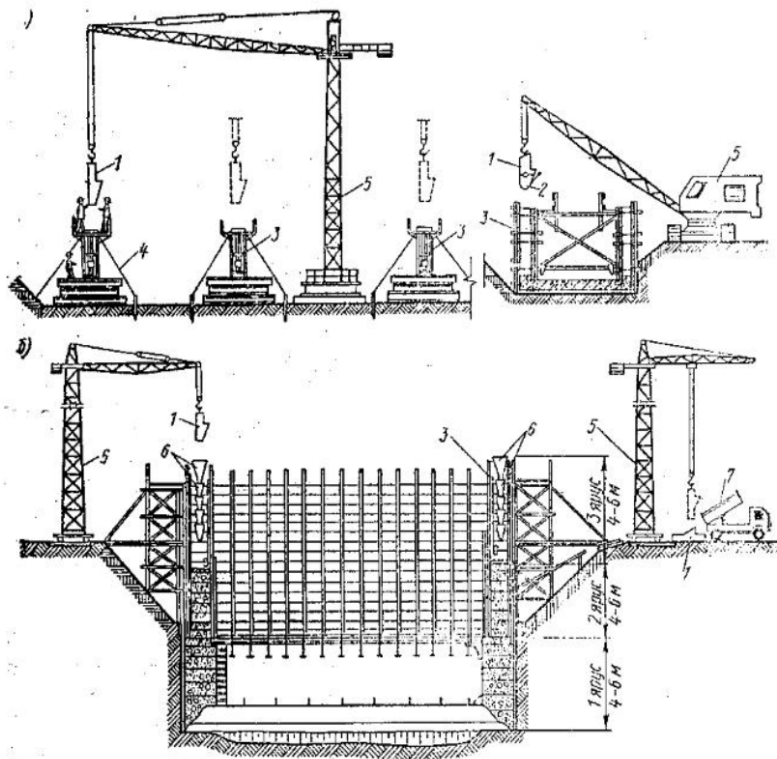


Рисунок 1.4 – подача бетонної суміші за допомогою кранів:

- а* – бетонування фундаментів і тунелів; *б* – те ж опускного колодезя; 1 – баддя;
2 – затвор; 3 – опалубка; 4 – розтяжки; 5 – кран; 6 – ланковий хобот;
7 – автобетоновіз

Такий спосіб дозволяє подавати бетонну суміш у будь-яку точку бетонування в межах робочої зони крана. Крани використовують не лише для подачі бетонної суміші, а й для монтажу опалубки, арматури та виконання вантажно-розвантажувальних робіт.

Основними перевагами кранової подачі є: універсальність; можливість роботи на значній висоті; ефективність при бетонуванні складних конструкцій.

Недоліками є циклічний характер роботи та залежність продуктивності від вантажопідйомності крана.

Подача бетонної суміші підйомниками. Для вертикального транспортування бетонної суміші використовують стоякові та шахтні підйомники. Такі установки застосовують під час бетонування висотних споруд, димових труб, перекриттів і монолітних конструкцій (рис. 1.5, 1.6).

Подача суміші здійснюється у ковшах або приймальних бункерах, які переміщуються напрямними підйомника до рівня бетонування.

Основними перевагами підйомників є: компактність; можливість роботи в обмежених умовах; простота експлуатації.

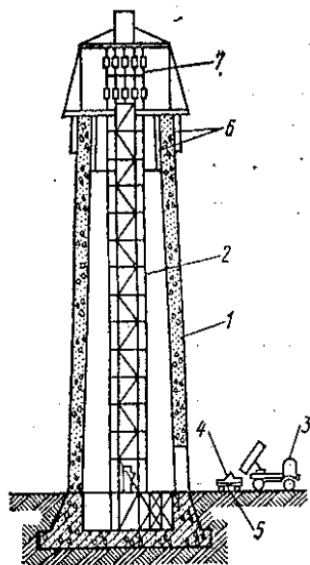


Рисунок 1.5 – Подача бетонної суміші шахтним підйомником

- 1 – труба, що бетонується;
- 2 – шахтний підйомник;
- 3 – автобетоновіз;
- 4 – прийомний бункер (ківш);
- 5 – передаточний візок;
- 6 – підйомно-переставна опалубка;
- 7 – піднімальна голівка

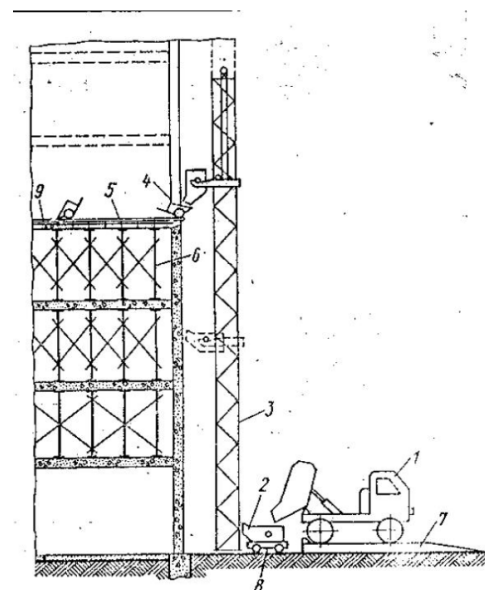


Рисунок 1.6 – Подача бетонної суміші стояковим підйомником

- 1 – автобетоновіз;
- 2 – ківш;
- 3 – стояковий підйомник;
- 4 – візок;
- 5 – катальні ходи;
- 6 – стояк риштування;
- 7 – пандус;
- 8 – передаточний візок;
- 9 – перекриття, що бетонується

Застосування стрічкових конвеєрів. Стрічкові конвеєри використовують під час безперервного бетонування протяжних конструкцій великої довжини. Найчастіше їх застосовують у поєднанні з бетонозмішувачами безперервної дії.

Економічно доцільна дальність транспортування бетонної суміші стрічковими конвеєрами становить до 1,5 км. Кут нахилу конвеєра залежить від рухливості суміші та не повинен перевищувати: 18° – при підйомі; $10...12^\circ$ – при спуску.

Для захисту суміші від атмосферних опадів над конвеєрами встановлюють захисні козирки.

Подача бетонної суміші трубопроводами. Одним із найбільш ефективних способів транспортування бетонної суміші є подача трубопроводами за допомогою бетононасосів або пневмонагнічувачів.

Основною перевагою трубопровідного транспорту є можливість безперервної подачі бетонної суміші без проміжного перевантаження безпосередньо до місця укладання.

Подача бетонної суміші бетононасосами. Бетононасоси застосовують для транспортування пластичних і литих бетонних сумішей через систему бетоноводів (рис. 1.7).

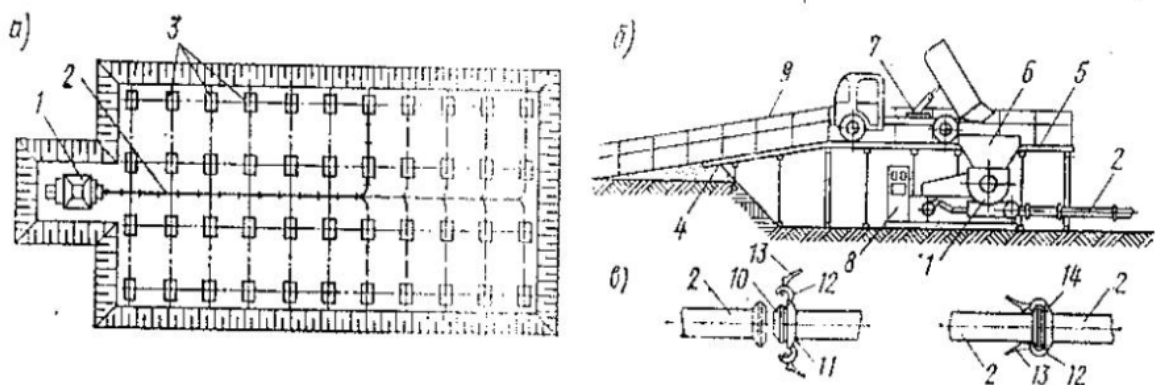


Рисунок 1.7 – Подача бетонної суміші бетононасосами

- а* – бетонування за допомогою бетононасосів; *б* – установка бетононасоса;
в – з'єднання бетоновода; 1 – бетононасос; 2 – бетоновод; 3 – фундаменти;
4, 5 – естакада; 6 – приймальна лійка; 7 – автобетоновіз; 8 – пульт;
9 – огородження; 10 – фланець; 11, 14 – замок у відкритому й закритому стані;
12 – серга; 13 – важіль

Бетоноводи складаються з інвентарних труб діаметром 140...283 мм, які з'єднуються швидкокорознімними замками з гумовими ущільнювачами. До складу системи входять прямі секції, коліна, відводи та гнучкі шланги.

Бетононасоси забезпечують: високу продуктивність; подачу суміші на значну висоту; можливість бетонування важкодоступних ділянок; зменшення частки ручної праці.

Автобетононасоси оснащуються шарнірно-зчленованими стрілами, що дозволяє подавати бетонну суміш безпосередньо у зону бетонування.

Подача бетонної суміші пневмонагнічувачами. Пневмонагнічувачі використовують для транспортування бетонної суміші у важкодоступні місця, тунелі, стики конструкцій та під час спеціальних ремонтно-відновлювальних робіт (рис. 1.8).

Принцип роботи пневмонагнічувача базується на витісненні бетонної суміші стисненим повітрям у бетоновід. Продуктивність таких установок становить 10...20 м³/год при дальності подачі до 200 м і висоті підйому до 35 м.

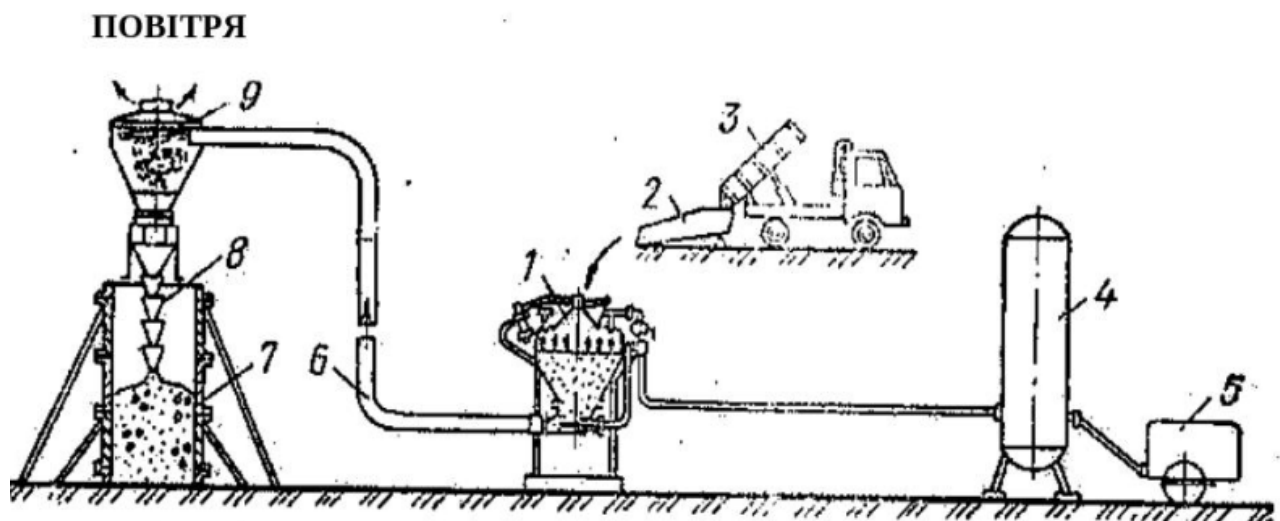


Рисунок 1.8 – подача бетонної суміші пневмонагнічувачем

1 – пневмонагнічувач; 2 – віброживильник; 3 – автобетоновіз; 4 – ресивер;
5 – компресор; 6 – бетоновод; 7 – опалубка; 8 – хобот; 9 – гаситель

1.5 Аналіз та характеристика сучасних конструкцій бетононасосів

Бетононасоси призначені для транспортування бетонних і розчинних сумішей трубопроводами безпосередньо до місця виконання робіт. Їх застосування забезпечує механізацію процесів укладання бетону, скорочує обсяги ручної праці, підвищує продуктивність будівельних робіт та дозволяє

виконувати бетонування у важкодоступних місцях. Особливо ефективним використання бетононасосів є під час проведення відновлювальних та ремонтних робіт, де необхідна точна подача суміші в обмежених умовах [13, 14].

Принцип роботи бетононасоса полягає у циклічному всмоктуванні бетонної суміші з приймального бункера та її подальшому нагнітанні у бетоновід. Під час руху поршня у зворотному напрямку відбувається заповнення робочої камери сумішшю через всмоктувальний клапан, а при прямому ході суміш витісняється у трубопровід через нагнітальний клапан (рис.1.9) [15].

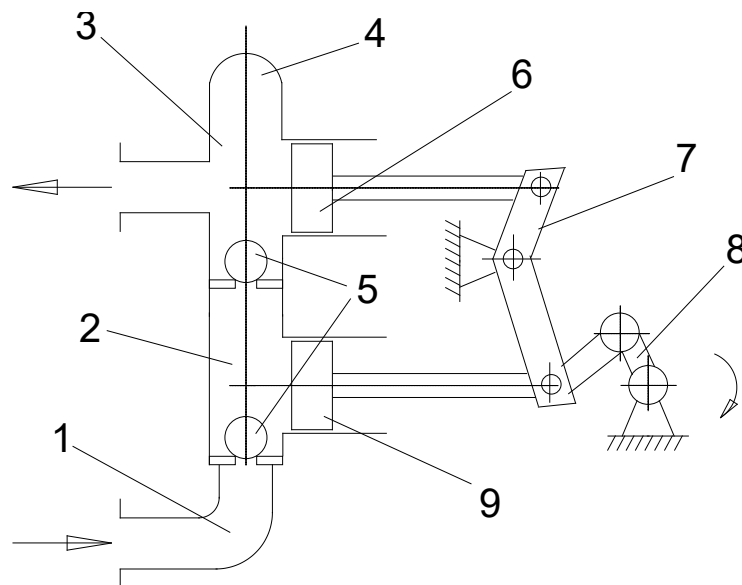


Рисунок 1.9 – Протиточний двопоршневий бетононасос типу РД-2

- 1 – всмоктувальний патрубок; 2 – робоча камера; 3 – компенсаційна камера;
4 – повітряний ковпак; 5 – всмоктувальний і випускний клапани;
6 – компенсаційний поршень; 7 – куліса; 8 – кривошипно-шатунний привод;
9 – робочий поршень

Найбільшого поширення набули **двоциліндрові гідравлічні бетононасоси**, які характеризуються високою продуктивністю, плавністю подачі бетонної суміші та надійністю роботи (рис.1.10) [16].

До провідних світових виробників бетононасосного обладнання належать компанії Putzmeister, Schwing, CIFA та Niigata (рис. 1.11) [17-20]. Їх обладнання широко застосовується у цивільному, промисловому та транспортному будівництві.

Конструкції поршневих бетононасосів. Одними з перших отримали поширення поршневі бетононасоси з механічним приводом. У таких машинах рух поршня здійснюється кривошипно-шатунним механізмом від

електродвигуна. Під час роботи один клапан відкривається для всмоктування суміші, а інший – для її нагнітання у бетоновід (рис. 1.12).

