

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 ***Сисема подачі та укладання бетонної суміші із***
застосуванням поришеного бетононасу

Виконав: здобувач вищої освіти
4 курсу, групи ГМ 2022-1
напряму підготовки (спеціальності)
133 «Галузеве машинобудування»

Бабай Сергій Іванович
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. доц. Володимир БЛАЖКО
(прізвище та ініціали, наук. ступ., вч. звання)

Рецензент к.т.н. доц. Леонід САЄНКО
(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

Завідувач кафедри АКТ

БАРАНОВ О.О.

“18” червня 2026 року

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

Бабай Сергій Іванович

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

1. Тема роботи «Сисема подачі та укладання бетонної суміші із застосуванням поршневого бетононасоса» затверджені наказом університету від « 22» 05 2026 року № 440-03

Керівник роботи канд. техн. наук., доцент Блажко Володимир Володимирович

2. Строк подання роботи здобувачем вищої освіти «19» червня 2026 р.

3. Вихідні дані: Двопоршневий бетононасос БН-65; річна продуктивність системи, м³/рік – 30000, продуктивність бетононасоса, м³/год: технічна – 20...57; розрахункова – 30, максимальний тиск на бетонну суміш, МПа – 6, рухливість бетонної суміші, см – 4...12, максимальний розмір крупного заповнювача, мм – 40, об'єм приймального бункера, м³ – 0,4, довжина бетонопроводу, м – 120, внутрішній діаметр бетонопроводу, мм – 125, потужність приводу бетононасоса, кВт – 90, кількість робочих змін – 2, тривалість зміни, год – 8, кількість обслуговуючого персоналу, осіб – 2

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Провести огляд існуючих конструкцій бетононасосів, дослідивши їх основні техніко-економічні показники роботи. Виконати кінематичний та силовий розрахунок основних елементів рпивоу та елементів робочого органу. Розглянути питання правил своєчасного обслуговування та безпечної експлуатації насосу.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Загальний вигляд насосу БН65 (А-1); Касетна установка (А-1) Збиральне креслення приводного гідроциліндра (А-2); Схемаавтоматизації технологічної лінії (А-2) Креслення деталей (А1); Технологічна схема виробництва ЗБВ (А-1).

Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз проблеми	Керівник КРБ		
Основна частина	Керівник КРБ		
Спеціальний розділ	Керівник КРБ		
Охорона праці	Рогозін Анатолій Сергійович (кафедра ОПтаБЖ)		

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

Керівник



Блажко Володимир

Завдання прийняв до виконання



Бабай Сергій

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання розділів	Примітка
1	Розробка 1го розділу випускної роботи	25.05- 30.05	
2	Розробка 2го розділу випускної роботи	30.05 – 07.06	
3	Розробка 3го розділу випускної роботи	07.06 – 12.06	
4	Нормоконтроль	15.06 – 17.06	
5	Рецензування випускної роботи	17.06 – 19.06	
6	Захист ВКРБ	20.06 – 15.06	

Здобувача вищої освіти



Бабай Сергій

Керівник



Блажко Володимир

Реферат

У випускній кваліфікаційній роботі розглянуто систему подачі та укладання бетонної суміші із застосуванням поршневого бетононасоса БН-65. Досліджено конструкцію, принцип роботи та особливості експлуатації бетононасоса в умовах виконання бетонних робіт. Розроблено модернізовану конструкцію бетонотранспортного поршня з розрізними ущільнювальними кільцями, що дозволяє підвищити герметичність робочої камери, зменшити втрати бетонної суміші та збільшити ресурс роботи обладнання.

У роботі виконано розрахунок продуктивності бетононасоса, параметрів бетонопроводу, гідроциліндра приводу та модернізованого поршневого вузла. Розроблено технологію ремонту бетононасоса БН-65, визначено чисельність ремонтного персоналу та запропоновано технологію відновлення штока гідроциліндра методом вібродугового наплавлення. Також розглянуто питання охорони праці, виконано розрахунок штучного освітлення виробничого приміщення та розрахунок захисного заземлення обладнання.

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Випускна кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків та переліку використаних джерел. Повний обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра становить _____ сторінок, у тому числі: _____ рисунків; _____ таблиць; _____ додатків на _____ сторінках; перелік використаних джерел із 30 найменувань на _____ сторінках.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БЕТОНОНАСОС, БЕТОННА СУМІШ, БЕТОНОПРОВІД, ПОРШЕНЬ, ГІДРОЦИЛІНДР, ГІДРОПРИВІД, УЩІЛЬНЮВАЛЬНЕ КІЛЬЦЕ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, РЕМОНТ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ABSTRACT

The bachelor's qualification thesis considers a system for concrete mixture delivery and placement using the BN-65 piston concrete pump. The design, operating principle, and specific features of the concrete pump operation under concrete construction conditions are investigated. A modernized design of a concrete delivery piston equipped with split sealing rings has been developed, which improves the sealing of the working chamber, reduces concrete mixture losses, and increases the service life of the equipment.

The thesis includes calculations of the concrete pump capacity, concrete pipeline parameters, hydraulic cylinder characteristics, and the modernized piston assembly. A maintenance and repair procedure for the BN-65 concrete pump has been developed, the required number of maintenance personnel has been determined, and a technology for restoring the hydraulic cylinder rod by means of vibration arc surfacing has been proposed. Occupational safety issues are also addressed, including the calculation of artificial lighting for the production area and the design of the equipment protective grounding system.

Structure and scope of the bachelor's qualification thesis. The bachelor's qualification thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, appendices, and a list of references. The total volume of the thesis is _____ pages, including: _____ figures; _____ tables; _____ appendices comprising _____ pages; and a list of references containing 30 sources on _____ pages.

KEYWORDS: CONCRETE PUMP, CONCRETE MIXTURE, CONCRETE PIPELINE, PISTON, HYDRAULIC CYLINDER, HYDRAULIC DRIVE, SEALING RING, PRODUCTIVITY, MAINTENANCE, EFFICIENCY.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Аналіз проблеми	9
1.1. Призначення та основні властивості стінових панелей	11
1.2. Вибір сировинних матеріалів	11
1.3. Розробка технологічної схеми	12
1.4. Опис технологічної схеми	13
1.5. Вибір процесів та обладнання	14
2. Основна частина	18
2.1. Аналіз недоліків і пропозиції з їх удосконалення	19
2.2. Технічний опис об'єкта проектування	20
2.2.1. Технічна характеристика системи подачі бетонної суміші	22
2.2.2. Конструкційні особливості линии	23
2.2.3. Робота лінії	24
2.2.4. Гідравлічна система бетононасоса	25
2.2.5. Технічна характеристика та будова бетононасоса	26
2.2.6. Аналіз існуючих конструкцій поршнів бетононасосів та обґрунтування модернізації	28
2.3. Розрахунок параметрів проектуємого обладнання	30
3. Спеціальний розділ	40
3.1. Вибір методу організації та проведення ремонту поршневого бетононасоса БН-65	41
3.2. Розрахунок та розстановка ремонтного персоналу під час капітального ремонту бетононасоса БН-65	42
3.3 Розробка технологічного процесу проведення ремонту бетононасоса БН-65	45
3.4 Розробка технології відновлення штока гідроциліндра бетононасоса	48
3.5 Технічне обслуговування та карта змащення бетононасоса	50

4. Охорона праці	54
4.1 Загальна характеристика умов праці під час експлуатації бетононасоса БН-65	55
4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	55
4.3 Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці	56
4.4 Розрахунок штучного освітлення виробничого приміщення	57
4.5 Розрахунок захисного заземлення обладнання	58
Висновки	61
Список використаної літератури	63

ВСТУП

Сучасний розвиток будівельної галузі супроводжується широким впровадженням високопродуктивного обладнання, що забезпечує механізацію трудомістких процесів та підвищення якості виконання будівельно-монтажних робіт. Одним із найбільш важливих етапів зведення монолітних і збірно-монолітних конструкцій є транспортування та укладання бетонної суміші до місця виконання робіт.