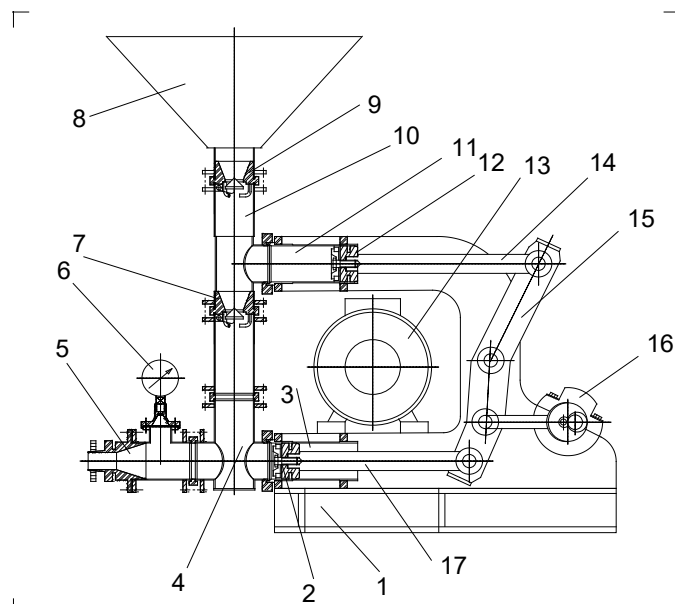


Рисунок 1.10 – Двопоршневий прямоточний бетононасос із кривошипно-шатунним механізмом

1 – рама; 2 – компенсаційний поршень; 3 – компенсаційний циліндр;
4 – компенсаційна камера; 5 – вихідний патрубок з обхватним кріпленням
трубопроводу; 6 – манометр; 7 – конусний підпружинений клапан
(нагнітальний); 8 – завантажувальна вирва; 9 – конусний підпружинений
клапан (усмоктувальний); 10 – робоча камера; 11 – робочий циліндр;
12 – робочий поршень; 13 – електродвигун; 14 – шток;
15 – куліса; 16 – кривошипно-шатунний механізм; 17 – шток

Основною перевагою таких насосів є простота конструкції. Водночас вони мають ряд недоліків: значну пульсацію подачі; підвищене зношування деталей; складність клапанного механізму; обмежену продуктивність.

Через циклічність роботи в одноциліндрових насосах виникають динамічні навантаження, що негативно впливають на стабільність транспортування бетонної суміші та якість бетонування [21].

Для зменшення нерівномірності подачі були розроблені двоциліндрові конструкції. У таких насосах робочі цикли циліндрів зміщені у протифазі, що дозволяє забезпечити практично безперервний потік бетонної суміші.

Гідравлічні бетононасоси. Найбільш сучасними та поширеними є бетононасоси з гідравлічним приводом. У них переміщення поршнів здійснюється гідроциліндрами під дією робочої рідини. Така схема дозволяє:

зменшити динамічні навантаження; підвищити плавність роботи; збільшити дальність транспортування суміші; забезпечити стабільний робочий тиск.

Продуктивність сучасних гідравлічних бетононасосів становить від 15 до 120 м³/год, а дальність подачі бетонної суміші може перевищувати 200 м по горизонталі та 50 м по вертикалі [22].



S5 EV-TM Grout Pump



Бетононасос Putzmeister BSA 1005



Стационарні бетононасоси SP 2800 D
SCHWING-Stetter



Стационарний бетононасос Cifa PC
307

Рисунок 1.11 – Бетононасоси провідних фірм

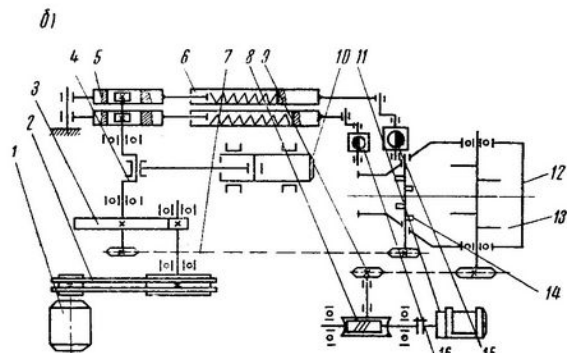
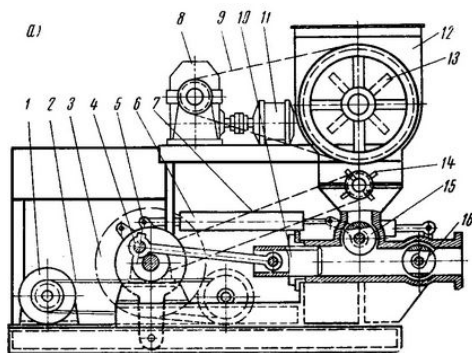


Рисунок 1.12 – Поршневий бетононасос із механічним приводом
а – конструктивна схема; б – кінематична схема

Особливо важливим елементом конструкції є розподільний механізм, який забезпечує почергове з'єднання транспортних циліндрів із приймальним бункером та бетоноводом. Найбільш поширеними є: шиберні клапани; поворотні коліна; S-подібні розподільники; плоскі заслінки.

Надійність роботи розподільного механізму значною мірою визначає ефективність та безперебійність роботи всього бетононасоса.

Особливості автобетононасосів. Автобетононасоси являють собою мобільні установки, змонтовані на автомобільному шасі. Вони оснащуються розподільною стрілою та гнучким бетоноводом, що дозволяє подавати бетонну суміш безпосередньо у зону бетонування.

Такі машини широко використовують під час відновлення мостів, дорожніх споруд, тунелів та інших об'єктів інфраструктури.

Аналіз переваг і недоліків сучасних конструкцій. Порівняльний аналіз існуючих конструкцій показує, що механічні бетононасоси поступово витісняються гідравлічними через нижчу надійність та більшу металоємність. Найефективнішими є двоциліндрові гідравлічні установки з безперервною подачею суміші та автоматизованим керуванням.

Для виконання відновлювальних робіт доцільно застосовувати компактні гідравлічні бетононасоси з можливістю транспортування бетонної суміші на значні відстані та роботи в умовах обмеженого простору.

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Конструктивні особливості та принцип роботи бетононасоса

Практика використання бетононасосів із кульовими та конусними клапанами показала, що під час перекачування малорухомих бетонних сумішей виникають проблеми з надійністю роботи всмоктувальних клапанів. Найчастіше це проявляється у зависанні клапанів, нерівномірності подачі суміші та зниженні продуктивності установки.

Для усунення зазначених недоліків пропонується двопоршневий бетононасос із горизонтальним розташуванням циліндрів і прямоточною схемою завантаження бетонної суміші. Конструкція насоса передбачає можливість використання тарілчастих всмоктувальних і нагнітальних клапанів (рис. 2.1), а також комбінованої схеми із тарілчастим всмоктувальним та кульовим нагнітальним клапанами.

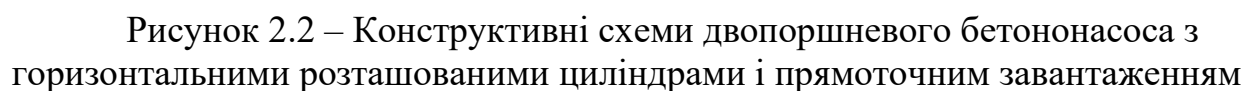
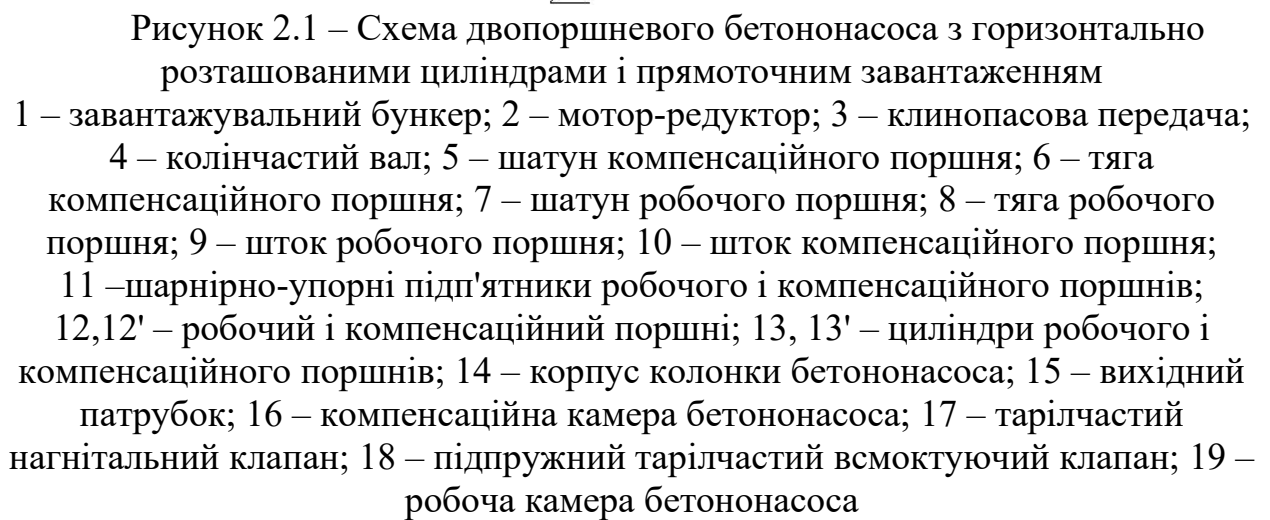
Запропонований насос призначений для транспортування будівельних розчинів і бетонних сумішей із рухливістю $\Pi = 6...11$ см та максимальною крупністю заповнювача до 10 мм. Схема двопоршневого бетононасоса з тарілчастими клапанами наведена на рисунку 2.1, а його конструктивне виконання показано на рисунку 2.2.

На рис. 2.1 представлено принципову схему двопоршневого бетононасоса з прямоточним завантаженням суміші та горизонтальним розміщенням робочого і компенсаційного циліндрів. Основними елементами конструкції є завантажувальний бункер, робочий і компенсаційний поршні, клапанна система, кривошипно-шатунний механізм та компенсаційна камера.

Конструктивна схема насоса з тарілчастими клапанами наведена на рис. 2.2. Така компоновка дозволяє зменшити гідравлічний опір руху суміші, скоротити кількість поворотів потоку всередині насоса та знизити ймовірність розшарування бетонної суміші під час транспортування.

Крім того, можливе використання комбінованої конструкції насоса, у якій всмоктувальний клапан виконаний тарілчастим, а нагнітальний – кульовим. Схему такого конструктивного рішення показано на рисунку 2.3.

Принцип роботи бетононасоса (рис. 2.1) полягає у почерговому всмоктуванні та нагнітанні бетонної суміші. Суміш із завантажувального бункера 1 через підпружинений тарілчастий всмоктувальний клапан 18 під дією сили тяжіння та створеного розрідження надходить у робочу камеру 19 і робочий циліндр 13. У процесі руху робочого поршня бетонна суміш витісняється через нагнітальний клапан 17 у компенсаційну камеру 16 корпусу насоса 14. При цьому всмоктувальний клапан автоматично закривається.



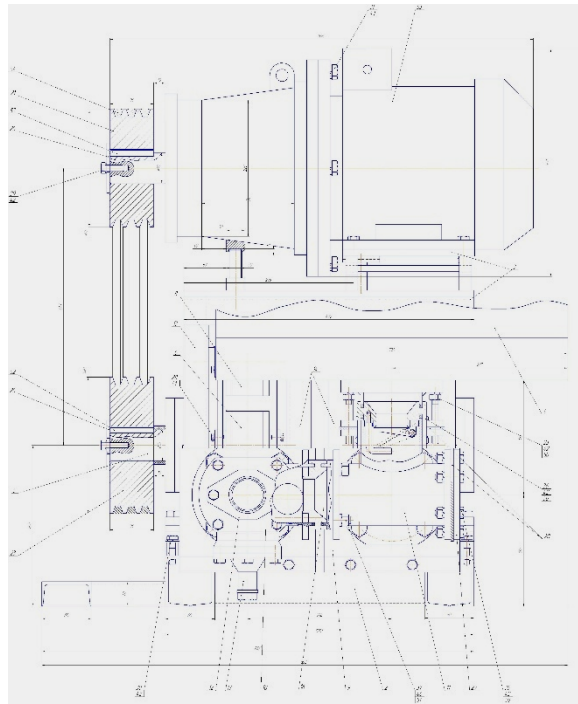


Рисунок 2.3 – Конструктивна схема двопоршневого бетононасоса з горизонтально розташованими циліндрами, прямоточним завантаженням суміші через тарілчастий клапан при нагнітальному кульовому клапані

Після надходження бетонної суміші до компенсаційної камери її частина подається у бетоновід 15, а інша заповнює компенсаційний циліндр. Під час руху компенсаційного поршня у режимі нагнітання суміш витісняється у трубопровід, а нагнітальний клапан закривається. Така схема забезпечує більш рівномірну та безперервну подачу бетонної суміші.

Завдяки прямоточній схемі руху матеріалу зменшується інтенсивність турбулентних потоків і втрати тиску в насосі, що позитивно впливає на стабільність транспортування та якість бетонної суміші.

Отже, розроблені конструкції двопоршневих бетононасосів із механічним приводом дозволяють підвищити ефективність перекачування бетонних і розчинних сумішей, особливо при роботі з малорухомими матеріалами. Узагальнена класифікація таких насосів наведена на рисунку 2.4.

Привід бетононасоса приводиться в дію від мотор-редуктора 2, який через клинопасову передачу 3 передає крутний момент на колінчастий вал 4. У результаті цього забезпечується зворотно-поступальний рух робочого та компенсаційного поршнів.

Отже, принцип роботи розглянутого бетононасоса є аналогічним до раніше розроблених і апробованих у будівельній практиці насосних установок.

Однією з основних конструктивних особливостей даного бетононасоса є застосування тарілчастих клапанів. Таке рішення дозволяє збільшити площу прохідного перерізу між клапаном і отвором корпусу насоса, що сприяє надходженню більшого об'єму бетонної суміші під час всмоктування робочим поршнем.

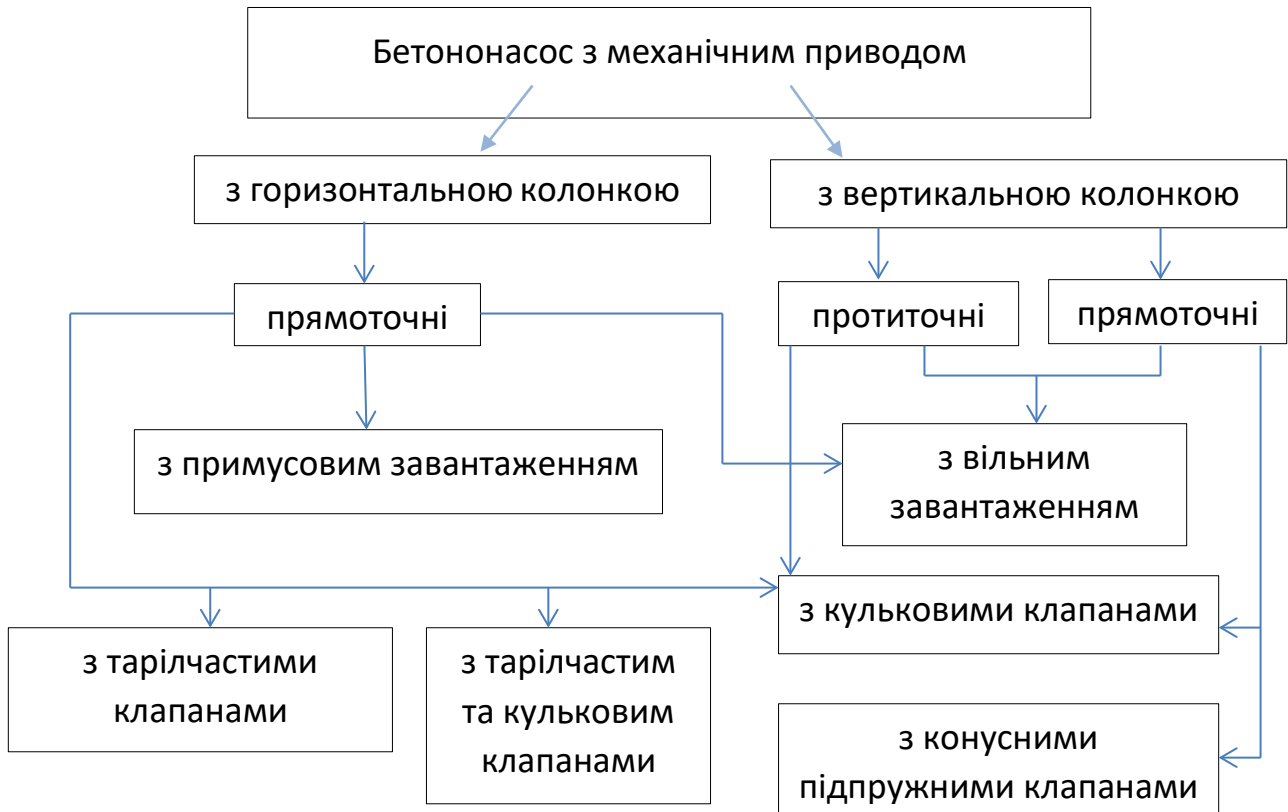


Рисунок 2.4 – Класифікація двухпоршневих бетононасосів з механічним приводом

У процесі нагнітання суміші в компенсаційну камеру тиск бетонної суміші діє на нижню поверхню тарілчастого клапана, забезпечуючи його швидке закривання. Це зменшує ймовірність виникнення зворотного потоку бетонної суміші у приймальний бункер та підвищує стабільність роботи насоса.

Таким чином, використання нової конструкції клапанних вузлів дозволяє усунути один із характерних недоліків попередніх моделей насосів, який проявлявся при перекачуванні малорухомих бетонних сумішей.

Ще однією особливістю конструкції є застосування шарнірно-упорних підп'ятників робочого та компенсаційного поршнів, встановлених на штоках (рис. 2.2). Використання таких елементів забезпечує більш рівномірний рух поршнів у гільзах циліндрів, зменшує перекоси та знижує інтенсивність зношування ущільнювальних манжет. Крім того, це сприяє підвищенню довговічності насосного обладнання та покращенню надійності його роботи.

Технічні характеристики двопоршневого бетононасоса з горизонтальним розташуванням циліндрів, прямою схемою завантаження та тарілчастими клапанами наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики двопоршневого бетононасоса

Характеристики	
Продуктивність, м ³ /ч	4 – 4.5
Граничний робочий тиск, МПа	3,8 – 4,0
Частота руху поршнів, хв ⁻¹	58
Дальність подачі, м	
по горизонталі	200
по вертикалі	70
Потужність ел. двигуна, кВт	7,5
Габаритні розміри, м	
довжина	1480
ширина	810
висота	930
Маса (без шлангів), кг	500

Конструктивні особливості та принцип дії системи примусового завантаження

Бетононасос, конструкція якого наведена на рис. 2.2, розрахований на перекачування бетонних сумішей із рухливістю $\Pi = 6...10$ см. Однак під час роботи з малорухомими сумішами з осіданням конуса $\Pi = 4...5$ см можуть виникати труднощі із самопливним надходженням матеріалу до робочої камери насоса. Це призводить до зависання бетонної суміші у завантажувальному бункері, нерівномірного заповнення робочого циліндра та зниження продуктивності установки.

Для забезпечення стабільної роботи бетононасоса на малорухомих бетонних сумішах запропоновано застосувати пристрій примусового завантаження, схема якого наведена на рис. 2.5.

Основним призначенням системи примусового завантаження є забезпечення безперервної подачі бетонної суміші з бункера до робочої камери насоса. Використання такого пристрою дозволяє:

- запобігти зависанню бетонної суміші у приймальному бункері;
- забезпечити рівномірне заповнення робочого циліндра;
- підвищити стабільність подачі суміші;

- зменшити втрати продуктивності;
- підвищити надійність роботи насосної установки.

Принцип дії системи примусового завантаження полягає у механічному переміщенні бетонної суміші до зони всмоктування насоса. Під час роботи спеціальний подавальний механізм створює додатковий тиск на суміш, спрямовуючи її у всмоктувальну камеру. Завдяки цьому забезпечується безперервне надходження навіть жорстких і малорухомих бетонних сумішей.

Застосування примусового завантаження також сприяє зменшенню утворення порожнин у зоні всмоктування та покращує умови роботи клапанної системи. Це особливо важливо при виконанні відновлювальних і ремонтних робіт, де часто використовуються суміші з підвищеною в'язкістю та обмеженою рухливістю.

Таким чином, використання пристрою примусового завантаження дозволяє розширити технологічні можливості бетононасоса, забезпечити його ефективну роботу на бетонних сумішах малої рухливості та підвищити загальну ефективність процесу транспортування бетонної суміші.

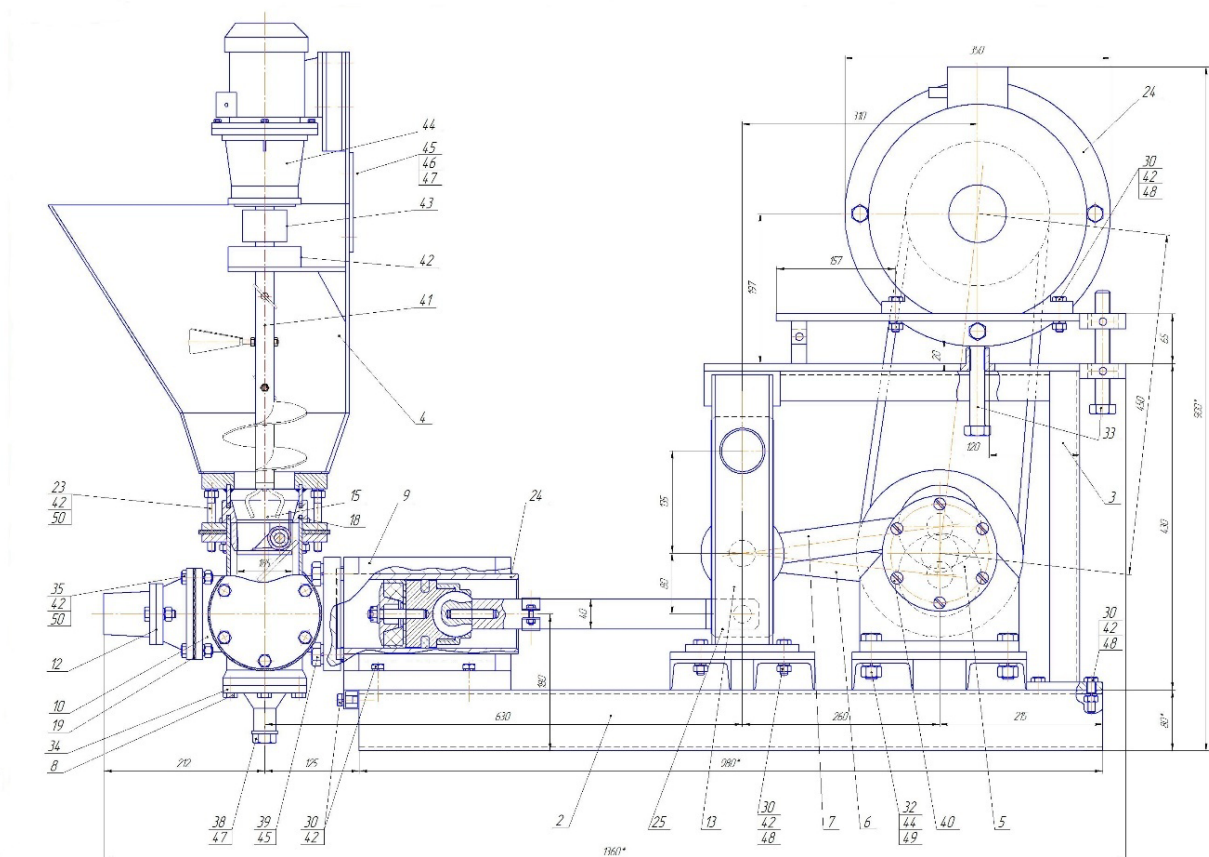


Рисунок 2.5 – Двопоршневий бетононасос з тарілчастими клапанами та примусовим завантаженням

2.2 Визначення основних параметрів двопоршневого бетононасоса

2.2.1 Визначення продуктивності в залежності від технологічних параметрів робочого процесу

Пропускної здатності клапанів

Робота відкритих клапанів повинна забезпечити стабільну подачу бетонної суміші в трубопровід при наявності її мінімальних протитечій незалежно від конструктивного вирішення цих клапанів.

Миттєва швидкість в досліджуваних точках потоку u може бути знайдена згідно залежності:

$$u = v_{\text{я}}(R^2 - r^2)/(R^2 - R_{\text{я}}^2), \quad (2.1)$$

де $v_{\text{я}}$ – постійна швидкість потоку (ядра) бетонної суміші в трубопроводі;

R – внутрішній радіус труби;

$R_{\text{я}}$ – радіус ядра течії;

r – довільно обраний радіус в ядрі потоку суміші.

$$\frac{du}{dr} = \frac{2r \cdot v_{\text{я}}}{R^2 - R_{\text{я}}^2}, \quad (2.2)$$

У такому випадку, подача бетонної суміші бетононасосом через клапанний вузол в трубопроводі (продуктивність конструктивна насоса $\Pi_{\text{к}}$) може бути представлена як:

$$\Pi_{\text{к}} = Q = \pi \cdot R_{\text{я}}^2 \cdot v_{\text{я}} + \int_{R_{\text{я}}}^R u \cdot 2\pi \cdot dr = \frac{\pi \cdot v_{\text{я}} (R^2 - R_{\text{я}}^2)}{2}, \quad (2.3)$$

З іншого боку:

$$\Pi_{\text{к}} = Q = \pi \cdot R^2 \cdot v_{\text{ср}}, \quad (2.4)$$

Прирівнявши залежності для $\Pi_{\text{к}}=Q$ визначаємо $v_{\text{я}}$:

$$v_{\text{я}} = \frac{2R^2}{R^2 - R_{\text{я}}^2} \cdot v_{\text{ср}}, \quad (2.5)$$

де $v_{\text{ср}}$ – середнє значення швидкості потоку при даній подачі бетононасосом.

Середня швидкість потоку може бути взята з результатів раніше проведених досліджень бетононасосом:

$$v_{\text{ср}}(L) = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{R_y(L)} m(r, \varphi, y) v(r, \varphi, y) dr d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{R_y(L)} m(r, \varphi, y) dr d\varphi}, \quad (2.6)$$

де $R_y(L)$ – радіус перерізу потоку в трубопроводі на відстані L ;

$m(r, \varphi, y)$ – загальна маса частинок суміші;

$\vartheta(r, \varphi, y)$ – швидкість часток потоку радіусом, що знаходяться на відстані L від осі потоку з полярними координатами (r, φ) .

Діаметр трубопроводу повинен бути в 2,5 ... 3,0 рази більше максимального розміру заповнювача.

Аналіз роботи клапаних вузлів зроблений для одних і тих же конструктивних розмірів кульового і тарелчастого клапанів відомих двопоршневих бетононасосів.

Раніше проведені дослідження дозволили знайти залежності для визначень витрати бетонної суміші, що проходить через сідло відкритого клапана насоса з урахуванням її рухливості:

$$P_k = Q_{21} = \frac{4 \cdot \pi \cdot \vartheta \cdot Re_{сед.кл. max}^2}{k_{б.с.}} \cdot m^3/c - \text{кульовий клапан}, \quad (2.7)$$

де Re – число Рейнольдса;

ϑ_{max} – швидкість витікання бетонної суміші;

$d_{сед.кл.}$ – діаметр сідла клапана;

$k_{б.с.}$ – коефіцієнт, що враховує розрив потоку транспортованої бетонної суміші при проходженні через сідло клапана насоса ($k_{б.с.}=0,8...0,85$).

Тарілчастий клапан:

$$P_k = Q_{22} = Re \cdot \pi \cdot d_{сед.кл.} \cdot (h_1 + l_{щi}) \cdot \sin \alpha \sqrt{2g \cdot \left(H_1 + \frac{W_{вак.}}{\rho_0 \cdot g \cdot S_{сед.кл.}} \right)}, \quad (2.8)$$

де $\rho_0 \cdot g \cdot H_1 \cdot S_{сед.кл.}$ – вес стовпа бетонної суміші, діючої на клапан, H ;

h_1 – відстань між основою клапана і точкою підвісу його тарілки;

$W_{вак.}$ – розрядження, створюване поршнем;

$l_{щi}$ – розмір щілини при розкритті тарілчастого клапана;

α – кут розкриття клапана.

Властивостей бетонної суміші, які транспортуються по трубопроводу

При транспортуванні по трубопроводах будівельна суміш, зокрема, за допомогою бетононасоса, може розглядатися як бінгамовська рідина. Рух таких сумішей можливо тільки після прикладання напруги τ_0 , де τ_0 – початкова напруга відносного зсуву шарів суміші в трубопроводі або межа плинності.

Дослідження дозволили отримати залежність для визначення продуктивності насосів з урахуванням середньої швидкості руху часток суміші по трубопроводу, його діаметра і властивостей бетонної суміші, яка транспортується:

$$P_{техн} = \frac{\pi \Delta p}{8 \mu L} \cdot R_{тр}^4 \cdot m^3/c, \quad (2.9)$$

де Δp – величина різниці тисків на кінцях розглянутого трубопроводу певної довжини L ;

R_{mp} – діаметр трубопроводу, по якому транспортується суміш.

Секундні витрати суміші, що пропускається трубопроводом і прирівнюється продуктивності бетононасоса можуть бути також розглянуті з урахуванням тих напружень, які відчуває потік суміші у трубопроводі.

Припустивши, що в горизонтальному трубопроводі круглого перерізу спостерігається ламінарний режим течії суміші, можна вважати, що вона не стискається.

У загальному вигляді для потоку суміші, що рухається в циліндричному трубопроводі, градієнт швидкості пропорційний дотичному напруженню:

$$-\frac{dv}{dr} = f(\tau), \quad (2.10)$$

де r – радіус циліндричної ділянки суміші виділеного для розгляду її руху по трубопроводу.

У рухомому потоці суміші цей циліндр довжиною l_1 буде знаходитися в рівновазі під дією сили опору, яка визначається різницею тисків на обох кінцях виділеного елементарного об'єму і дотичного напруження, прикладеного до його поверхні:

$$\Delta p \pi r_1^2 - 2 \pi r l_1 \tau = 0, \quad (2.11)$$

Звідки:

$$\tau = \frac{1}{2} \Delta p r_1 / l_1, \quad (2.12)$$

У такому випадку, максимальна напруга біля стінки трубопроводу визначається як:

$$\tau_{cm} = \frac{1}{2} \Delta p R / l_1; \quad \tau = \tau_{cm} \cdot \frac{r_1}{R}, \quad (2.13)$$

Після перетворень і інтегрування рівняння (2.9), розподіл швидкостей потоку суміші в трубопроводі можна представити як:

$$\int_v^0 -d\vartheta = \int_r^R f(\tau_{cm} \cdot \frac{r_1}{R}) dr; \quad \vartheta = \int_r^R f(\tau_{cm} \cdot \frac{r_1}{R}) dr, \quad (2.14)$$

Елементарний об'єм суміші, визначається як:

$$dQ = \vartheta \cdot 2 \pi r dr_1, \quad (2.15)$$

$$\int_0^Q dQ = \pi \int_0^R \vartheta \cdot 2 \pi r dr_1 = \pi [\vartheta r_1^2 - \int r_1^2 d\vartheta] \int_0^R,$$

При $r = R$ швидкість, секундні витрати визначаються як:

$$Q_{сек} = \pi \int_0^R r_1^2 f(\frac{r}{R}) dr, \quad (2.16)$$

Оскільки з рівняння (2.19) $r_1 = R \cdot \tau / \tau_{cm}$

$$Q_{сек} = \frac{\pi R^3}{\tau_{cm}^3} \int_0^{\tau_{cm}} r^2 f(\tau) d\tau, \quad (2.17)$$

Для бінгамовських сумішей $f(\tau) = \frac{(\tau - \tau_0)}{\mu}$ при $\tau_0 < \tau < \tau_{ст}$ причому, $f(\tau) = 0$ при $0 < \tau < \tau_0$. Ця умова має місце в центрі трубопроводу, де існує зона (поблизу осьової лінії), в якому напруга падає до нуля і де відсутня швидкість зрушення. У цій зоні суміш рухається як твердий поршень.