Ефективне вирішення зазначених завдань значною мірою залежить від застосування сучасних бетононасосних установок, які дозволяють здійснювати подачу бетонної суміші на значні відстані як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямках. Використання поршневих бетононасосів забезпечує безперервність технологічного процесу, скорочує витрати ручної праці, зменшує тривалість бетонних робіт та сприяє підвищенню продуктивності будівництва.

Особливого значення набуває вдосконалення систем подачі бетонної суміші, оскільки від їх надійності та технічних характеристик залежить стабільність роботи всього виробничого комплексу. Зростання вимог до якості бетонування та темпів виконання робіт обумовлює необхідність розроблення ефективних технічних рішень щодо підвищення продуктивності та експлуатаційної надійності бетононасосного обладнання.

Об'єктом дослідження в даній кваліфікаційній роботі є система подачі та укладання бетонної суміші із застосуванням поршневого бетононасоса.

Предметом дослідження виступають конструктивні та експлуатаційні параметри поршневого бетононасоса, а також технологічні процеси транспортування й укладання бетонної суміші.

У роботі виконано аналіз існуючих способів подачі бетонної суміші, розглянуто конструкцію та принцип дії поршневого бетононасоса, проведено розрахунок основних параметрів його робочих органів і приводу. Також розроблено технічні рішення, спрямовані на підвищення ефективності

функціонування системи подачі бетону та покращення експлуатаційних показників обладнання.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання отриманих результатів під час проєктування та модернізації бетононасосних установок, що застосовуються на підприємствах будівельної індустрії та будівельних майданчиках різного призначення.

1. Аналіз проблеми

У сучасному виробництві залізобетонних конструкцій важливе значення має забезпечення безперервної та своєчасної подачі бетонної суміші до місця формування виробів. Ефективність роботи технологічних ліній значною мірою залежить від надійності транспортного обладнання та раціональної організації процесу бетонування.

Для транспортування бетонної суміші на підприємствах будівельної індустрії використовуються різні технічні засоби, серед яких особливе місце займають бетононасоси. Застосування поршневих бетононасосів дозволяє здійснювати подачу бетонної суміші по трубопроводах безпосередньо до місця укладання, забезпечуючи необхідну продуктивність та рівномірність завантаження форм.

Система подачі бетонної суміші включає приймальний бункер, насосне обладнання, бетонопровід та пристрої розподілу суміші. Основним елементом системи є поршковий бетононасос, робота якого базується на циклічному переміщенні бетонної суміші робочими поршнями під дією гідравлічного приводу.

Технологічний процес передбачає приймання готової бетонної суміші з бетоносумішувального вузла, її подачу до приймального бункера насоса та подальше транспортування трубопроводом до місця укладання. Під час роботи забезпечується безперервність потоку бетонної суміші, що позитивно впливає на якість формування виробів та скорочує тривалість виробничого циклу.

Для отримання якісної бетонної суміші використовують портландцемент, дрібні та крупні заповнювачі, воду і за необхідності спеціальні хімічні добавки. Склад суміші підбирається таким чином, щоб забезпечити її необхідну рухливість та можливість транспортування через бетонопровід без розшарування та втрати однорідності.

Використання поршкових бетононасосів дозволяє значно скоротити витрати ручної праці, підвищити продуктивність технологічної лінії та забезпечити стабільне постачання бетонної суміші до робочої зони. Крім

того, насосна подача бетону створює умови для механізації виробничих процесів та підвищення ефективності експлуатації обладнання.

Таким чином, застосування системи подачі та укладання бетонної суміші із використанням поршневого бетононасоса є технічно обґрунтованим рішенням, яке забезпечує надійність технологічного процесу та сприяє підвищенню ефективності виробництва залізобетонних виробів.

1.1 Призначення та основні характеристики системи подачі бетонної суміші

Система подачі та укладання бетонної суміші призначена для транспортування готової бетонної суміші від бетоносумішувального вузла безпосередньо до місця виконання бетонних робіт або формування залізобетонних виробів. Використання поршневого бетононасоса забезпечує безперервність технологічного процесу, скорочує тривалість виконання робіт та підвищує ефективність використання виробничого обладнання.

Робота системи здійснюється у циклічному режимі та включає приймання бетонної суміші, її нагнітання в бетонопровід і подачу до місця укладання. Основними технічними характеристиками системи є продуктивність, дальність транспортування суміші, робочий тиск та надійність функціонування насосного обладнання.

1.2 Вибір сировинних матеріалів

Для забезпечення стабільної роботи поршневого бетононасоса та отримання бетонної суміші необхідної якості використовують цемент, крупний і дрібний заповнювачі, воду та, за необхідності, спеціальні хімічні добавки.

Як в'язучий матеріал приймається портландцемент марки М400 з активністю 42,6 МПа. Нормальна густина цементного тіста становить 25 %, середня густина цементних зерен – 3050 кг/м³, насипна густина цементу – 1300 кг/м³.

Крупним заповнювачем є щебінь із максимальним розміром зерен до 20 мм. Густина зерен щебеню становить 2720 кг/м^3 , насипна густина – 1530 кг/м^3 , вологість матеріалу – 0,57 %. Використання щебеню такої фракції забезпечує безперешкодне проходження бетонної суміші через робочі органи насоса та бетонопровід.

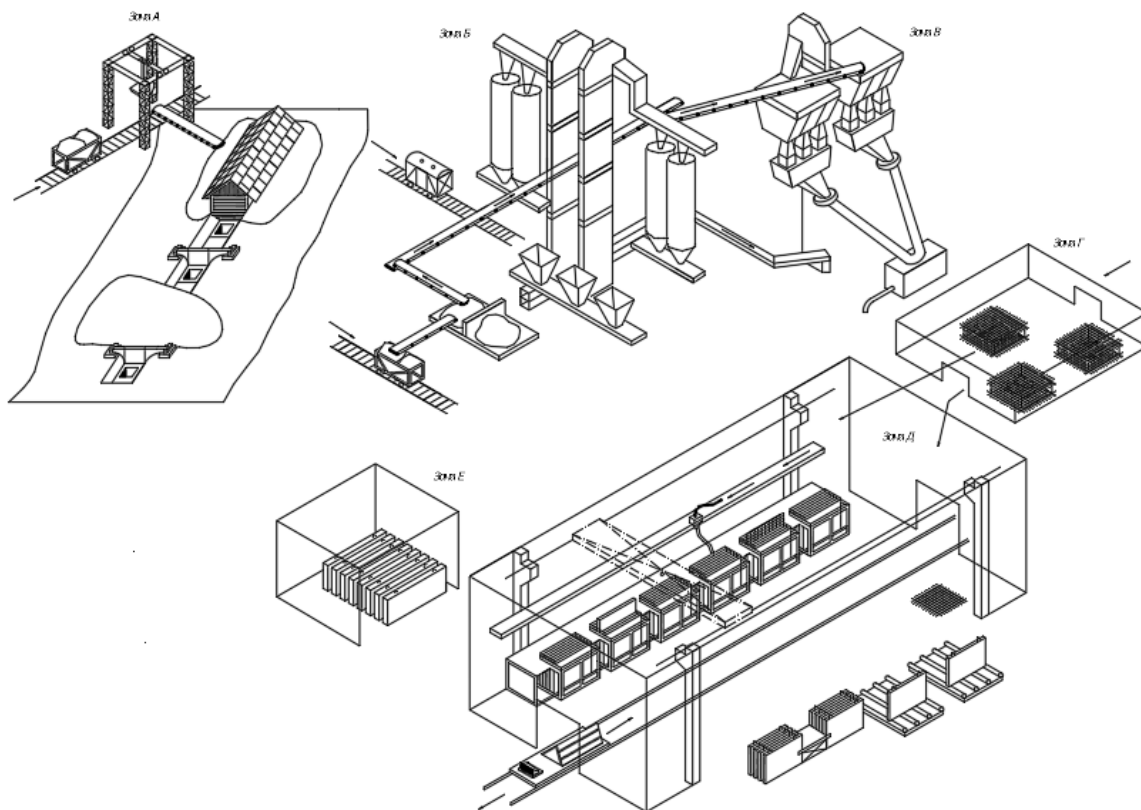
Як дрібний заповнювач застосовується кварцовий пісок із модулем крупності 1,5–2,0. Вміст пилоподібних і глинистих частинок не перевищує встановлених нормативами значень. Густина зерен піску становить 2620 кг/м^3 , насипна густина – 1480 кг/м^3 , вологість – 3,5 %.