Після підстановки функції $f(\tau)$ в рівняння (2.17)

$$Q_{сек} = \frac{\pi R^3}{\tau_{cm}^3} \left[\int_0^{\tau_0} \tau^2 d\tau \right] + \int_{\tau_0}^{\tau_{cm}} \left(\frac{\tau - \tau_0}{\mu} \right) dr, \quad (2.18)$$

Зрештою:

$$Q_{сек} = \frac{\pi R^3 \tau_{cm}}{4\mu} \left[1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{\tau_0}{\tau_{cm}} \frac{1}{3} \left(\frac{\tau_0}{\tau_{cm}} \right)^4 \right], \quad (2.19)$$

При підстановці $\tau_{cm} = \frac{1}{2} \Delta p R / l_v$ рівняння (2.19) залежність має вигляд:

$$P_{техн} = Q_{сек} = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8\mu L} \left[1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{2L\tau_0}{\Delta p \cdot R} + \frac{1}{3} \left(\frac{2L\tau_0}{\Delta p \cdot R} \right)^4 \right] = \quad (2.20)$$

$$\frac{3.14 \cdot 0.025^3 \cdot (4.343 \cdot 10^4)}{4.420} \cdot \left[1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{100}{4.343 \cdot 10^4} + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{100}{4.343 \cdot 10^4} \right)^4 \right] \cdot 3600 = 4.552 \quad \text{м}^3/\text{ч}$$

2.2.2 Визначення потужних витрат бетононасоса

Виходячи з результатів раніше проведених досліджень була знайдена залежність для визначення продуктивності бетононасоса через пропускну здатність тарілчастого клапана.

$$Q = Re \cdot \pi \cdot d_{сед.кл.} \cdot \left(\frac{h_1 + l_{ш}}{2} \right) \cdot \sin \alpha \sqrt{2g \cdot \left(H_1 + \frac{W_{вак.}}{\rho_{б.с.} \cdot g \cdot S_{сед.кл.}} \right)},$$

Отже, залежність для визначення потужності двигуна такого насоса можна представити як:

$$N_{рнб} = \frac{Re \cdot \sin \alpha}{1000 \cdot \eta_{рбн}} \cdot p \cdot \sqrt{2g \cdot \left(H_1 + \frac{W_{вак.}}{\rho_{б.с.} \cdot g \cdot S_{сед.кл.}} \right)}, \quad (2.22)$$

$$\eta_{рбн} = \eta_{мех} \cdot \eta_{гидр} \cdot \eta_{об}$$

де Re – число Рейнольдса;

p – тиск, необхідний для перекачування бетонної суміші бетононасосом по трубопроводу довжиною $L_{тр}$;

$S_{сед.кл.}$ – площа основи сідла клапана;

$\eta_{мех.}, \eta_{гидр.}, \eta_{об}$ – механічний, гідравлічний, об'ємний к.к.д.

$$S_{сед.кл.} = \pi \cdot d_{сед.кл.} \cdot \left(\frac{l_1 + l_{ш}}{2} \right)$$

$F = P \cdot S_{сед.кл.}$ – сила, рушійна бетонну суміш по трубопроводу.

Іншими словами:

$$N_{pнб} = \frac{Re \cdot \sin \alpha}{1000 \cdot \eta_{мех} \cdot \eta_{гидр} \cdot \eta_{об}} \cdot F \cdot \vartheta, \quad (2.23)$$

Тиск, який повинен розвивати бетононасос для забезпечення руху суміші по трубопроводу, можна знайти, користуючись залежністю:

$$p = \frac{\rho_{обс} \cdot \vartheta_{ср}^2}{2} + \frac{8\mu \cdot L_{мп}}{\pi \cdot R_{мп}^4} \cdot \left(Q_c + \frac{\pi \cdot R_{мп}^3 \cdot \tau_0}{3\mu} \right), \quad (2.24)$$

де $\vartheta_{ср}$ – середня швидкість руху бетонної суміші по трубопроводу;

μ – динамічна в'язкість бетонної суміші;

Q_c – секундні витрати бетонної суміші;

τ_0 – граничне напруження зсуву шарів бетонної суміші.

Середня швидкість руху бетонної суміші визначається як:

$$\vartheta_{ср} = \frac{\tau_{см} \cdot R_{мп}}{4\mu} \cdot \left(1 - \frac{\tau_0}{\tau_{см}} \right)^2, \quad (2.25)$$

де $\tau_{см}$ – сдвигова напруга на стінці трубопроводу, яку відчуває транспортируемая бетонна суміш;

$\tau_{ст} = \frac{R_{тр}}{2} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta L_{тр}}$, (де $\frac{\Delta p}{\Delta L_{тр}}$ – градієнт перепаду тиску по довжині трубопроводу).

Після проміжних перетворень з урахуванням розкриття залежності для визначення $\vartheta_{ср}$ тиск можна визначити наступним чином:

$$p = \frac{\rho_{обс}}{2} + \frac{\tau_{см} \cdot R_{мп}^3}{32\mu^2} \left(1 - \frac{\tau_0}{\tau_{см}} \right)^4 + \frac{8\mu \cdot L_{мп} \cdot Q_c}{\pi \cdot R_{мп}^4} + \frac{8L_{мп} \cdot \tau_0}{3 \cdot R_{мп}}, \quad (2.26)$$

Отже, потужні витрати на роботу бетононасоса, якщо до уваги брати напруги, які виникають в бетонній суміші, яка транспортується, можна знайти згідно залежності:

$$N_{pнб} = \frac{Re \cdot \sin \alpha}{1000 \cdot \eta_{рбн}} \cdot \frac{\rho_{обс}}{2} + \frac{\tau_{см} \cdot R_{мп}^3}{32\mu^2} \left(1 - \frac{\tau_0}{\tau_{см}} \right)^4 + \frac{8\mu \cdot L_{мп} \cdot Q_c}{\pi \cdot R_{мп}^4} + \frac{8L_{мп} \cdot \tau_0}{3 \cdot R_{мп}} \cdot \sqrt{2g \cdot \left(H_1 + \frac{W_{вак}}{\rho_{б.с} \cdot g \cdot S_{сед.кл.}} \right)}, \quad (2.27)$$

Таким чином, в залежності (2.27) враховані як параметри технологічного процесу транспортування бетонної суміші по трубопроводу за допомогою бетононасоса, так і чисто фізико-механічні властивості цієї суміші.

$$N_{\text{рнб}} = \frac{Re \cdot \sin \alpha}{1000 \cdot \eta_{\text{рбн}}} \left(\frac{\rho_{\text{обс}} \cdot \tau_{\text{ст.}}^2 \cdot R_{\text{тр.}}^2}{32\mu^2} \left(1 - \frac{\tau_0}{\tau_{\text{ст.}}} \right)^4 + \frac{8\mu \cdot L_{\text{тр.}} \cdot Q_c}{\pi \cdot R_{\text{тр.}}^4} + \frac{8L_{\text{тр.}} \cdot \tau_0}{3 \cdot R_{\text{тр.}}} \right) \cdot S_{\text{сеч.}}$$

$$\cdot \sqrt{2g \cdot \left(H_1 + \frac{W_{\text{вак.}}}{\rho_{\text{б.с.}} \cdot g} \right)} = \frac{0,152 \cdot 0,258}{1000 \cdot 0,42}$$

$$= \left(\left(\frac{2400 \cdot 500 \cdot 0,025^3}{32\mu^2} \left(1 - \frac{50}{500} \right)^4 + \frac{8 \cdot 650 \cdot 3(6,541 \cdot 10^{-4})}{3,14 \cdot 0,025^4} + \frac{8 \cdot 5 \cdot 50}{3 \cdot 0,025} \right) \right) \cdot (1,962 \cdot 10^{-3}) \cdot 3,431 = 6,1 \text{ кВт}$$

2.2.3 Розрахунок привода вертикального лопаткового вала устрою примусового завантаження

Вихідні дані:

Продуктивність бетонозмішувача:	Q = 4,5 м³/ч Q = 4,5 м³/ч = 0,00125 м³/с = 1,25 · 10⁻³ м³/с D _{зш} = 0,1 м, D _з = 0,18 м, R _з = 0,09 м
Середня ширина лопатки:	b _л = (0,35 ÷ 0,45) R _з = 0,35 · 0,09 = 0,0315 (м)
Висота лопатки:	h = (0,5 ÷ 0,7) R _з = 0,5 · 0,09 = 0,063 (м)
Кут нахилу лопаток по напрпвленню руху бетонної суміші – в діапазоні	α = 10° ÷ 30°.
Крок установки лопаток:	S _л = (0,4 ÷ 0,6) · R _з = 0,6 · 0,09 = 0,054 (м)
Ширина бункера:	B _к = 0,02 + 2 · R _з = 0,02 + 2 · 0,125 = 0,2 (м)
Висота бункера:	H _б = (6 ÷ 12) R _з = 6 · 0,09 = 0,54 (м)
Ширина бункера:	B _б = R _з + 0,01 = 0,09 + 0,01 = 0,1 (м)
Крок шнека шнекової головки:	S _{зш} = (0,5 ÷ 0,7) D _{зш} = 0,5 · 0,1 = 0,05 (м)
Толщина лопасти шнека:	b = (0,01 ÷ 0,02) = 0,01 (м)
Довжина шнека:	L _{зш} = (1,0 ÷ 2,0) S _{зш} = 1,5 · 0,05 = 0,075 (м)
Критична кутова швидкість валів:	ω _{кр} = 3/√R _з = 3/√0,09 = 10 (с⁻¹)
Частота обертання валів:	n _з = (4 ÷ 5) · ω _{кр} = 4 · 10 = 40 (об/хв)

Площа перерізу бетонної суміші в бункері F_з, при коефіцієнті заповнення φ_з = 0,8 і орієнтовному діаметрі: d_з ≈ 0,3 · D_з ≈ 0,3 · 0,18 = 0,054 (м);

кіль-ть лопаткових валів: z_в = 1 шт .

$$F_z = \pi \cdot (D_z^2 - d_z^2) \cdot z_v \cdot \phi_z / 4 = 3,14(0,18^2 - 0,054^2) \cdot 1 \cdot 0,8 / 4 = 0,0185 \text{ (м}^2\text{)}$$

Для визначення середньої осьової швидкості V_z руху матеріалу вздовж бункера при розрахунковому куті нахилу лопаток $\alpha = 45^\circ$ розраховуємо: крок умовної гвинтової лінії, створеної лопатками:

$$S_z \approx \pi \cdot D_z \cdot \operatorname{tg} 15^\circ \approx 3,14 \cdot 0,18 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ \approx 0,151 \text{ (м)};$$

кількість лопаток $z_{\text{лк}}$ на кроці

$$S_{\text{л}}: z_{\text{лк}} = S_z / S_{\text{л}} = 0,151 / 0,054 = 2,8 \approx 3 \text{ шт.};$$

коефіцієнт переривчастості:

$$K_{\text{пер}} = V_{\text{л}} \cdot \cos \alpha \cdot z_{\text{лк}} / (\pi \cdot D_z) = 0,0315 \cdot 0,707 \cdot 3 / (3,14 \cdot 0,18) = 0,117.$$

При $K_z = 0,6$ ($K_z = 0,4 \div 0,6$):

$$V_z = S_z \cdot n_z \cdot K_{\text{пер}} \cdot K_z / 60 = 0,151 \cdot 40 \cdot 0,117 \cdot 0,6 / 60 = 0,007 \text{ (м / с)}$$

Продуктивність змішувально вала при $K_p = 0,7$:

$$Q_z = F_z \times V_z \times K_p = 0,0185 \cdot 0,007 \cdot 0,7 = 0,00009 \text{ (м}^3\text{/с)}$$

Продуктивність частини ($Z_{\text{ш}} = 1$) при $K_z = 1$, вважаючи що маточина у шнеків однакові ($d = 0,022 \text{ м}$):

$$Q_{z\text{ш}} = \pi/4(D^2 - d^2)(S - b) \cdot n \cdot K_z / 60 = 3,14(0,12^2 - 0,002^2)(0,105 - 0,01) \cdot 40 \cdot 0,6 / (60 \cdot 3) \\ = 0,003 = 0,00047 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

2.2.4 Розрахунок сумарної потужності змішувача

Потужність складається з потужності змішувача N_z і шнекової частини $N_{z\text{ш}}$:

$$N_{z\Sigma} = N_z + N_{z\text{ш}} = 2,05 + 0,85 = 2,9 \text{ (кВт)}$$

$$N_z = K_N \cdot N_{z\text{р}} = 1,5 \cdot 1,37 = 2,05 \text{ (кВт)}$$

$$N_{z\text{р}} = \pi \cdot K_q \cdot b_{\text{л}} \cdot \sin \alpha \cdot n_z \cdot z_{\text{л}\Sigma} \cdot (R_z^2 - r_z^2) / (2 \cdot 60 \cdot 1000) =$$

$$3,14 \cdot 0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,102 \cdot 0,342 \cdot 40 \cdot 3(0,09^2 - 0,027^2) / (2 \cdot 60 \cdot 1000) = 1,37 \text{ (кВт)},$$

де – K_q – коеф різання; $K_q = (0,1 \div 0,3) \text{ МПа}$;

$z_{\text{л}\Sigma}$ - кількість лопаток при макс. куті атаки лопаток $\alpha = 28-40^\circ$;

приймаємо $z_{\text{л}} = 3 \text{ шт.}$

r_z – внутрішній радіус лопатки;

$$r_z = R_z - h_{\text{л}} = 0,09 - 0,063 = 0,027 \text{ (м)}$$

Потужність шнекової частини вала:

Тиск приймаємо: $q_{z\text{ш}} = 0,5 \text{ МПа}$;

$$N_{z\text{ш}} = N_{z\text{ш}1} + N_{z\text{ш}2} = 0,63 + 0,22 = 0,85 \text{ (кВт)}$$

Складова потужності на створення тиску в бетонній суміші:

$$N_{z\text{ш}1} = q_{z\text{ш}} \cdot Q / 10^3 = 0,5 \cdot 10^6 \cdot 0,00125 / 10^3 = 0,63 \text{ (кВт)}$$

Складова потужності на подолання тертя шнека при:

$$\omega_{z\text{ш}} = 3,14 \cdot n_z / 30 = 3,14 \cdot 40 / 30 = 4,18 \text{ (с}^{-1}\text{)}$$

$$N_{\text{зш } 2} = 2\pi \cdot f \cdot q \cdot (R^3 - r^3) \omega_{\text{зш}} / 3 \cdot 1000 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 10^6 \cdot (0,05^3 - 0,011^3) \cdot 4,18 / 3 \cdot 1000 = 0,22 \text{ (кВт)}$$

$$N_{\text{дз } 2} = K_{\text{зап}} \cdot N_{\text{зш}} / \eta = 1,05 \cdot 2,9 / 0,85 = 3,6 \text{ (кВт)}$$

Вибираємо мотор-редуктор циліндричний двухступінчатий 4МЦ2С-125 з номінальною частотою обертання вала 45хв⁻¹. Тип і розмір двигуна АИРМ112МВ6Р3 N₂=4кВт.

Загальна потужність насоса:

$$N = N_1 + N_2 = 7.5 + 4 = 11.5 \text{ кВт}$$

2.2.5 Вибір мотор-редуктора

Вибираємо мотор-редуктор:

- Номінальна частота обертання вихідного вала $n_{\text{тих}} = 60 \text{ об/хв}$;
- Номінальний крутний момент на вихідному валу $M_{\text{тих}} = 0,93 \text{ кНм}$;
- радіальне навантаження, Що Допускає, на вихідному валу = 2000 Н;
- КПД мотор - редуктора $\eta = 0,85$;
- Маса мотор - редуктора $m = 100 \text{ кг}$;
- Двигун 4А112М2;

Допускається комплектація мотор - редукторів двигунами серії АИР по ТУ 16-525.564-84.

Параметри електродвигуна 4А132S4:

- Номінальна потужність $N_{\text{дв}} 7.5 \text{ кВт}$;
- Номінальна частота обертання $n = 1440 \text{ об/хв}$;
- Кратність пускового моменту $M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}} = D_o_{\text{пуск}} = 2,0$;
- Кратність максимального моменту $M_{\text{мах}} / M_{\text{ном}} = D_o_{\text{мах}} = 2,5$;
- Момент інерції ротора двигуна $J_p = 0,027$
- Маса $m = 70 \text{ кг}$.

Кутова швидкість вибраного двигуна:

$$\omega_{\text{дв}} = \pi \cdot n_{\text{дв}} / 30 = 3,14 \cdot 1440 / 30 = 151 \text{ с}^{-1};$$

Визначаємо загальне передатне відношення по формулі:

$$U_p = n_{\text{дв}} / n_p = 1440 / 60 = 24$$

2.2.6 Розрахунок клиноремівної передачі

Вихідні дані: $N_{\text{дв}} = 7.5$ кВт; $n_{\text{мр}} = 60$ хв⁻¹; $i = 1.15$.

Вибираємо пас Б для передач потужністю до 7.5 кВт.

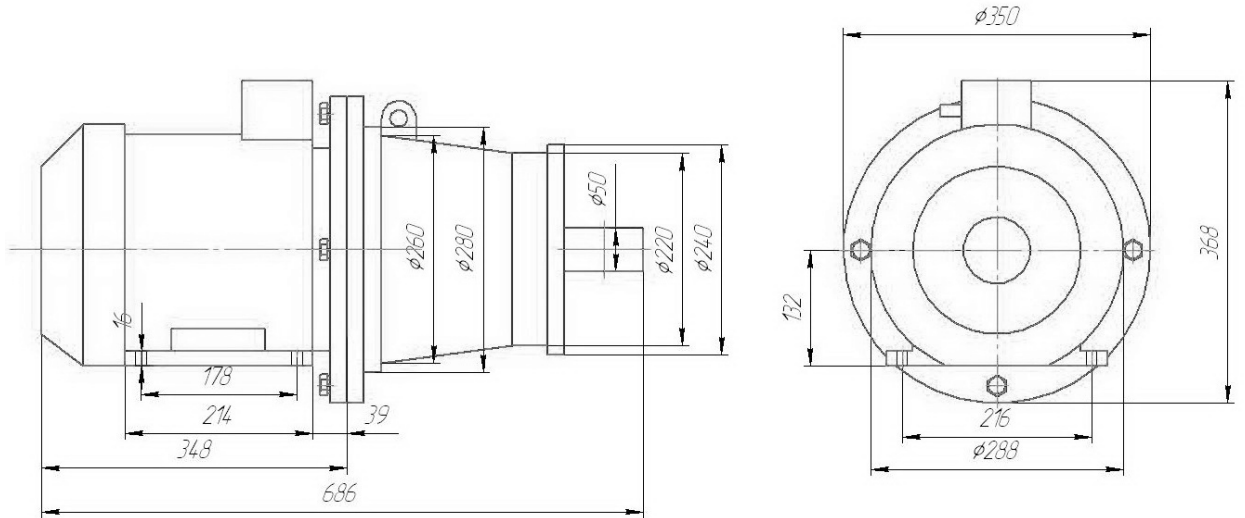


Рисунок 2.6 – Мотор-редуктор із двигуном 4A132S4

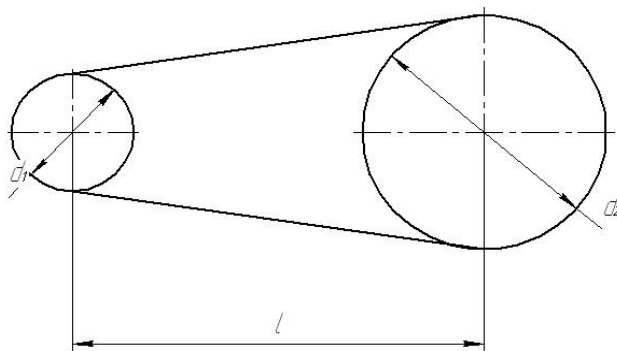


Рисунок 2.7 – Схема клиноремівної передачі

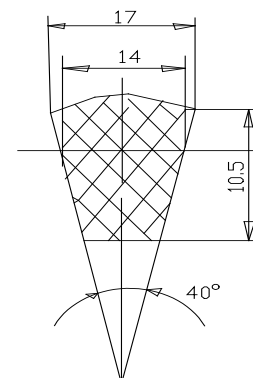


Рисунок 2.8 – Перетин ремня

Вибираю діаметр малого шківa: $D_M = 190$ мм. Тоді діаметр великого шківa:

$$D_6 = D_M \cdot i_{\text{р.п}} = 190 \cdot 1.15 = 220 \text{ мм.}$$

Передаточне число:

$$i = n_M / n_6 = D_6 / D_M = 1.15;$$

Лінійна швидкість ремня:

$$V = \pi \cdot D_M \cdot n_M / 60 = \pi \cdot D_6 \cdot n_6 / 60 = 0.6 \text{ м/с}$$

Найменша припустима міжосьова відстань:

$$L_{\text{min}} = 0.55 \cdot (D_6 + D_M) + h = 0.55 \cdot (220 + 190) + 10.5 = 236 \text{ мм}$$

де h – висота ременя, $h=10.5$;

Найбільша міжосьова відстань:

$$L_{\max}=2(D_6+D_m)=2\cdot 410=820 \text{ мм}$$

Приймаємо міжосьову відстань $l = 450$ мм.

Визначаю для даної міжосьової відстані необхідну довжину ременя.

$$L=2L+W+(y / L)=2\cdot 450+644+(255 / 450)=1544,5 \text{ мм}$$

де $W=((D_6+D_m) / 2) \cdot \pi = ((220+190) / 2) \cdot 3.14 = 644\text{мм}$;

$$y=((D_6-D_m) / 2)^2=((220-190)/2)^2=255 \text{ мм}^2.$$

Зі стандартного ряду вибираємо найбільш підходящу нам довжину ременя: $L = 1550$ мм.

Вибираємо пас Б – 1550 Т ДЕРЖСТАНДАРТ 1284 - 68.

Визначаємо остаточно міжосьова відстань:

$$\begin{aligned} l &= 0,25 \cdot \left[(L - W) + \sqrt{(L - W)^2 - 8 \cdot y} \right] \\ &= 0,25 \cdot \left[(1544,5 - 644) + \sqrt{(1544,5 - 644)^2 - 8 \cdot 255} \right] = 499,9 \\ &= 450\text{мм} \end{aligned}$$

Для компенсації можливих відхилень довжини ременя від номіналу, витяжки його в процесі експлуатації, а також для вільного надягання нових ременів при конструюванні передачі передбачаємо регулювання міжцентрової відстані шківів убік зменшення на 2 % (9 мм) і убік збільшення на 5% (22.5 мм).

Кут обхвату:

$$\alpha = 180^\circ - 57^\circ((D_6 - D_m)/L) = 180-57((220-190) / 450) = 176^\circ$$

Визначаємо кількість ременів:

$$Z=N / (N_0 \cdot k_1 \cdot k_2)=7.5 / (2.9 \cdot 0.98 \cdot 0.91)=2.9$$

де N_0 - потужність, передана одним ремнем;

до 1 – коефіцієнт, що залежить від кута обхвату;

до 2 – коефіцієнт, що враховує характер навантаження й режим роботи;

Приймаємо кількість ременів =3 шт.

Порахуємо зусилля в галузі ременя.

$$P_p = \frac{2KN}{D} = \frac{102KN}{V} = \frac{102 \cdot 1.1 \cdot 7.5}{0.6} = 1403H.$$

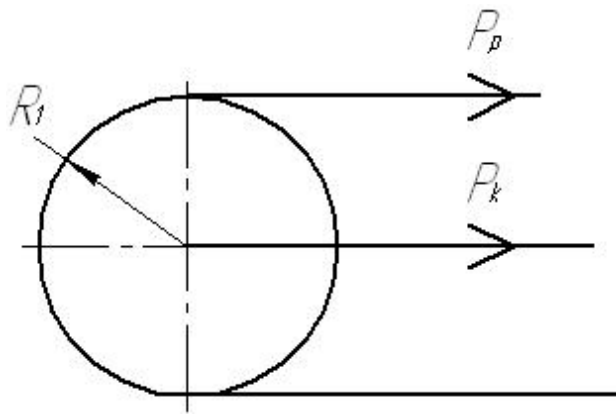


Рисунок 2.9 – Навантаження діючі на вал

Консольне навантаження на валу.

$$P_k = 3 \cdot P_p = 3 \cdot 1403 = 4209H$$

Загальна ширина шківа:

$$B = (z - 1) \cdot t + 2 \cdot S = (3 - 1) \cdot 22 + 2 \cdot 13,5 = 71\text{мм}$$

$$D_{\text{внутр}} = D_n - 2 \cdot c = 220 - 2 \cdot 5 = 210\text{мм}$$

2.2.7 Розрахунок колінчатого вала

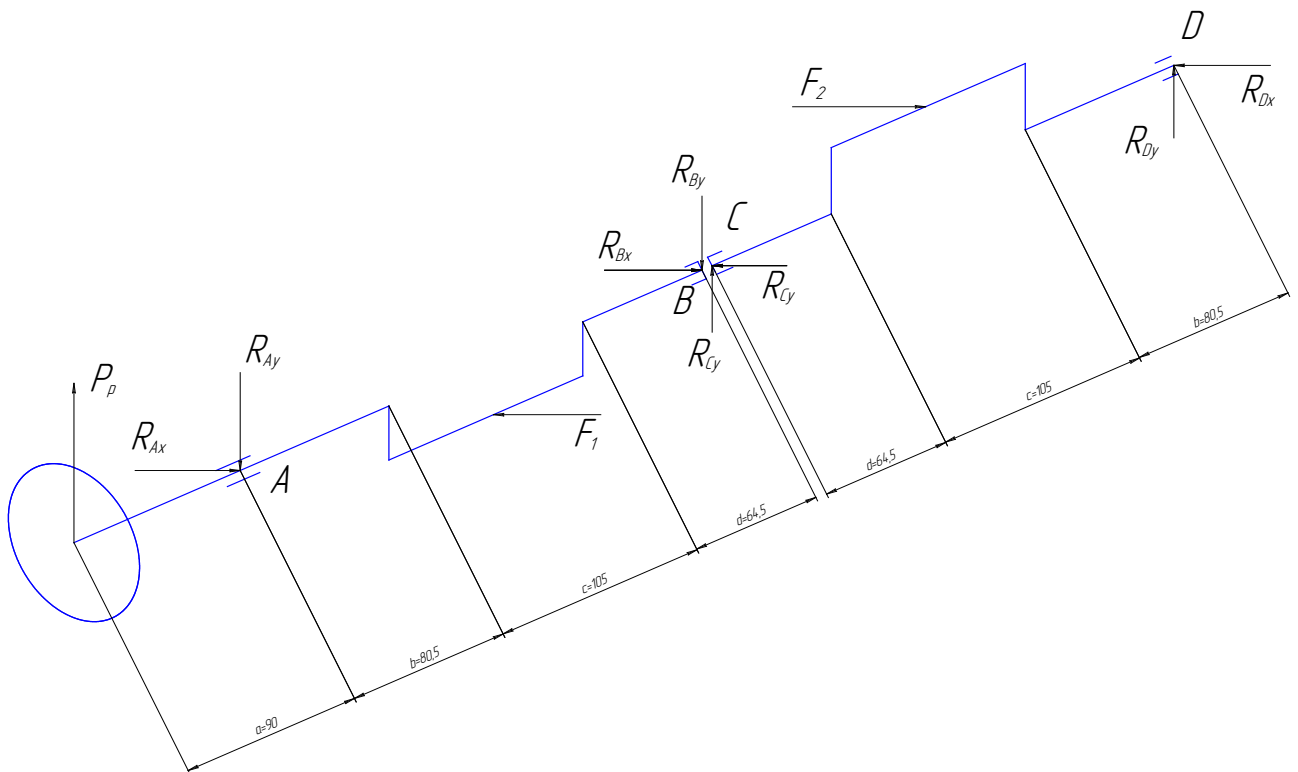


Рисунок 2.10 – Колінчатий вал

Сума сил на вісь Х: $F_1 - R_{Ax} - R_{Bx} = 0$

Сума сил на вісь Y: $R_{Ay} + P_p + R_{By} = 0$

Сума моментів у площині ZOX відносно т. А:

$$F_1 \cdot (b+c/2) + R_{Bx} \cdot (b+c+d) = 0$$
$$-R_{Bx} = \frac{F_1 \cdot (b+c/2)}{(b+c+d)} = \frac{3,6 \cdot (80,5 + 105/2)}{(80,5 + 105 + 64,5)} = 1,92$$

$$R_{Bx} = -1,92 \text{ кН}$$

$$R_{Ax} = F_1 - R_{Bx} = 3,6 - (-1,92) = 5,52 \text{ кН}$$

Сума моментів у площині ZOY відносно т. А:

$$P_p \cdot a - R_{By} \cdot (b+c+d) = 0$$
$$R_{By} = \frac{P_p \cdot a}{(b+c+d)} = \frac{4,209 \cdot 90}{(80,5 + 105 + 64,5)} = 1,52$$
$$R_{By} = 1,52 \text{ кН}$$

$$R_{Ay} = -P_p - R_{By} = 4,209 - 1,52 = 2,689 \text{ кН}$$

Згинаючий і крутний моменти діючі на вал

$$M^{max_{згpn}}$$

$$M_{кр} = M_{об} \cdot i = 930 \cdot 1,15 = 1069,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Еквівалентний момент

$$M_{екв} = \sqrt{M_{зг}^2 + M_{кр}^2} = \sqrt{378,8^2 + 1069,5^2} = 1134 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Діаметр приводного вала

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{екв}}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{1134 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 170}} = 40,5 \text{ мм}$$

$[\sigma] = 170 \text{ МПа}$ – для сталі 45 покращеної

Приймаємо $d=50$ мм знаходимо з розрахунку підшипників

2.2.8 Вибір шпонок

Для діаметра вала $d_5=50$ мм вибираємо призматичну шпонку з розмірами:
Шпонка 6×10×70 ДЕРЖСТАНДАРТ 23360-78.

$$b = 16 \text{ мм}$$

$$h = 10 \text{ мм}$$

$$t_1 = 6,0 \text{ мм}$$

$$t_2 = 5,4 \text{ мм}$$

$$l = 70 \text{ мм}$$

$$m = 0.088 \text{ кг}$$

Зі стандартного ряду довжина шпонки $l = 70$ мм.

Умова міцності робочих граней шпонки на зріз:

$$\sigma_{зр} = P_{шп} / S_{зр} = 37.2 \cdot 10^3 / 1120 = 33.2 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma_{зр}] = 100 \text{ Н/мм}^2$$

де $P_{шп} = \frac{M_{вих}}{d_B/2} = \frac{0.93 \cdot 10^6}{50/2} = 37.2 \cdot 10^3 \text{ Н}$ – зусилля діюче на шпонку;

$$S_{зр} = b \cdot l = 16 \cdot 70 = 1120 \text{ мм}^2 \text{ – площа розрізу шпонки.}$$

де $M_{вих}$ – крутний момент на вихідному валу.

Умова міцності шпонки на зріз виконується.

Умова міцності робочих граней маточини на зминання:

$$\sigma_{зм} = P_{шп} / S_{зм} = 37.2 \cdot 10^3 / 378 = 98.4 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma_{зм}] = 180 \text{ Н/мм}^2$$

У розрахунок площі зминання вставляємо розмір $t = 5,4$ мм:

$$S_{зм} = t \cdot l = 5,4 \cdot 70 = 378 \text{ мм}^2$$

Умова міцності на зминання теж виконується.