Для приготування бетонної суміші використовується вода системи господарсько-питного водопостачання, яка відповідає вимогам чинних нормативних документів.

Для армування залізобетонних конструкцій використовують стержневу арматуру відповідних класів та арматурний дріт періодичного профілю. Закладні елементи виготовляються з конструкційної листової сталі.

1.3 Розробка технологічної схеми

Технологічна схема системи подачі та укладання бетонної суміші передбачає приготування бетонної суміші, її накопичення в приймальному бункері, транспортування за допомогою поршневого бетононасоса через бетонопровід та подальше укладання у форми або конструкції, що бетонуються.



Технологічна схема системи наведена на рис. 1.1.

1.4 Опис технологічної схеми

Вихідні матеріали надходять на підприємство та зберігаються у відповідних складах. Цемент транспортується до витратних бункерів пневматичним транспортом, а крупний і дрібний заповнювачі подаються стрічковими конвеєрами до дозувального обладнання.

Після дозування компонентів здійснюється приготування бетонної суміші у бетоносумішувачі. Готова суміш надходить до приймального бункера поршневого бетононасоса, звідки за допомогою робочих циліндрів подається в систему бетонопроводів.

Транспортування бетонної суміші здійснюється під тиском до місця виконання робіт. На кінцевій ділянці бетонопроводу встановлюється

розподільний пристрій або гнучкий рукав, через який суміш рівномірно укладається у форму чи опалубку.

Застосування поршневого бетононасоса забезпечує безперервність подачі бетонної суміші, зменшує втрати матеріалу та дозволяє виконувати бетонування на значних відстанях і висотах без використання додаткових транспортних засобів.

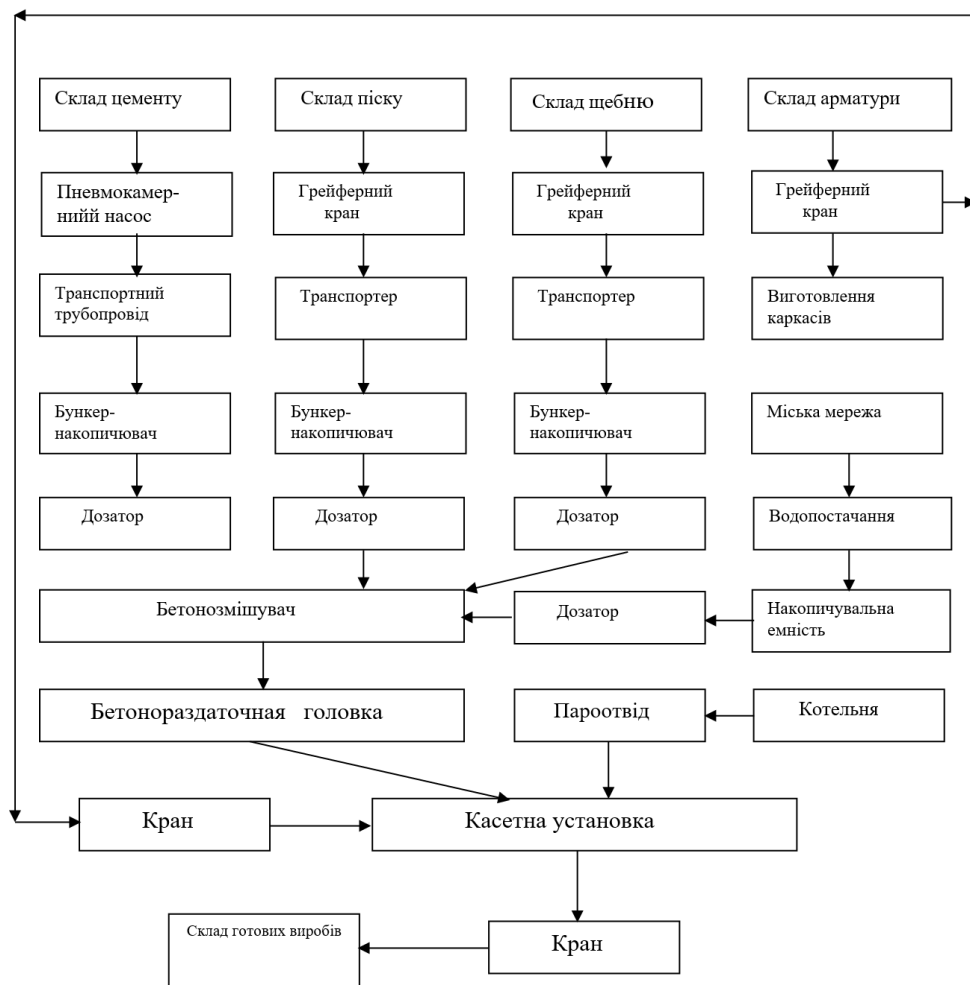


Рис. 1.2 – Технологічна схема подачі та укладання бетонної суміші

1. 5 Вибір процесів та обладнання

Для забезпечення безперервної подачі бетонної суміші до місця укладання приймається технологічна схема із застосуванням поршневого бетононасоса. До складу комплексу входять установки для приготування

бетонної суміші, транспортні засоби для переміщення компонентів, насосне обладнання та система бетонопроводів.

Результати вибору основного технологічного обладнання наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основне обладнання технологічної лінії

Найменування процесу	Тип, марка обладнання	Найменування обладнання
Розвантаження та подача заповнювачів	ГК-10	Грейферний кран
Транспортування заповнювачів	ТК-21-4	Стрічковий конвеєр
Транспортування цементу	ТА-23А	Пневмокамерний насос
Приготування бетонної суміші	СБ-79	Роторний бетоносумішувач
Подача бетонної суміші	БН-65	Поршневий бетононасос
Транспортування бетонної суміші	БТ-125	Бетонопровід
Укладання бетонної суміші	РП-12	Розподільний рукав
Транспортні операції	КМ-10	Мостовий кран

1.5.1 Визначення необхідної кількості бетоносумішувачів

Для забезпечення заданої продуктивності системи подачі бетонної суміші необхідно визначити кількість змішувального обладнання.

Тривалість одного циклу приготування бетонної суміші об'ємом 0,5 м³ приймається рівною 2 хв.

1.5.2 Визначення кількості циклів роботи змішувача за годину

Кількість циклів приготування бетонної суміші за годину визначається за формулою:

$$n = 60 / t_{\text{ц}}$$

де: n – кількість циклів за годину;

$t_{\text{ц}}$ – тривалість одного циклу, хв.

При $t_{\text{ц}} = 2$ хв:

$$n = 60 / 2 = 30 \text{ циклів/год.}$$

1.5.3 Визначення годинної продуктивності бетоносумішувача

Годинна продуктивність визначається за формулою:

$$P_{\text{г}} = V \cdot n$$

де: $P_{\text{г}}$ – годинна продуктивність змішувача, м³/год;

V – об'єм одного замісу, м³;

n – кількість циклів за годину.