2.2.9 Вибір підшипників

Для діаметра вала $d_3 = 50$ мм вибираємо радіальний кульковий сферичний дворядний підшипник № 1310 ДЕРЖСТАНДАРТ 28428-90 з такою характеристикою:

$$D = 110 \text{ мм}$$

$$d = 50 \text{ мм}$$

$$B = 27 \text{ мм}$$

$$m = 1,21 \text{ кг}$$

Підшипники перевіряємо на динамічну вантажопідйомність:

$$C_{нотр} = P_e \cdot L^{0,3} = 5,05 \cdot 47,8^{0,3} = 16,11 \text{ кН}$$

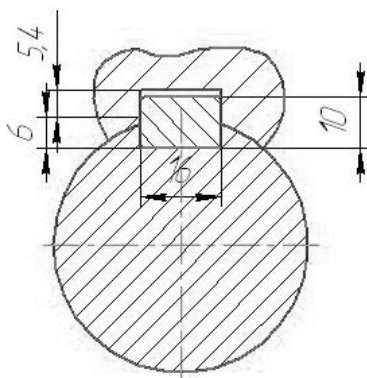


Рисунок 2.11 – Розріз вала
зі шпонкою

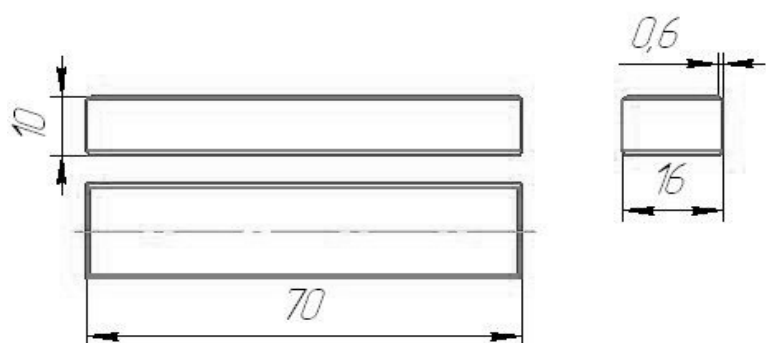


Рисунок 2.12 – Призматична шпонка 16×10×70
ДЕРЖСТАНДАРТ 23360-78

Розраховуємо еквівалентне навантаження на підшипник:

$$P_e = (x \cdot V \cdot P_p + y \cdot P_o) \cdot K_o \cdot K_m = (1,0 \cdot 1,0 \cdot 58000 + 0) \cdot 1,2 \cdot 1$$

$$P_e = 5050 \text{ Н} = 5,05 \text{ кН}$$

де $x = 1,0$, $y = 1,0$ – коефіцієнт перерахунку осьового й радіального навантаження; коефіцієнт обертання кільця підшипника

$P_p = 4209 \text{ Н}$ – радіальне навантаження на підшипник;

$P_o = 0 \text{ Н}$ – осьове навантаження на підшипник;

$V = 1,0$ – коефіцієнт обертання кільця підшипника

Визначаємо еквівалентне число мил. обертів за повний термін служби:

$$L = 60 \cdot 10^{-6} \cdot n \cdot L_h = 60 \cdot 10^{-6} \cdot 52 \cdot 15330 = 47,8 \text{ млн. про}$$

де L_h – повний розрахунковий термін служби;

$$L_h = Z_{\text{років}} \cdot 8760 \cdot K_o = 5 \cdot 8760 \cdot 0,35 = 15330 \text{ рік}$$

де $Z_{\text{років}}$ – кількість років служби підшипника (приймаємо приблизно – 5 років);

K_o – коефіцієнт використання, що залежить від кількості змін, при однозмінній роботі $K_o = 0,35$.

$n = 52 \text{ про/хв}$ – частота обертання вала.

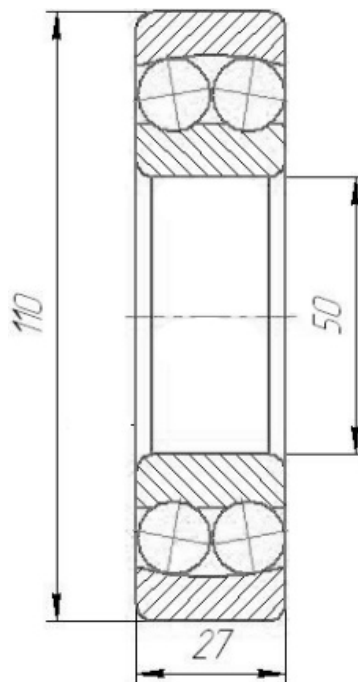


Рисунок 2.13 – Ескіз пошивника

РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вибір методу організації та проведення ремонту

Залежно від масштабів підприємства, типу виробництва та особливостей технологічного обладнання на підприємствах будівельної галузі застосовують централізований, децентралізований або змішаний метод організації ремонту. Вибір методу ремонту визначається видом обладнання, його складністю, потужністю, технічним станом, характером ремонтної бази, а також чисельністю та кваліфікацією ремонтного персоналу.

При централізованому методі всі роботи з технічного обслуговування, монтажу та ремонту обладнання виконуються силами ремонтно-механічного цеху. У виробничих підрозділах формуються ремонтні бригади, за якими закріплюються окремі групи обладнання для проведення технічного обслуговування і поточних ремонтів. Такий метод доцільно застосовувати на невеликих підприємствах або за наявності значної кількості однотипного обладнання.

Децентралізований метод передбачає виконання планових ремонтів і технічного обслуговування силами ремонтного персоналу виробничих цехів під керівництвом механіка цеху. При цьому ремонтно-механічний цех займається виготовленням запасних частин, спеціального оснащення, нестандартного обладнання, а також виконанням капітальних ремонтів складних агрегатів. Даний метод ефективний на підприємствах із великою кількістю різнорідного обладнання.

Змішаний метод поєднує елементи централізованого та децентралізованого способів організації ремонту. Поточне технічне обслуговування та дрібні ремонти здійснюються ремонтними бригадами виробничих цехів, а капітальні ремонти виконуються силами ремонтно-механічного цеху або спеціалізованих ремонтних організацій. Для ремонту бетононасоса доцільно застосовувати саме змішаний метод, оскільки він забезпечує скорочення простоїв обладнання та підвищує ефективність ремонтних робіт.

Для конкретного обладнання додатково обирають метод проведення ремонту, під яким розуміють форму організації виконання ремонтних операцій. Залежно від конструкції обладнання, наявності запасних частин та організації ремонтного виробництва використовують індивідуальний, знеособлений або змішаний метод ремонту.

Індивідуальний метод характеризується тим, що після ремонту всі деталі та вузли встановлюються на ту саму машину, з якої вони були демонтовані. Обладнання перебуває в ремонті до завершення відновлення всіх деталей. Такий метод супроводжується значною тривалістю простою та використовується переважно для унікального або спеціалізованого обладнання.

Знеособлений метод передбачає ремонт машин шляхом заміни вузлів та деталей на заздалегідь відремонтовані або нові елементи з оборотного фонду. Це дозволяє значно скоротити тривалість ремонту, знизити його вартість та підвищити продуктивність ремонтних робіт.

При змішаному методі застосовуються обидва попередні способи в різних співвідношеннях. Частина вузлів ремонтується індивідуально, а інша замінюється готовими агрегатами. Для ремонту бетононасоса найбільш доцільним є змішаний метод, який забезпечує оптимальне поєднання якості ремонту та скорочення часу простою обладнання.

3.2 Технологічний процес капітального ремонту бетононасоса

Технологічний процес капітального ремонту бетононасоса включає комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на відновлення працездатності обладнання та забезпечення його подальшої надійної експлуатації. До складу технологічного процесу входять розроблення послідовності виконання ремонтних операцій, підготовка технічної документації, визначення методів контролю та підбір необхідного оснащення.

Під час виконання капітального ремонту значну увагу приділяють підготовчим роботам, особливо у випадках, коли ремонт проводиться безпосередньо на місці експлуатації обладнання. До підготовчих заходів належать:

- складання та уточнення дефектної відомості;
- визначення потреби у запасних частинах і матеріалах;
- підготовка технічної документації;
- організація робочих місць;
- підбір інструменту, пристроїв і вантажопідіймального обладнання;
- планування послідовності виконання ремонтних робіт.

Перед початком розбирання бетононасос необхідно очистити від залишків бетонної суміші, пилу, мастила та інших забруднень. Якість розбірних робіт суттєво впливає на тривалість і ефективність ремонту, тому розбирання виконують у суворій послідовності відповідно до технологічної схеми.

У процесі ремонту машину поділяють на окремі конструктивні елементи: агрегати, вузли та деталі. Після демонтажу деталі очищують і піддають дефектації з метою визначення їх технічного стану. За результатами контролю деталі поділяють на:

- придатні до подальшої експлуатації;
- такі, що підлягають відновленню;
- непридатні до використання.

Основними причинами вибракування деталей є зношування, деформації, тріщини, корозія та механічні пошкодження. Контроль стану деталей здійснюють візуальним оглядом та за допомогою вимірального інструменту: штангенциркулів, мікрометрів, індикаторних приладів та інших засобів контролю.

Для виявлення тріщин можуть застосовуватися капілярний, магнітний, ультразвуковий та інші методи неруйнівного контролю. Одним із простих способів виявлення тріщин є керосиновий метод, при якому поверхню деталі змочують керосином, після чого наносять шар крейди. У місцях наявності тріщин керосин виступає на поверхню, утворюючи характерні плями.

Після дефектації виконують відновлення або заміну пошкоджених деталей. Складання вузлів і агрегатів здійснюють відповідно до технічної документації із забезпеченням необхідної точності та взаємозамінності деталей. Для ремонту бетононасоса доцільно застосовувати метод повної взаємозамінності, що дозволяє проводити складання без додаткового припасування деталей.

Після завершення складання проводять регулювання механізмів, перевірку роботи гідравлічної системи, випробування приводу та контроль герметичності трубопроводів. Відремонтований бетононасос проходить пробний запуск і комплексні випробування під навантаженням.

Для захисту металевих поверхонь від корозії після ремонту виконують фарбування обладнання. Перед нанесенням лакофарбового покриття поверхні очищують від старої фарби, окалини та іржі механічним або хімічним способом, після чого наносять ґрунтовку та захисне покриття.

Після завершення ремонту та випробувань обладнання комісія у складі головного механіка, представників ремонтної служби, служби охорони праці та виробничого підрозділу оформлює акт приймання обладнання в експлуатацію.

3.3 Розрахунок та розстановка робочої сили

Повна трудомісткість ремонтних робіт при виконанні капітального ремонту механічної частини машини визначається відповідно до ППР і СТОІР:

$$\sum Q_{\text{рем}} = 550 \text{ люд.-год.}$$

Якщо обладнання експлуатується на підприємстві понад 20 років, трудомісткість ремонту збільшується на 10 %.

Розподіл трудомісткості капітального ремонту за видами робіт визначається за формулою:

$$Q_{\text{сл}} = \cdot k_{\text{сл}} = 550 \cdot 0,6 = 330 \text{ люд.-год.}$$

де k – коефіцієнт, що враховує частку слюсарних робіт у загальній трудомісткості капітального ремонту машини, $k_{\text{сл}} = 58 \div 65$,

Розрахунок часу простою обладнання в ремонті:

$$n_o = \frac{Q_{\text{общ}}}{k_n \cdot \eta \cdot t_{\text{см}}} k_{\text{вр}} = \frac{550}{50 \cdot 1,15 \cdot 8 \cdot 2} 18 = 11,2$$

де k_n – коефіцієнт норми простою обладнання в ремонт;

$k_{\text{вр}}$ – норматив часу на одиницю коефіцієнта простою;

η – коефіцієнт перевиконання норм, $\eta = 1,15 \div 1,25$;

$t_{\text{см}}$ – тривалість зміни, $t_{\text{см}} = 8$ ч.

Таблиця 3.1 – Нормативи часу простою обладнання

Види робіт	Коефіцієнт норми простою	Норматив часу на одиницю коефіцієнта простою, год		
		1 зміна	2 зміна	3 зміна
КР	50	16	18	20

Розрахунок складу ремонтної бригади слюсарів

Чисельність ремонтного персоналу попередньо визначається на основі складу слюсарних бригад.

Необхідна кількість слюсарів розраховується за слюсарною трудомісткістю ремонтних робіт.

Слюсарна трудомісткість, яка повинна бути виконана протягом періоду ремонту без урахування вихідних і святкових днів, визначається:

$$Q_{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{сл}}}{n_o - c} k_M = \frac{330}{8,7} 0,9 = 34,1 \text{ люд.-год.}$$

де $Q_{\text{сл}}$ – слюсарна трудомісткість ремонту машини, що становить $58 \div 65\%$ від загальної трудомісткості, $Q_{\text{сл}} = 58 \div 65\% \text{ от } Q_{\text{общ}}$;

c – кількість вихідних і святкових днів за період ремонту; $c=2$.

k_M – коефіцієнт, який враховує метод проведення капітального ремонту.

Необхідна кількість розрядів у зміну визначається за формулою:

$$m = \frac{Q_{сл}}{S_{уд} \cdot \eta_n} = \frac{34,1}{2,3} = 15 \text{ розрядів};$$

де $S_{уд}$ – питома норма на одиницю розрядузряда, $S_{уд} = 2$.

$$m_1 = 15 \cdot 0,6 = 9; m_2 = 15 \cdot 0,4 = 6;$$

Розподіл розрядів за змінами:

$$m_1 = 15 \cdot 0,6 = 9$$

$$m_2 = 15 \cdot 0,4 = 6$$

На основі кількості розрядів у зміну та складності допоміжних слюсарних робіт формується ремонтна бригада. У більшості випадків чисельність ремонтної бригади в одну зміну повинна становити не менше 2 і не більше 10 працівників.

Отримані результати зводяться до таблиці.

Таблиця 3.2 – Склад ремонтної бригади

Змінність	Чисельність бригади, чол.	Кваліфікаційний склад бригади							Кількість одиниць розряду в зміні	Трудовісткість робіт	
		1	2	3	4	5	6	7		У змін у	За період ремонту
1	3	—	—	3	—	—	—	—	9	34,1	550
	2	—	1	—	1	—	—	—	6		

3.4 Технологія відновлення деталі

Розроблення технологічної карти ремонту деталі

1 Час заварювання шпонкових пазів (ІА, ІІА) ручним електрозварюванням:

$$T_{штІА} = \frac{60 \cdot Q_m}{a_n \cdot I_{зв}} \cdot K_q = \frac{60 \cdot 0,03}{0,008 \cdot 100} \cdot 1,5 \approx 3,37 \text{ (хв.)},$$

де $Q_m \approx 0,003$ кг – маса наплавленого металу з урахуванням втрат на угар;

$a_n = 0,008$ кг/(А• ч) – коефіцієнт наплавлення;

$I_{зв} = 100$ А – зварювальний струм;

$K_q = 1,5$ – коефіцієнт втрат часу на організаційно-технічне обслуговування.

$$T_{штІІА} = T_{штІА} = 3,37 \text{ (хв.)}.$$

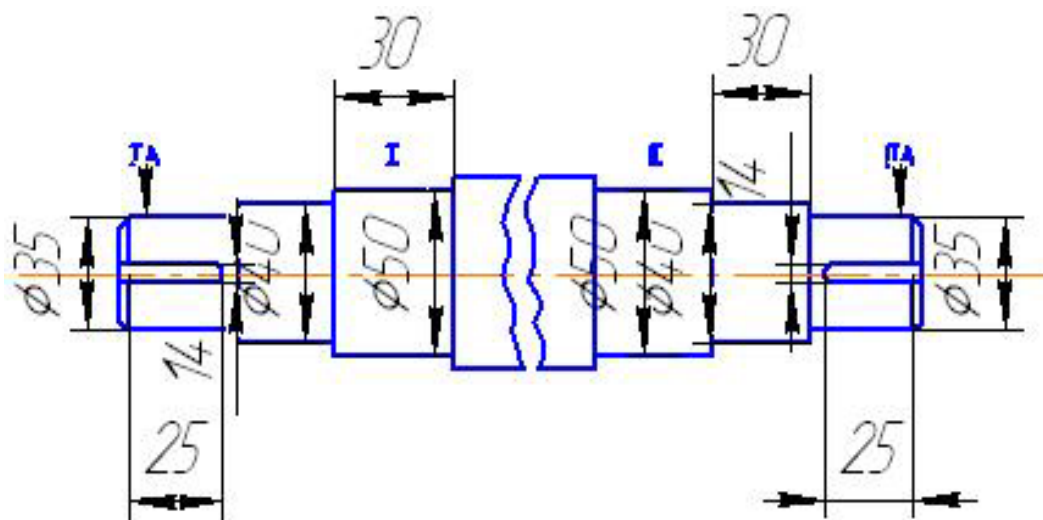


Рисунок 3.1 – Ескіз валу для відновлення

Таблиця 3.3 – Параметри відновлення валу

Параметри	Значення
Матеріал деталі	Сталь 10
Вид термообробки	Загартування ТВЧ
Вид робочого навантаження	Спокійне

Позиція за ескізом	Величина зносу на сторону, мм	Спосіб відновлення	Вид підготовки поверхні	Діаметр під відновлення, мм	Діаметр після відновлення, мм
I	0,5	Вібродугове наплавлення	Шліфування	Ø33,7	Ø39
ПА	0,4	Ручне зварювання	Ручне зачищення	—	—

Позиція за ескізом	Вид термічної обробки перед механічною	Номинальний розмір, мм	Розмір після токарної обробки, мм	Вид термообробки після відновлення	Вид обробки під номінальний розмір
I	—	Ø35	Ø35,2	Загартування ТВЧ	Шліфування Ø35±0,01
ПА	Відпуск	14	—	14	—

Загальний час зварювання:

$$T = T_{ум\text{IA-IIA}} \cdot K = (3,37 \cdot 2) \cdot 1,08 \approx 8,1 \text{ (хв.)}$$

де $K = 1,08$ – коефіцієнт підготовчо-завершального часу.

2. Час ручного зачищення шліфувальним кругом поверхонь наплавлення під шліфування:

$$T_{шт\text{IA}} = \frac{L \cdot h}{n \cdot C} = \frac{35 \cdot 1,0}{5 \cdot 3} \approx 2,3 \text{ (хв.)},$$

де $L = 35$ мм – довжина поверхні під шліфування;

$h = 1$ мм – припуск на обробку;

$n = 5$ – кількість проходів;

$C = 3$ мм

$$T = T_{ум\text{IA-IIA}} \cdot K = (2 \cdot 2) \cdot 1,08 \approx 4,32 \text{ (хв.)}$$

3. Час шліфування поверхонь валів перед відновленням:

$$T_{ум\text{I}} = \frac{L \cdot h \cdot K}{n_3 \cdot S \cdot t} \cdot K_q = \frac{70 \cdot 0,15 \cdot 1,08}{600 \cdot 0,05 \cdot 0,1} \cdot 1,5 \approx 5,67 \text{ (хв.)},$$

де $L = 70$ мм – довжина поздовжнього ходу шліфувального круга;

$h = 0,15$ мм – припуск на шліфування на сторону;

$K = 1,08$ – поправковий коефіцієнт на точність;

$n_3 = 600$ об/хв. – частота обертання заготовки;

$S = 0,05$ мм/об – поздовжня подача;

$k_q = 1,5$ – коефіцієнт втрат часу.

$t = 0,1$ мм/об – поперечна подача.

Загальний час:

$$T = T_{ум\text{I-II}} \cdot K = (5,67 \cdot 2) \cdot 1,08 \approx 12,25 \text{ (хв.)}$$

4. Час відновлення поверхонь (I, II) вібродуговим наплавленням. Роботу виконує зварник 4-го розряду.

$$T_{шт\text{I}} = \frac{60 \cdot Q_m}{d_n \cdot I_{CB}} \cdot K_B = \frac{60 \cdot 0,055}{0,008 \cdot 150} \cdot 1,5 = 4,125 \text{ хв.}$$

$$T_{шт\text{I-II}} = 4,125 \cdot 2 = 8,25 \text{ хв}$$

де Q_m – маса наплавленого металу з урахуванням втрат:

$$\begin{aligned} Q_m &= V \cdot \rho = (V_2 - V_1) \cdot \rho = [L \cdot (S_2 - S_1)] \cdot \rho = L \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho \cdot (d_2^2 - d_1^2) = \\ &= 0,03 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 7800 \cdot (0,0027 - 0,0024) = 0,055 \text{ кг} \end{aligned}$$

де $d_n = 0,008 \frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{год}}$ – коефіцієнт наплавлення;

$I_{CB} = 150$ А – зварювальний струм, А;

K_6 – коефіцієнт втрат часу на організаційно-технічне обслуговування,
 $K_6=1,5$.

5. Час загартування ТВЧ поверхонь (I, II):

$$T_{\text{шт}} = Q \cdot K_B / K = 2500 \cdot 1,2 / 100 = 30 \text{ (хв.)},$$

де $Q=2,5$ кг – маса деталі, що загартовується;

$K_B = 1,1 \dots 1,2$

$K=100$ – коефіцієнт приведення.

$$T = T_{\text{шт}} \cdot K = 30 \cdot 1,08 \approx 32,4 \text{ (хв.)}$$

6. Час виконання чорнкової токарної обробки поверхонь валів. Роботу виконує токар 4-го розряду..

$$T_{\text{штI}} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} \cdot k_B = \frac{45 \cdot 1}{300 \cdot 0,1} \cdot 1,5 = 2,25 \text{ хв}$$

$$T_{\text{штI-II}} = 2,25 \cdot 2 = 4,5 \text{ хв}$$

де $L=45$ мм – довжина оброблюваної поверхні;

$i=1$ – кількість проходів;

$n=300$ об/хв – частота обертання заготовки;

$S=0,1$ мм/об – подача;

$K_B=1,5$ – коефіцієнт втрат часу.

7. Час фрезерування шпонкових пазів:

$$T_{\text{штIA}} = \frac{L \cdot i}{S_m} \cdot K_{\text{ч}} = \frac{40 \cdot 1}{150} \cdot 1,5 \approx 0,4 \text{ (хв.)},$$

де $L = 40$ мм – довжина шляху, який проходить фреза в напрямку подачі;

$i = 1$ – кількість проходів фрези;

$S_m = 150$ мм/хв. – подача за хвилину.

$K_{\text{ч}}=1,5$ – коефіцієнт втрат часу.

Загальний час:

$$T = T_{\text{штIA-IIA}} \cdot K = (0,8) \cdot 1,08 \approx 0,86 \text{ (хв.)}$$

8. Час загартування ТВЧ поверхонь (I, II) після шліфування::

$$T_{\text{шт}} = Q \cdot K_B / K = 2500 \cdot 1,2 / 100 = 30 \text{ (мин.)},$$

де $Q=2,5$ кг – маса деталі, що загартовується;;

$K_B = 1,1 \dots 1,2$

$K=100$ – коефіцієнт приведення.

Загальний час:

$$T = T_{\text{шт}} \cdot K = 30 \cdot 1,08 \approx 32,4 \text{ (хв.)}$$

Таблиця 3.4 – Маршрутна карта відновлення поверхонь валу

№ дефекту	Найменування дефекту	№ операції	Назва та зміст операції	Обладнання	Приладдя	Розряд	Час, хв
I–II, IA–IIA	Зношення поверхонь валу	1	Зварювання шпонкових пазів	Зварювальний апарат	Обладнання для вібродугового наплавлення	IV	8,1
IA–IIA	Викривлення шпонкових пазів	2	Ручне зачищення	Затискний пристрій	Шліфувальний круг	IV	4,32
I–II	–	3	Шліфування перед відновленням	Шліфувальний верстат	Вимірювальний інструмент	IV	12,25
I–II	–	4	Наплавлення поверхонь	Зварювальний апарат	Обладнання для вібродугового наплавлення	IV	8,25
I–II	–	5	Загартування поверхонь	Установка ТВЧ	–	IV	32,4
I–II	–	6	Токарна чорнова обробка поверхонь	Токарний верстат типу 1К62	Вимірювальний інструмент	IV	4,5
IA–IIA	–	7	Фрезерування шпонкових пазів	Фрезерний верстат	Вимірювальний інструмент	IV	0,86
I–II	–	8	Загартування поверхонь	Установка ТВЧ у печах	ТВЧ	IV	32,4
I–II	–	9	Шліфування після загартування	Шліфувальний верстат	Вимірювальний інструмент	IV	0,64

9. Час шліфування поверхонь валів після загартування ТВЧ:

$$T_{\text{ШТИ}} = \frac{L \cdot n \cdot k}{n \cdot S \cdot t} \cdot k_B = \frac{70 \cdot 0,1 \cdot 1,2}{700 \cdot 0,1 \cdot 0,5} \cdot 1,3 = 0,32 \text{ хв}$$

$$T_{\text{ШТИ-II}} = 0,32 \cdot 2 = 0,64 \text{ хв}$$

де: L=70 мм – довжина шліфування;

h=0,1 мм – припуск на обробку;

K=1,2 – поправковий коефіцієнт;

n=700 об/хв – частота обертання заготовки;

S=0,1 мм/об – поздовжня подача;

t=0,5 мм/об – поперечна подача;

Kв=1,3 – коефіцієнт втрат часу.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації бетононасоса для проведення відновлювальних робіт на персонал можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з роботою механічного, електричного та гідравлічного обладнання.

Основними небезпечними факторами є:

- рухомі частини механізмів бетононасоса;
- підвищений тиск у бетоноводі;
- можливість розриву трубопроводів при закупорюванні бетонною сумішшю;
- ураження електричним струмом;
- падіння працівників під час виконання робіт на висоті;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- запиленість повітря цементним пилом;
- можливість травмування при очищенні бетоноводу.

Під час подачі бетонної суміші можливе утворення пробок у трубопроводі, що призводить до різкого підвищення тиску. У разі порушення герметичності з'єднань бетоноводу виникає небезпека викиду бетонної суміші під тиском.

До шкідливих виробничих факторів належать:

- шум від роботи електродвигуна та гідроприводу;
- вібрації, що передаються на робочі органи обладнання;
- підвищена запиленість робочої зони;
- несприятливі метеорологічні умови при виконанні зовнішніх робіт;
- значні фізичні навантаження під час монтажу та демонтажу бетоноводів.

Для зниження негативного впливу зазначених факторів необхідно застосовувати засоби колективного та індивідуального захисту, а також дотримуватись вимог нормативних документів з охорони праці.

4.2 Забезпечення виробничої безпеки під час експлуатації бетононасосного обладнання

Безпечна експлуатація бетононасосного обладнання забезпечується виконанням організаційних і технічних заходів.

До роботи допускаються особи, які:

- пройшли медичний огляд;
- пройшли вступний та первинний інструктажі з охорони праці;

- мають відповідну кваліфікацію;
- ознайомлені з правилами експлуатації обладнання.

Перед початком роботи необхідно:

- перевірити технічний стан бетононасоса;
- оглянути бетоноводи, з'єднання та ущільнення;
- перевірити справність заземлення;
- перевірити роботу запобіжних клапанів та контрольно-вимірювальних приладів;
- переконатися у відсутності сторонніх предметів у приймальному бункері.

Під час роботи забороняється:

- перебувати поблизу бетоноводу під час усунення закупорювання;
- виконувати ремонт при працюючому обладнанні;
- перевищувати допустимий робочий тиск;
- очищувати механізми без їх повної зупинки.

Для захисту працівників необхідно використовувати:

- спецодяг;
- захисні окуляри;
- рукавиці;
- захисне взуття;
- засоби захисту органів слуху.

Робоче місце повинно бути забезпечене достатнім освітленням, а проходи – залишатися вільними від сторонніх предметів та залишків бетонної суміші.

4.3 Забезпечення пожежної безпеки об'єкта

Пожежна безпека виробничих приміщень забезпечується відповідно до вимог:

- Закону України «Про охорону праці»;
- Закону України «Про пожежну безпеку»;
- ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»;
- Правил пожежної безпеки в Україні.

Основними причинами виникнення пожеж під час експлуатації бетононасосного обладнання можуть бути:

- коротке замикання електрообладнання;
- перевантаження електромережі;
- несправність електродвигунів;
- порушення правил експлуатації обладнання;

– використання відкритого вогню поблизу легкозаймистих матеріалів.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно:

- обладнати приміщення первинними засобами пожежогасіння;
- забезпечити вільний доступ до евакуаційних виходів;
- проводити регулярну перевірку електрообладнання;
- не допускати накопичення пилу та горючих матеріалів;
- проводити інструктажі з пожежної безпеки.

На робочих місцях повинні бути встановлені вогнегасники порошкового або вуглекислотного типу, а також схеми евакуації персоналу.

4.4 Дії персоналу при аварійних ситуаціях

У разі виникнення аварійної ситуації працівники повинні негайно:

1. Зупинити роботу обладнання.
2. Відключити електроживлення.
3. Повідомити керівника робіт.
4. Вивести людей із небезпечної зони.
5. У разі необхідності викликати аварійні служби.

При розриві бетоноводу необхідно:

- знизити тиск у системі;
- припинити подачу бетонної суміші;
- огородити небезпечну ділянку;
- виконувати ремонт тільки після повного скидання тиску.

У випадку ураження працівника електричним струмом необхідно:

- негайно відключити електроживлення;
- звільнити потерпілого від дії струму;
- надати першу домедичну допомогу;
- викликати швидку медичну допомогу.

У разі виникнення пожежі необхідно:

- повідомити пожежну службу;
- використати первинні засоби пожежогасіння;
- організувати евакуацію персоналу;
- діяти відповідно до плану ліквідації аварійної ситуації.

4.5 Заходи з охорони навколишнього середовища

Під час експлуатації бетононасосного обладнання необхідно забезпечити мінімальний вплив на навколишнє середовище.

Основними джерелами негативного впливу є:

- цементний пил;
- шум і вібрація;
- залишки бетонної суміші;
- мастильні матеріали та технічні рідини.

Для зменшення негативного впливу необхідно:

- використовувати герметичні системи транспортування суміші;
- своєчасно очищати робочу зону;
- збирати та утилізувати залишки бетонної суміші;
- контролювати рівень шуму та вібрації;
- не допускати витоків мастил і пального;
- здійснювати очищення стічних вод після промивання бетоноводів.

Виробничі відходи повинні збиратися у спеціальні контейнери та передаватися на утилізацію відповідно до вимог екологічного законодавства України.

4.6 Виробнича санітарія

Аналіз шкідливих виробничих факторів та заходи захисту працівників від шуму і вібрації (ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму», ДСН 3.3.6.039–99 «Санітарні норми виробничої вібрації»)

Під час виконання бетонувальних робіт основними джерелами шуму та вібрації є компресорне обладнання і бетононасос. Робота цих механізмів супроводжується підвищеним акустичним навантаженням на персонал, що негативно впливає на фізіологічний стан працівників та ефективність їхньої праці.

Тривалий вплив шуму високої інтенсивності може призвести до зниження слухової чутливості, підвищення артеріального тиску, погіршення концентрації уваги, порушення координації рухів та швидкої втомлюваності. Встановлено, що збільшення рівня шуму від 76 до 95 дБ спричиняє зниження продуктивності фізичної праці приблизно на 20–22 %, а розумової – більш ніж на 40 %.

Вібраційні навантаження також негативно впливають на організм людини. Їх тривала дія може викликати функціональні порушення нервової, серцево-судинної та опорно-рухової систем, а у важких випадках – часткову або повну втрату працездатності.