При $V = 0,5$ м³:

$$P_{\text{г}} = 0,5 \cdot 30 = 15 \text{ м}^3/\text{год.}$$

1.5.4 Визначення необхідної кількості бетоносумішувачів

Кількість змішувачів визначається за формулою:

$$N = Q_{\text{р}} / (P_{\text{г}} \cdot T_{\text{р}} \cdot K_{\text{вик}})$$

де: $Q_{\text{р}}$ – річна продуктивність підприємства, м³/рік;

$P_{\text{г}}$ – годинна продуктивність змішувача, м³/год;

$T_{\text{р}}$ – річний фонд робочого часу, год;

$K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання обладнання.

Після виконання розрахунку приймається:

$$N = 1 \text{ бетоносумішувач.}$$

1.5.5 Визначення необхідної кількості поршневих бетононасосів

Необхідна кількість бетононасосів визначається аналогічно:

$$N_{\text{бн}} = Q_p / (P_{\text{бн}} \cdot T_p \cdot K_{\text{вик}})$$

де: $N_{\text{бн}}$ – кількість бетононасосів;

Q_p – річний обсяг бетонної суміші, м³/рік;

$P_{\text{бн}}$ – годинна продуктивність бетононасоса, м³/год;

T_p – річний фонд робочого часу, год;

$K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання обладнання.

За результатами розрахунку приймається: $N_{\text{бн}} = 1$ поршневий бетононасос.

2. Основна частина

2.1 Аналіз недоліків існуючої конструкції та пропозиції щодо її удосконалення

У процесі експлуатації поршневих бетононасосів виникає низка технічних проблем, які впливають на стабільність подачі бетонної суміші, довговічність робочих органів та загальну продуктивність обладнання. Одним із найбільш навантажених елементів є бетонотransпортний поршень, який працює в умовах постійного контакту з абразивною бетонною сумішшю.

Інтенсивне зношування гумових поршнів призводить до погіршення ущільнення між поршнем і внутрішньою поверхнею робочого циліндра. У результаті частина бетонної суміші може проникати в зазор між деталями, що знижує ефективність нагнітання та ускладнює очищення циліндра після завершення роботи.

Збільшення зазору між поршнем і циліндром також може спричинити порушення співвісності штока, появу перекосів і додаткових навантажень на елементи гідроприводу. У складних умовах експлуатації це підвищує ймовірність заклинювання робочого механізму та збільшує тривалість простоїв обладнання.

Для підвищення надійності роботи бетононасоса пропонується замінити гумовий бетонотransпортний поршень на конструкцію з розрізними ущільнювальними кільцями. Завдяки пружним властивостям такі кільця постійно притискаються до внутрішньої поверхні циліндра, забезпечуючи краще ущільнення та видалення залишків бетонної суміші зі стінок робочої камери.

Встановлення кількох ущільнювальних кілець дозволяє підвищити герметичність робочого вузла, зменшити інтенсивність зношування та стабілізувати процес подачі бетонної суміші. Додатково для забезпечення правильного положення штока доцільно передбачити направляючу втулку. Її розміщення в зоні промивальної камери дозволяє використовувати воду як

допоміжне мастильне середовище, що сприяє зменшенню тертя та підвищенню ресурсу вузла.

Запропоноване удосконалення спрямоване на підвищення довговічності робочих органів поршневого бетононасоса, зменшення витрат часу на технічне обслуговування та забезпечення більш стабільної роботи системи подачі бетонної суміші.

2.2 Технічний опис об'єкта проектування

Об'єктом проектування є система подачі та укладання бетонної суміші із застосуванням поршневого бетононасоса БН-65. Система призначена для приймання бетонної суміші від бетоносумішувальної установки, її транспортування бетонопроводом та подачі безпосередньо до місця виконання бетонних робіт або формування залізобетонних конструкцій.

Застосування поршневого бетононасоса дозволяє забезпечити безперервність технологічного процесу, зменшити витрати ручної праці та підвищити продуктивність виконання будівельно-монтажних робіт. Насосна подача бетонної суміші особливо ефективна при транспортуванні бетону на значні відстані та висоту.

До складу системи входять бетоносумішувальна установка, приймальний бункер, поршковий бетононасос, система бетонопроводів, розподільний пристрій та допоміжне обладнання. Всі елементи комплексу працюють як єдина технологічна система, забезпечуючи стабільну подачу бетонної суміші до робочої зони.

Після приготування бетонної суміші у змішувальному обладнанні вона надходить до приймального бункера бетононасоса. Далі за допомогою поршневого механізму суміш нагнітається в бетонопровід і транспортується до місця укладання. Наприкінці бетонопроводу встановлюється розподільний рукав або інший пристрій, що забезпечує рівномірне заповнення форми чи опалубки.

Основною перевагою такої системи є можливість транспортування бетонної суміші без проміжних перевантажень, що дозволяє зберегти її однорідність та забезпечити високу якість бетонування.

Для забезпечення надійної роботи обладнання передбачаються операції промивання бетонопроводу, очищення приймального бункера та контроль технічного стану основних вузлів бетононасоса. Це сприяє підвищенню довговічності обладнання та зниженню експлуатаційних витрат.

У подальших розділах роботи виконуються розрахунки основних параметрів системи подачі бетонної суміші, аналіз конструкції бетононасоса БН-65 та обґрунтування запропонованого технічного удосконалення.

2.2.1 Технічна характеристика системи подачі бетонної суміші

Для забезпечення безперервного транспортування бетонної суміші до місця укладання прийнята система на базі поршневого бетононасоса БН-65.

Основні технічні характеристики системи наведені нижче.

Річна продуктивність системи, $\text{м}^3/\text{рік}$ – 30000

Продуктивність бетононасоса, $\text{м}^3/\text{год}$:

- технічна – 20...57

- розрахункова – 30

Максимальний тиск на бетонну суміш, МПа – 6

Рухливість бетонної суміші, см – 4...12

Максимальний розмір крупного заповнювача, мм – 40

Об'єм приймального бункера, м^3 – 0,4

Довжина бетонопроводу, м – 120

Внутрішній діаметр бетонопроводу, мм – 125

Потужність приводу бетононасоса, кВт – 90

Кількість робочих змін – 2

Тривалість зміни, год – 8

Кількість обслуговуючого персоналу, осіб – 2

Габаритні розміри бетононасоса, мм:

- довжина – 5050
- ширина – 1610
- висота – 1625

Маса установки, кг – 6200

Для транспортування бетонної суміші використовується сталевий бетонопровід із комплектом поворотних колін, швидкокорознімних з'єднань та кінцевим розподільним рукавом. Система забезпечує безперервну подачу бетонної суміші до місця виконання бетонних робіт і дозволяє здійснювати укладання бетону без використання додаткових перевантажувальних механізмів.

Прийняті технічні характеристики забезпечують виконання річної виробничої програми обсягом 30000 м³ бетонної суміші та відповідають умовам експлуатації поршневого бетононасоса БН-65.

2.2.2 Конструктивні особливості системи подачі бетонної суміші

Основним елементом системи подачі бетонної суміші є поршковий бетононасос БН-65, який забезпечує транспортування бетонної суміші від бетоносумішувальної установки до місця укладання через систему бетонопроводів.

Конструкція бетононасоса змонтована на жорсткій металевій рамі, на якій розташовані насосний агрегат, гідравлічна станція, завантажувальний бункер, система керування та допоміжне обладнання. Таке компонування забезпечує зручність експлуатації та доступ до основних вузлів під час технічного обслуговування.

Завантажувальний бункер призначений для приймання готової бетонної суміші та її рівномірної подачі до робочих циліндрів. У середині бункера встановлено перемішувальний пристрій, який запобігає розшаруванню бетонної суміші та забезпечує стабільне заповнення насосної частини.

Насосний агрегат виконаний за двоциліндровою схемою та оснащений гідравлічним приводом. Робочі циліндри і бетоноподавальні циліндри розташовані співвісно та з'єднані між собою штоками. Під час роботи поршні здійснюють зворотно-поступальний рух у протифазі. Один циліндр виконує всмоктування бетонної суміші із приймального бункера, а другий у цей час нагнітає її до бетонопроводу.

Перемикання потоку бетонної суміші здійснюється за допомогою спеціального розподільного пристрою, який забезпечує чергове з'єднання робочих циліндрів із приймальним бункером та бетонопроводом. Така схема дозволяє отримати практично безперервний потік бетонної суміші та підвищити рівномірність її подачі.

Для приводу робочих органів використовується гідравлічна система, до складу якої входять насосна станція, гідророзподільники, трубопроводи високого тиску та робочі гідроциліндри. Використання гідроприводу дозволяє плавно регулювати продуктивність насоса та забезпечує стабільність його роботи.

Особливу увагу приділено вузлу ущільнення бетонотранспортного поршня. З метою підвищення надійності та зменшення інтенсивності зношування в проєкті передбачено використання поршня з різними ущільнювальними кільцями та направляючою втулкою штока. Таке технічне рішення сприяє покращенню герметичності робочої камери, зменшенню втрат продуктивності та збільшенню ресурсу обладнання.

Транспортування бетонної суміші від бетононасоса до місця укладання здійснюється сталевим бетонопроводом, який складається з прямих секцій, поворотних колін та швидкорознімних з'єднань. На кінцевій ділянці встановлюється гнучкий рукав, що забезпечує зручність розподілу бетонної суміші під час виконання бетонних робіт.

Прийнята конструкція системи подачі бетонної суміші забезпечує необхідну продуктивність, надійність роботи та можливість ефективної експлуатації в умовах будівельного виробництва.

2.2.3 Принцип роботи системи подачі бетонної суміші

Після завершення процесу приготування бетонна суміш надходить із бетоносумішувальної установки до приймального бункера поршневого бетононасоса БН-65. Для запобігання розшаруванню суміші в бункері встановлено перемішувальний пристрій, який забезпечує її постійну однорідність та рівномірне надходження до робочих циліндрів.

Робота бетононасоса базується на почерговому функціонуванні двох бетонотранспортних циліндрів. Під час руху одного поршня назад у циліндр надходить чергова порція бетонної суміші із завантажувального бункера. Одночасно другий поршень здійснює робочий хід та нагнітає бетонну суміш у бетонопровід.

Після досягнення поршнями крайнього положення система автоматичного керування подає команду на перемикання розподільного пристрою. У результаті циліндр, який виконував всмоктування, переходить у режим нагнітання, а другий починає заповнюватися новою порцією бетонної суміші. Завдяки такій схемі забезпечується практично безперервна подача бетону до місця укладання.

Переміщення поршнів здійснюється робочими гідроциліндрами, які живляться від гідравлічної станції. Автоматичне керування гідросистемою забезпечує узгоджену роботу всіх виконавчих механізмів та підтримання необхідної продуктивності насоса.

Нагнітання бетонної суміші відбувається через систему сталевих бетонопроводів, що складається з прямих секцій, колін та з'єднувальних елементів. По бетонопроводу суміш транспортується безпосередньо до місця виконання бетонних робіт.

На кінцевій ділянці системи встановлюється гнучкий рукав або розподільний пристрій, за допомогою якого бетонна суміш рівномірно подається до опалубки, форми або іншого місця укладання. У процесі бетонування здійснюється ущільнення суміші відповідно до вимог технології виконання робіт.

Після завершення робочого циклу виконується очищення приймального бункера, насосного обладнання та бетонопроводу. Для цього використовується вода або спеціальні очисні пристрої, що дозволяє запобігти затвердінню залишків бетонної суміші та забезпечити готовність обладнання до наступного циклу роботи.

Застосування поршневого бетононасоса БН-65 забезпечує високу продуктивність процесу бетонування, скорочує трудові витрати та дозволяє виконувати подачу бетонної суміші на значні відстані й висоту без використання додаткових транспортних механізмів.

2.2.4 Гідравлічна система бетононасоса

Гідравлічна система є одним із основних вузлів поршневого бетононасоса БН-65 та призначена для приводу робочих органів насоса, забезпечення необхідного зусилля на поршнях і керування процесом подачі бетонної суміші.

До складу гідравлічної системи входять гідронасоси, маслобак, гідророзподільники, запобіжна апаратура, трубопроводи високого тиску та робочі гідроциліндри. Усі елементи системи працюють як єдиний комплекс, забезпечуючи узгоджену роботу насосного агрегату.

Під час роботи бетононасоса робоча рідина від гідронасосів під тиском подається до гідроциліндрів. Під дією тиску поршні гідроциліндрів здійснюють зворотно-поступальний рух, який через штоки передається бетонотransпортним поршням. У результаті відбувається по чергове всмоктування та нагнітання бетонної суміші.

Автоматичне перемикання напрямку руху робочих органів здійснюється за допомогою гідророзподільників, які керуються сигналами від системи керування. Це забезпечує безперервність процесу транспортування бетонної суміші та стабільність роботи насосного обладнання.

Для захисту елементів гідросистеми від перевантажень передбачено встановлення запобіжних клапанів, які обмежують максимальний тиск у системі. Робочий тиск гідравлічної системи підтримується на рівні, необхідному для забезпечення заданої продуктивності бетононасоса та подолання опору бетонопроводу.

Охолодження та очищення робочої рідини здійснюється за допомогою фільтрів і теплообмінних елементів, що дозволяє підтримувати стабільні умови роботи гідросистеми та збільшувати ресурс її вузлів.

Застосування гідравлічного приводу в конструкції бетононасоса БН-65 забезпечує плавність роботи механізмів, можливість регулювання продуктивності, зниження динамічних навантажень та підвищення надійності обладнання в цілому.

Основні параметри гідросистеми приймаються відповідно до технічних характеристик бетононасоса та уточнюються під час виконання розрахунків гідроприводу в подальших розділах кваліфікаційної роботи.

2.2.5 Технічна характеристика та будова бетононасоса БН-65

Бетононасос БН-65 призначений для приймання готової бетонної суміші від бетоносумішувальної установки та її транспортування по бетонопроводу до місця укладання. Машина використовується як стаціонарне технологічне обладнання на підприємствах будівельної індустрії та будівельних майданчиках, де необхідна безперервна подача бетонної суміші.

Експлуатація бетононасоса допускається за температури навколишнього середовища від 0 °С до +40 °С. Конструкція установки забезпечує стабільну роботу в умовах тривалих виробничих навантажень та інтенсивного використання.

Основними складовими бетононасоса є:

- несуча рама;
- насосний агрегат;

- приймальний бункер;
- перемішувальний пристрій;
- гідравлічна система;
- електрообладнання;
- система керування;
- бетонопровід.

Насосний агрегат являє собою двоциліндровий поршневий насос із гідравлічним приводом. Робочі гідроциліндри розташовані співвісно з бетонотранспортними циліндрами та з'єднані між собою штоками. Така конструкція забезпечує ефективну передачу зусилля від гідроприводу до робочих поршнів.

Подача бетонної суміші здійснюється почерговою роботою двох бетонотранспортних циліндрів. Під час руху одного поршня в напрямку всмоктування відбувається заповнення циліндра бетонною сумішшю з приймального бункера. Одночасно другий поршень здійснює нагнітання суміші через розподільний пристрій у бетонопровід. Після завершення робочого ходу відбувається автоматичне перемикання режимів роботи циліндрів.

Для забезпечення надійної роботи вузлів тертя в конструкції насоса передбачена промивальна камера, яка заповнюється водою. Вода виконує функцію охолодження та змащування робочих поверхонь, зменшуючи інтенсивність зношування поршнів і внутрішніх поверхонь циліндрів.