Для зменшення рівня шуму необхідно передбачати заходи безпосередньо в джерелах його виникнення. Значного зниження шумового навантаження можна досягти шляхом якісного монтажу обладнання, динамічного балансування

рухомих вузлів, своєчасного технічного обслуговування та проведення планово-попереджувальних ремонтів.

Зниження поширення шуму у виробничому середовищі забезпечується застосуванням звукоізоляційних і звукопоглинальних конструкцій: захисних кожухів, екранів, перегородок, перекриттів та інших інженерних рішень. Для індивідуального захисту працівників необхідно використовувати протишумові навушники або вкладиші. Крім того, на будівельному майданчику доцільно організувати систему світлової та сигнальної комунікації між працівниками.

Для зниження впливу вібрації необхідно застосовувати віброізоляційні засоби, які зменшують передачу коливань від обладнання до робочого місця. З цією метою рекомендується використовувати гумові або прогумовані настили, амортизувальні опори та спеціальні віброізолятори.

Метеорологічні умови виробничого середовища (ДСН 3.3.6.042–99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»)

Мікроклімат виробничого середовища характеризується температурою повітря, його відносною вологістю, швидкістю руху повітря та атмосферним тиском. Сукупний вплив цих факторів визначає тепловий стан організму працівника та безпосередньо впливає на його працездатність.

Несприятливе поєднання параметрів мікроклімату може викликати підвищення частоти дихання і пульсу, зміни артеріального тиску, перенапруження нервової системи та збільшення енерговитрат організму на терморегуляцію. Це, у свою чергу, призводить до зниження продуктивності праці та швидкої втомлюваності працівників.

Комплексна оцінка стану мікроклімату здійснюється за показником еквівалентно-ефективної температури.

Роботи, що виконуються під час експлуатації бетононасоса, належать до категорії середньої важкості (категорія Пб), оскільки пов'язані з переміщенням працівників і перенесенням вантажів масою до 10 кг. Енерговитрати при цьому становлять 232–293 Дж/с (200–250 ккал/год).

У теплий період року температура повітря у виробничому приміщенні становить 16–25 °С, відносна вологість — 30–70 %, а швидкість руху повітря — близько 0,2 м/с. Такі параметри відповідають вимогам чинних санітарних норм.

У холодний період року нормативні параметри мікроклімату підтримуються за рахунок систем опалення та примусової вентиляції виробничих приміщень.

4.7 Розрахунок заземлення

Захисне заземлення є важливим елементом електробезпеки, від правильності виконання якого залежить безпечна експлуатація електрообладнання та захист обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом.

Усі металеві частини бетононасоса, які в нормальних умовах не перебувають під напругою, але можуть опинитися під нею внаслідок пошкодження ізоляції або аварійного режиму роботи, повинні бути надійно заземлені.

У даному проєкті передбачено виконання повторного заземлення нульового проводу із застосуванням штучного заземлювального контуру, виконаного вертикальними електродами.

Принцип дії захисного заземлення полягає у зниженні напруги дотику до безпечного для людини рівня у випадку замикання фази на корпус обладнання. Це забезпечує відведення струму замикання в землю та сприяє спрацюванню захисної апаратури, що підвищує рівень електробезпеки під час експлуатації бетононасоса.

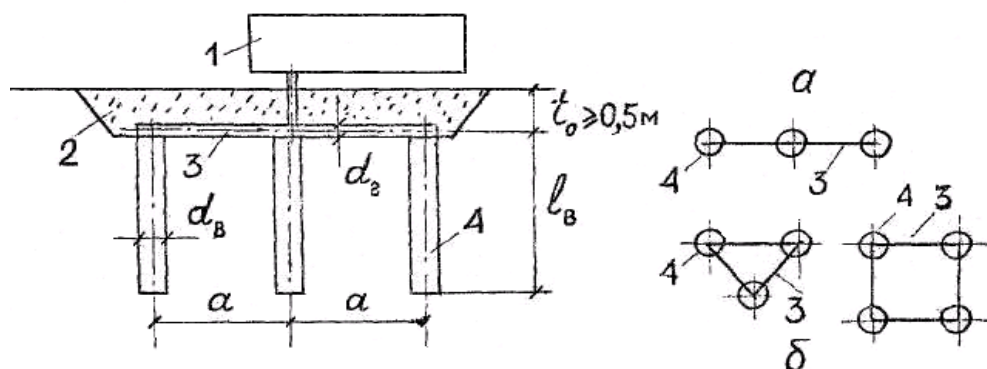


Рисунок 4.1 – Конструкція заземлення, розташування і розміри електродів

а – розташування вертикальних електродів в ряд; б – розташування вертикальних електродів по контуру; 1 – заземлена електроустановка; 2 – котлован (траншея) для занурення електродів; 3 – горизонтальний електрод; 4 – вертикальний електрод.

Величина максимального повторного заземлення дорівнює $R = 10 \text{ Ом}$

Вихідні данні:

$R_3 = 10 \text{ Ом}$, $\rho = 400 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $L_B = 2,4 \text{ м}$, $d_B = 0,02 \text{ м}$.

Опір розтікання струму одного вертикального електроду розраховуємо за формулою. $R_B^! = 0,366 \cdot \frac{\rho}{l_B} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l_B}{d} + 0,5 \cdot \lg \frac{4t + l_B}{4t - l_B} \right) = 0,366 \cdot \frac{400}{2,4} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 2,4}{0,02} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 1,9 + 2,4}{4 \cdot 1,9 - 2,4} \right) = 42,5 \text{ Ом},$

де l_B – довжина електроду, м;

d_B – діаметр електрода, м;

ρ – опір ґрунту, Ом·м;

t – глибина середньої точки залягання вертикального електроду:

$$t = t_0 + \frac{l_B}{2} = 0,7 + \frac{2,4}{2} = 1,9 \text{ м};$$

Розрахуємо опір розтікання струму з урахуванням коефіцієнту використання електродів.

$$R_B = \frac{R_B^!}{n \cdot \eta_B} = \frac{42,5}{10 \cdot 0,91} = 4,6 \text{ Ом};$$

де n – кількість вертикальних електродів, які розташовані в ряд,

η – коефіцієнт використання вертикальних електродів.

Довжину горизонтального електрода l_r , розраховуємо при розташуванні вертикальних електродів в ряд, згідно з формулою.

$$l_r = 1,05 \cdot (n - 1) \cdot a = 1,05 \cdot (5 - 1) = 4,2 \text{ м}$$

Опір розтікання струму горизонтального електроду розраховуємо за формулою:

$$R_r^! = \frac{\rho}{l_r} \cdot \lg \frac{l_r^2}{d_r \cdot t_0} = \frac{400}{4,2} \cdot \lg \frac{4,2^2}{0,02 \cdot 0,7} = 67,6 \text{ Ом}$$

Розрахуємо опір розтікання струму з урахуванням коефіцієнту використання горизонтального електрода, ($\eta_r=0,75$)

$$R_r = \frac{R_r^!}{\eta_r} = \frac{67,6}{0,75} = 90 \text{ Ом}$$

Розрахуємо сумарний опір заземлення:

$$R_3^Z = \frac{R_B \cdot R_r}{R_B + R_r} = \frac{4,6 \cdot 9}{4,6 + 9} = 30 \text{ Ом}$$

Так, як вимога $R_3 \leq 10$ виконується, дане заземлення за своїми характеристиками нас задовольняє.

4.8 Технічні та організаційні заходи безпеки під час експлуатації двопоршневого бетононасоса (ДБН В.1.1-7-2002)

Під час виконання бетонувальних робіт необхідно дотримуватись вимог охорони праці та правил безпечної експлуатації обладнання відповідно до ДСТУ

ГОСТ 12.2.061:2009 Система стандартів безпеки праці. Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць. Виконання цих вимог забезпечує безпечні умови праці, попередження виробничого травматизму та надійну роботу двопоршневого бетононасоса.

До експлуатації, технічного обслуговування та ремонту обладнання допускаються лише працівники відповідної кваліфікації, які пройшли інструктаж з охорони праці та ознайомлені з правилами роботи з електроустановками й приводними механізмами.

Робоче місце повинно утримуватись у чистоті та бути забезпеченим достатнім освітленням. Освітленість робочої зони має становити не менше 40 лк. Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати допустимі санітарні норми – 80 дБ.

Для забезпечення електробезпеки рама установки, корпус електродвигуна та пульт керування підлягають обов'язковому заземленню. Під час проведення ремонтних або профілактичних робіт обладнання необхідно відключати від електромережі, а на пускових пристроях вивішувати попереджувальний напис: «Не вмикати – працюють люди!».

У процесі експлуатації необхідно постійно контролювати технічний стан електрообладнання, кабельних ліній та електропроводки, не допускаючи механічних пошкоджень та порушення ізоляції. У разі появи підвищеної вібрації, сторонніх шумів або інших ознак несправності роботу обладнання слід негайно припинити до повного усунення причин несправності.

Під час роботи з електроінструментом необхідно використовувати тільки справний і перевірений інструмент, а також засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавиці, гумові калоші, ізолювальні підставки та гумові килимки.

Категорично забороняється:

- розпочинати або продовжувати роботу при наявності несправностей обладнання;
- експлуатувати установку зі знятими або пошкодженими захисними огороженнями;
- виконувати ремонтні, монтажні чи демонтажні роботи без відключення обладнання від електромережі;
- допускати до роботи осіб, які не мають відповідного дозволу або кваліфікації;
- здійснювати регулювання, підтягування болтових з'єднань чи ремонт під час роботи обладнання;
- захаращувати робочу зону сторонніми предметами;
- самовільно вносити зміни до аварійних або блокувальних пристроїв.

До експлуатації допускаються лише технічно справні машини, що відповідають вимогам нормативних документів з охорони праці.

4.9 Визначення ступеня вогнестійкості будівлі та категорії вибухопожежної небезпеки (ДБН В.1.1-7:2002, ДБН В.2.2-15-2005)

Під час проєктування виробничих приміщень та організації бетонувальних робіт необхідно враховувати можливість виникнення пожежі, а також умови її поширення. Імовірність виникнення пожежі визначається особливостями технологічного процесу, характеристиками використовуваних матеріалів та конструктивно-планувальними рішеннями будівлі.

Відповідно до норм пожежної безпеки всі виробництва та складські приміщення поділяються на категорії А, Б, В, Г та Д залежно від вибухопожежної небезпеки. Бетонні роботи належать до категорії Д, оскільки пов'язані з використанням негорючих матеріалів у холодному стані.

Для виробництв категорії Д приймається IV ступінь вогнестійкості будівлі з межею вогнестійкості основних конструкцій не менше 2 годин.

Відповідно до вимог пожежної безпеки для приміщень об'ємом до 5000 м³ витрата води на зовнішнє пожежогасіння повинна становити 15 л/с. Кількість пожежних кранів визначається виходячи з нормативної витрати води 2,5 л/с на один кран. У даному випадку передбачається встановлення 7 пожежних кранів.

Для забезпечення пожежної безпеки приміщення повинні бути оснащені первинними засобами пожежогасіння, системами оповіщення та евакуації, а персонал зобов'язаний проходити інструктажі щодо дій у разі виникнення пожежі.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи було проведено аналіз існуючих конструкцій бетононасосів, визначено їх переваги та недоліки при транспортуванні малорухомих бетонних сумішей.

Обґрунтовано доцільність використання двопоршневого бетононасоса з горизонтальним розташуванням циліндрів, прямоточним завантаженням і тарілчастими клапанами. Запропонована конструкція дозволяє покращити умови всмоктування бетонної суміші, зменшити гідравлічні втрати та підвищити надійність роботи обладнання.

У роботі виконано розрахунок основних параметрів насоса, продуктивності, потужності приводу та параметрів системи подачі бетонної суміші. Також розглянуто конструкцію пристрою примусового завантаження, що забезпечує стабільну подачу малорухомих сумішей.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці, електро- та пожежної безпеки під час експлуатації обладнання. Запропоновано комплекс заходів щодо зниження впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів та забезпечення безпечних умов праці.

Отримані результати можуть бути використані під час проєктування та модернізації бетононасосів для виконання відновлювальних і торкретувальних робіт у будівництві.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Співаковський О. О. Підйомно-транспортні машини : підручник / О. О. Співаковський, В. К. Дьячков. – Київ : Вища школа, 2004. – 520 с.
2. Гевко Б. М. Транспортуючі машини : навч. посіб. / Б. М. Гевко. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 356 с.
3. Волков Д. П. Будівельні машини : підручник / Д. П. Волков, В. Я. Крижанівський. – Київ : Вища школа, 2006. – 463 с.
4. Mott R. L. Machine Elements in Mechanical Design / R. L. Mott. – 6th ed. – Boston : Pearson Education, 2018. – 912 p.
5. ДСТУ ISO 12100:2014. Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Оцінка ризику та зниження ризику. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 74 с.
6. Дереза О. О. Машини безперервного транспорту : навч. посіб. / О. О. Дереза. – Мелітополь : ТДАТУ, 2016. – 108 с.
7. Kulwiec R. A. Materials Handling Handbook / R. A. Kulwiec. – New York : Wiley, 1985. – 1152 p.
8. ISO 12100:2010. Safety of Machinery – General Principles for Design – Risk Assessment and Risk Reduction. – Geneva : ISO, 2010.
9. Volkov D. Construction Machinery and Equipment / D. Volkov, M. Sukach. – Kyiv : KNUBA, 2019. – 412 p.
10. Машини для виробництва будівельних матеріалів і виробів : підручник / за ред. П. М. Назаренка. – Київ : Вища школа, 2011. – 590 с.
11. Баладінський В. Г. Підйомно-транспортні, будівельні та дорожні машини : навч. посіб. / В. Г. Баладінський, І. С. Петренко. – Полтава : ПолтНТУ, 2015. – 463 с.
12. ДСТУ Б В.2.7-96:2000. Бетони. Технічні умови. – Київ : Держбуд України, 2000.
13. Peurifoy R. L. Construction Equipment and Methods / R. L. Peurifoy. – 8th ed. – New York : McGraw-Hill Education, 2018. – 768 p.
14. Будівельні машини : підручник / О. В. Коваленко. – Харків : ХНУБА, 2017. – 412 с.
15. Putzmeister Concrete Pumps. Technical Catalogue. – Germany : Putzmeister Holding GmbH, 2022.
16. Оніщенко В. О. Високоєфективні технології та комплексні конструкції в промисловому й цивільному будівництві : монографія / В. О. Оніщенко, О. Г. Оніщенко, С. Ф. Пічугін та ін. – Полтава : ТОВ «АСМІ», 2011. – 520 с.

17. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – Київ : Мінрегіон України, 2017.
18. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – Київ : МОЗ України, 1999.
19. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. – Київ : МОЗ України, 1999.
20. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – Київ : МОЗ України, 1999.
21. ДБН В.2.2-15-2005. Житлові будинки. Основні положення. – Київ : Держбуд України, 2005.
22. S5 EV-TM Grout Pump [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [Machines4U](#) (дата звернення: 24.05.2026).
23. Бетононасос Putzmeister BSA 1005 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [Hydromarket – Putzmeister BSA 1005](#) (дата звернення: 24.05.2026).
24. Стаціонарні бетононасоси SP 2800 D SCHWING-Stetter [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [Hydromarket – SCHWING SP 2800 D](#) (дата звернення: 24.05.2026).
25. Стаціонарний бетононасос CIFA PC 307 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [Hydromarket – CIFA PC 307](#) (дата звернення: 04.06.2026).
26. Кузьмін О. В. Деталі машин : підручник / О. В. Кузьмін, М. М. Жалдак. – Львів : Новий Світ-2000, 2014. – 428 с.
27. Соколов Г. К. Технологічне обладнання підприємств будівельної індустрії : навч. посіб. / Г. К. Соколов. – Київ : КНУБА, 2012. – 340 с.
28. Бондаренко Л. І. Основи охорони праці : підручник / Л. І. Бондаренко, В. В. Жидецький. – Львів : Афіша, 2014. – 320 с.
29. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник / В. Ц. Жидецький. – Львів : УАД, 2018. – 336 с.