Автоматичне керування насосом здійснюється за допомогою системи гідророзподільників та кінцевих вимикачів. Після досягнення поршнями крайніх положень система автоматично перемикає напрямок потоку робочої рідини, забезпечуючи безперервність циклу подачі бетонної суміші.

Основні технічні характеристики бетононасоса БН-65

Технічна продуктивність, м³/год 20–57

Максимальний тиск на бетонну суміш, МПа 6

Рухливість бетонної суміші, см 4–12

Максимальний розмір заповнювача, мм 40

Об'єм приймального бункера, м³ 0,4

Потужність приводу, кВт 90

Габаритні розміри, мм:

- довжина 5050

- ширина 1610

- висота 1625

Маса установки, кг 6200

Завдяки використанню гідравлічного приводу, двоциліндрової схеми роботи та автоматичної системи керування бетононасос БН-65 забезпечує високу продуктивність, стабільність подачі бетонної суміші та надійність роботи в умовах будівельного виробництва.

Саме ця машина приймається як базовий об'єкт для подальшої модернізації та виконання конструкторських розрахунків у межах даної кваліфікаційної роботи.

2.2.6 Аналіз існуючих конструкцій поршнів бетононасосів та обґрунтування модернізації

Ефективність роботи поршневих бетононасосів значною мірою залежить від конструкції бетонотранспортних поршнів, які безпосередньо контактують із бетонною сумішшю та сприймають основні експлуатаційні навантаження. Саме цей вузол працює в умовах інтенсивного абразивного зношування, викликаного наявністю в бетонній суміші твердих мінеральних частинок.

У конструкціях ранніх бетононасосів широко використовувалися гумові та гумометалеві поршні. Їх основною перевагою була простота конструкції та достатня герметичність робочої камери. Проте в процесі експлуатації було встановлено, що гумові ущільнювальні елементи швидко зношуються, особливо під час транспортування жорстких бетонних сумішей із великим вмістом крупного заповнювача.

Зношування ущільнювальних поверхонь призводить до зменшення герметичності робочого циліндра, появи внутрішніх витоків бетонної суміші та поступового зниження продуктивності насоса. Крім того, накопичення залишків бетонної суміші на стінках циліндра ускладнює очищення обладнання та збільшує витрати часу на технічне обслуговування.

Подальший розвиток конструкцій бетононасосів був пов'язаний із застосуванням гідравлічного приводу та удосконаленням ущільнювальних елементів поршневих вузлів. Використання сучасних ущільнювальних матеріалів дозволило підвищити ресурс деталей та знизити інтенсивність їх зношування.

У сучасних насосних установках все більшого поширення набувають конструкції поршнів із розрізними ущільнювальними кільцями. Такі кільця мають пружні властивості та автоматично компенсують часткове зношування, підтримуючи постійний контакт із внутрішньою поверхнею робочого циліндра. Завдяки цьому забезпечується стабільна герметичність і рівномірна робота насосного агрегату протягом тривалого часу.

Аналіз конструкції бетононасоса БН-65 показав, що одним із напрямків підвищення його надійності може бути удосконалення вузла бетонотранспортного поршня. Існуюча конструкція не забезпечує достатньої компенсації зношування ущільнювальних елементів, що з часом призводить до погіршення експлуатаційних показників машини.

У зв'язку з цим у даній кваліфікаційній роботі пропонується модернізувати поршковий вузол шляхом застосування розрізних ущільнювальних кілець та направляючої втулки штока. Запропоноване рішення дозволить підвищити герметичність робочої камери, зменшити інтенсивність зношування деталей, покращити умови роботи гідроприводу та збільшити міжремонтний ресурс бетононасоса.

Очікується, що впровадження модернізованої конструкції забезпечить підвищення надійності роботи системи подачі бетонної суміші та сприятиме

зменшенню експлуатаційних витрат під час використання бетононасоса БН-65.

2.3. Розрахунок параметрів проектуемого обладнання

2.3.1 Розрахунок продуктивності поршневого бетононасоса

Для забезпечення річної продуктивності системи подачі бетонної суміші

$$Q_p = 30000 \text{ м}^3/\text{рік}$$

приймаємо до встановлення поршневий бетононасос БН-65.

Вихідні дані:

діаметр бетонотранспортного поршня $D = 150 \text{ мм} = 0,15 \text{ м}$;

хід поршня $S = 1 \text{ м}$;

кількість циліндрів $z = 2$;

коефіцієнт наповнення $K_n = 0,8$;

об'ємний ККД $\eta = 0,75$.

Визначення кількості робочих ходів поршня

Частота подвійних ходів для бетононасоса БН-65 приймається:

$$n = 15 \text{ хв}^{-1}$$

Тоді кількість робочих ходів за годину становить:

$$N = 15 \cdot 60 = 900 \text{ ход/год}$$

Визначення об'єму бетонної суміші, що подається за один хід

Об'єм подачі одного циліндра визначається за формулою:

$$V = (\pi \cdot D^2 \cdot S) / 4$$

де: D – діаметр поршня, м;

S – хід поршня, м.

Підставляємо значення:

$$V = (3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 1) / 4$$

$$V = 0,0177 \text{ м}^3$$

Визначення технічної продуктивності бетононасоса

Технічна продуктивність визначається за формулою:

$$P_T = V \cdot N \cdot z \cdot K_n \cdot \eta$$

де: V – об'єм подачі за один хід, m^3 ;

N – кількість ходів за годину;

z – кількість робочих циліндрів;

K_n – коефіцієнт наповнення;

η – об'ємний коефіцієнт корисної дії.

Підставляємо числові значення:

$$P_T = 0,0177 \cdot 900 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 0,75$$

$$P_T = 19,1 \text{ м}^3/\text{год}$$

Перевірка відповідності продуктивності річній програмі

Річний фонд роботи обладнання визначаємо за формулою:

$$F_r = 365 \cdot 8 \cdot K_{zm} \cdot K_{vik}$$

де: $K_{zm} = 0,66$ – коефіцієнт змінності;

$K_{vik} = 0,85$ – коефіцієнт використання обладнання.

$$F_r = 365 \cdot 8 \cdot 0,66 \cdot 0,85$$

$$F_r = 1638 \text{ год/рік}$$

Визначення річної продуктивності бетононасоса

$$Q_f = P_T \cdot F_r$$

$$Q_f = 19,1 \cdot 1638$$

$$Q_f = 31286 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Отримана річна продуктивність бетононасоса $Q_f = 31286 \text{ м}^3/\text{рік}$ перевищує прийняту виробничу програму $Q_p = 30000 \text{ м}^3/\text{рік}$.

Отже, прийнятий поршневий бетононасос БН-65 забезпечує виконання заданого обсягу робіт і може бути використаний у складі системи подачі та укладання бетонної суміші.

2.3.2 Розрахунок параметрів бетонопроводу

Для транспортування бетонної суміші від бетононасоса до місця укладання приймаємо сталевий бетонопровід із внутрішнім діаметром:

$$d_b = 125 \text{ мм} = 0,125 \text{ м}$$

Довжина бетонопроводу приймається:

$$L = 120 \text{ м}$$

Розрахункова продуктивність бетононасоса:

$$P_T = 19,1 \text{ м}^3/\text{год}$$

Визначення площі поперечного перерізу бетонопроводу

Площа поперечного перерізу бетонопроводу визначається за формулою:

$$F = (\pi \cdot d_b^2) / 4$$

де: F – площа перерізу бетонопроводу, м^2 ;

d_b – внутрішній діаметр бетонопроводу, м.

Підставляємо значення:

$$F = (3,14 \cdot 0,125^2) / 4 = 0,0123 \text{ м}^2$$

Визначення швидкості руху бетонної суміші

Для визначення швидкості руху бетонної суміші переводимо продуктивність у $\text{м}^3/\text{с}$:

$$P_T = 19,1 / 3600 = 0,0053 \text{ м}^3/\text{с}$$

Швидкість руху бетонної суміші в бетонопроводі визначається за формулою:

$$v = P_T / F$$

де: v – швидкість руху бетонної суміші, $\text{м}/\text{с}$;

P_T – продуктивність бетононасоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

F – площа перерізу бетонопроводу, м^2 .

Підставляємо значення:

$$v = 0,0053 / 0,0123 = 0,43 \text{ м}/\text{с}$$

Визначення гідравлічного опору бетонопроводу

Тиск, необхідний для подолання опору руху бетонної суміші, визначається за формулою:

$$P_{\Gamma} = (2 \cdot L \cdot \tau_0) / R$$

де: P_{Γ} – тиск, необхідний для подолання опору руху суміші, Па;

L – довжина бетонопроводу, м;

τ_0 – граничне напруження зсуву бетонної суміші, Н/м²;

R – радіус бетонопроводу, м.

Приймаємо:

$$\tau_0 = 30 \text{ Н/м}^2$$

$$R = d_6 / 2 = 0,125 / 2 = 0,0625 \text{ м}$$

Підставляємо значення:

$$P_{\Gamma} = (2 \cdot 120 \cdot 30) / 0,0625 = 115200 \text{ Па}$$

$$P_{\Gamma} = 0,115 \text{ МПа}$$

Перевірка за максимальним тиском бетононасоса

Максимальний тиск, що створюється бетононасосом БН-65, становить:

$$P_{\max} = 6 \text{ МПа}$$

Порівнюємо отримані значення:

$$P_{\max} = 6 \text{ МПа} > P_{\Gamma} = 0,115 \text{ МПа}$$

Висновок

Отримане значення гідравлічного опору бетонопроводу становить:

$$P_{\Gamma} = 0,115 \text{ МПа}$$

Максимальний тиск, який створює поршневий бетононасос БН-65, значно перевищує тиск, необхідний для транспортування бетонної суміші по бетонопроводу довжиною 120 м.

Отже, прийнятий бетонопровід діаметром 125 мм забезпечує можливість стабільної подачі бетонної суміші до місця укладання.

2.3.3 Розрахунок гідроциліндра

Гідроциліндр забезпечує зворотно-поступальний рух бетонотransпортних поршнів та створює необхідне зусилля для нагнітання бетонної суміші в бетонопровід.

Для розрахунку приймаємо:

$P_m = 6 \text{ МПа}$ – тиск, що створюється маслостанцією;

$Q = 100 \text{ л/хв} = 0,00167 \text{ м}^3/\text{с}$ – продуктивність маслостанції;

$\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ – густина робочої рідини;

$d_{вн} = 0,02 \text{ м}$ – внутрішній діаметр маслопроводу;

$l = 4 \text{ м}$ – довжина маслопроводу;

$\nu = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – кінематична в'язкість масла.

Визначення швидкості руху масла в трубопроводі

Швидкість потоку визначається за формулою:

$$V_{пр} = 4 \cdot Q / (\pi \cdot d_{вн}^2)$$

де: Q – продуктивність маслостанції, $\text{м}^3/\text{с}$;

$d_{вн}$ – внутрішній діаметр трубопроводу, м .

Підставляємо значення:

$$V_{пр} = 4 \cdot 0,00167 / (3,14 \cdot 0,02^2)$$

$$V_{пр} = 5,32 \text{ м/с}$$

Визначення числа Рейнольдса

$$Re = V_{пр} \cdot d_{вн} / \nu$$

$$Re = 5,32 \cdot 0,02 / (20 \cdot 10^{-6})$$

$$Re = 5320$$

Оскільки $Re > 4000$, режим руху рідини є турбулентним.

Визначення коефіцієнта гідравлічного тертя

Для турбулентного режиму приймаємо:

$$\lambda = 0,04$$

Визначення втрат тиску по довжині трубопроводу

$$\Delta P_{довж} = \lambda \cdot (l/d_{вн}) \cdot (\rho \cdot V_{пр}^2 / 2)$$

Підставляємо значення:

$$\Delta P_{\text{довж}} = 0,04 \cdot (4/0,02) \cdot (900 \cdot 5,32^2/2)$$

$$\Delta P_{\text{довж}} = 101736 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{довж}} = 0,102 \text{ МПа}$$

Визначення втрат тиску в гідроапаратурі

Приймаємо:

$\Delta P_{\text{гр}} = 0,024 \text{ МПа}$ – втрати в гідророзподільнику;

$\Delta P_{\text{ок}} = 0,016 \text{ МПа}$ – втрати у зворотному клапані;

$\Delta P_{\text{др}} = 0,007 \text{ МПа}$ – втрати у дроселі;

$\Delta P_{\text{гз}} = 0,013 \text{ МПа}$ – втрати у гідрозамку.

Сумарні втрати:

$$\Sigma \Delta P_{\text{ап}} = 0,024 + 0,016 + 0,007 + 0,013$$

$$\Sigma \Delta P_{\text{ап}} = 0,060 \text{ МПа}$$

Визначення фактичного тиску в гідроциліндрі

$$P_{\text{ц}} = P_{\text{м}} - \Sigma \Delta P_{\text{ап}} - \Delta P_{\text{довж}}$$

$$P_{\text{ц}} = 6 - 0,060 - 0,102$$

$$P_{\text{ц}} = 5,84 \text{ МПа}$$

Визначення діаметра поршня гідроциліндра

За результатами попереднього розрахунку бетонопроводу необхідний тиск для подолання опору бетонної суміші становить:

$$P_{\text{г}} = 0,115 \text{ МПа}$$

Приймаємо розрахункове зусилля:

$$F = 220 \text{ кН}$$

Діаметр поршня визначається за формулою:

$$D = \sqrt{(4 \cdot F / (\pi \cdot P_{\text{ц}}))}$$

Підставляємо значення:

$$D = \sqrt{(4 \cdot 220000 / (3,14 \cdot 5,84 \cdot 10^6))}$$

$$D = 0,219 \text{ м}$$

$$D = 219 \text{ мм}$$

Згідно зі стандартним рядом приймаємо:

$$D = 220 \text{ мм}$$

Визначення діаметра штока

Для гідроциліндрів такого типу приймають:

$$d_{шт} = (0,5 \dots 0,7) \cdot D$$

Приймаємо:

$$d_{шт} = 0,6 \cdot 220$$

$$d_{шт} = 132 \text{ мм}$$

Приймаємо:

$$d_{шт} = 140 \text{ мм}$$

Визначення товщини стінки гідроциліндра

Товщина стінки визначається за формулою:

$$\delta = P_{ц} \cdot D / (2 \cdot [\sigma])$$

де: $[\sigma] = 200 \text{ МПа}$ – допустиме напруження матеріалу.

$$\delta = 5,84 \cdot 220 / (2 \cdot 200)$$

$$\delta = 3,2 \text{ мм}$$

З урахуванням запасу міцності приймаємо:

$$\delta = 6 \text{ мм}$$

У результаті розрахунку отримано основні параметри гідроциліндра приводу бетононасоса БН-65:

тиск у гідроциліндрі – 5,84 МПа;

діаметр поршня – 220 мм;

діаметр штока – 140 мм;

товщина стінки циліндра – 6 мм.

Отримані параметри забезпечують створення необхідного зусилля для транспортування бетонної суміші та відповідають умовам роботи модернізованого поршневого бетононасоса.

2.3.4 Розрахунок модернізованого поршня з розрізними ущільнювальними кільцями

Одним із найбільш навантажених елементів поршневого бетононасоса є бетонотранспортний поршень. У процесі роботи він перебуває під дією

змінних навантажень та постійно контактує з абразивною бетонною сумішшю. Внаслідок цього відбувається поступове зношування ущільнювальних елементів, що призводить до зниження герметичності робочої камери та зменшення продуктивності насоса.

Для усунення зазначених недоліків у даній роботі пропонується модернізована конструкція поршня з різними ущільнювальними кільцями, які забезпечують постійний контакт із внутрішньою поверхнею робочого циліндра та автоматично компенсують зношування робочих поверхонь.

Визначення площі робочої поверхні поршня

Діаметр поршня, отриманий у попередньому розрахунку:

$$D = 220 \text{ мм} = 0,22 \text{ м}$$

Площа поршня визначається за формулою:

$$F = (\pi \cdot D^2) / 4$$

де: F – площа поршня, м^2 ;

D – діаметр поршня, м.

Підставляємо значення:

$$F = (3,14 \cdot 0,22^2) / 4$$

$$F = 0,038 \text{ м}^2$$

Визначення осьового зусилля на поршні

Зусилля визначається за формулою:

$$P = F \cdot P_{\text{ц}}$$

де: $P_{\text{ц}}$ – тиск у гідроциліндрі, МПа.

$$P_{\text{ц}} = 5,84 \text{ МПа} = 5,84 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Підставляємо значення:

$$P = 0,038 \cdot 5,84 \cdot 10^6$$

$$P = 221920 \text{ Н}$$

$$P = 222 \text{ кН}$$

Визначення питомого тиску на ущільнювальні кільця

Приймаємо кількість ущільнювальних кілець:

$$z = 3$$

Ширина одного кільця:

$$b = 20 \text{ мм} = 0,02 \text{ м}$$

Контактна площа ущільнень:

$$F_k = \pi \cdot D \cdot b \cdot z$$

$$F_k = 3,14 \cdot 0,22 \cdot 0,02 \cdot 3$$

$$F_k = 0,0414 \text{ м}^2$$

Питомий тиск:

$$q = P / F_k$$

$$q = 221920 / 0,0414$$

$$q = 5,36 \text{ МПа}$$

Визначення сили тертя в ущільненнях

Коефіцієнт тертя для полімерних ущільнень приймаємо:

$$f = 0,08$$

Сила тертя:

$$F_{тр} = f \cdot P$$

$$F_{тр} = 0,08 \cdot 221920$$

$$F_{тр} = 17754 \text{ Н}$$

$$F_{тр} = 17,75 \text{ кН}$$

Перевірка міцності корпусу поршня

Матеріал поршня – сталь 45.

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = 180 \text{ МПа}$$

Розрахункове напруження:

$$\sigma = P / F$$

$$\sigma = 221920 / 0,038$$

$$\sigma = 5,84 \text{ МПа}$$

Отримане значення значно менше допустимого:

$$\sigma = 5,84 \text{ МПа} < [\sigma] = 180 \text{ МПа}$$

Отже, умова міцності виконується.

У результаті розрахунку модернізованого бетонотransпортного поршня отримано:

діаметр поршня – 220 мм;

площа робочої поверхні – 0,038 м²;

осьове зусилля – 222 кН;

питомий тиск на ущільнення – 5,36 МПа;

сила тертя ущільнювальних кілець – 17,75 кН.

Застосування трьох розрізних ущільнювальних кілець забезпечує стабільне ущільнення робочої камери, зменшує втрати бетонної суміші через зазори між поршнем і циліндром та підвищує ресурс роботи бетононасоса. Запропонована конструкція відповідає умовам міцності та може бути рекомендована для використання в модернізованому поршневому бетононасосі БН-65.

3. Спеціальний розділ

3.1 Вибір методу організації та проведення ремонту поршневого бетононасоса БН-65

Безвідмовна робота поршневого бетононасоса БН-65 значною мірою залежить від правильної організації його технічного обслуговування та ремонту. В умовах виробництва бетонних і залізобетонних виробів насосне обладнання працює в інтенсивному режимі, тому своєчасне виконання профілактичних та ремонтних робіт є важливою умовою забезпечення безперервності технологічного процесу.

На підприємствах будівельної індустрії застосовують три основні методи організації ремонту обладнання: централізований, децентралізований та змішаний. За централізованої системи всі ремонтні роботи виконуються силами ремонтно-механічного цеху підприємства. Такий підхід доцільний для підприємств із великою кількістю однотипного обладнання та розвиненою ремонтною базою.

Децентралізований метод передбачає виконання більшості ремонтних операцій безпосередньо ремонтним персоналом виробничого підрозділу. При цьому ремонтно-механічний цех забезпечує виготовлення запасних частин, спеціального оснащення та виконує найбільш складні відновлювальні роботи.

Найбільш поширеним у сучасних умовах є змішаний метод організації ремонтів, який поєднує переваги двох попередніх систем. Поточне технічне обслуговування та дрібні ремонти виконуються персоналом виробничої дільниці, а капітальні ремонти здійснюються спеціалізованими ремонтними підрозділами підприємства або сторонніми організаціями.

Для експлуатації та ремонту поршневого бетононасоса БН-65 в умовах даного підприємства приймається децентралізована система організації ремонтів, оскільки вона дозволяє оперативно усувати несправності безпосередньо на місці роботи обладнання та зменшувати втрати часу на його транспортування до ремонтних майстерень.

Залежно від способу виконання ремонтних робіт можуть застосовуватися індивідуальний, безособовий та змішаний методи ремонту. Індивідуальний метод передбачає повернення після ремонту всіх деталей і вузлів на ту саму машину, з якої вони були демонтовані. Основним недоліком такого способу є значна тривалість простою обладнання.

Безособовий метод ґрунтується на використанні заздалегідь відремонтованих або нових вузлів із обмінного фонду. Це дозволяє суттєво скоротити тривалість ремонту та підвищити ефективність використання ремонтного персоналу.

Для ремонту бетононасоса БН-65 доцільно застосовувати змішаний метод ремонту, при якому частина деталей відновлюється та повертається на машину після ремонту, а найбільш відповідальні вузли замінюються деталями з обмінного фонду. Такий підхід забезпечує зменшення тривалості простою обладнання, підвищення якості ремонтних робіт та зниження витрат на технічне обслуговування.

3.2 Розрахунок та розстановка ремонтного персоналу під час капітального ремонту бетононасоса БН-65

Для визначення потреби в ремонтному персоналі необхідно встановити трудомісткість виконання ремонтних робіт та розрахувати чисельність ремонтної бригади.

3.2.1 Визначення повної слюсарної трудомісткості ремонту

Повна трудомісткість ремонту визначається за формулою:

$$Q_{\text{сл}} = K_{\text{сл}} \cdot R$$

де: $K_{\text{сл}}$ – нормативна трудомісткість однієї одиниці ремонтної складності, люд.-год;

R – категорія ремонтної складності обладнання.

Для бетононасоса БН-65 приймаємо:

$$K_{\text{сл}} = 21 \text{ люд.-год};$$

$$R = 16.$$

Тоді:

$$Q_{\text{сл}} = 21 \cdot 16 = 336 \text{ люд.-год}$$

3.2.2 Визначення фактичної трудомісткості ремонту

Оскільки ремонт виконується змішаним методом, фактична трудомісткість визначається з урахуванням коефіцієнта участі:

$$Q_{\text{ф}} = Q_{\text{сл}} \cdot K_{\text{уч}}$$

де: $K_{\text{уч}}$ – коефіцієнт участі запасних вузлів і деталей;

$$K_{\text{уч}} = 0,80.$$

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{ф}} = 336 \cdot 0,80 = 268,8 \text{ люд.-год}$$

Приймаємо:

$$Q_{\text{ф}} = 269 \text{ люд.-год}$$

3.2.3 Визначення нормативного простою обладнання

Тривалість простою обладнання під час капітального ремонту визначається за формулою:

$$\Pi = S \cdot R$$

де: S – норма простою на одну одиницю ремонтної складності, діб;

$$S = 0,42 \text{ доби.}$$

Тоді:

$$\Pi = 0,42 \cdot 16 = 6,72 \text{ доби}$$

Приймаємо:

$$\Pi = 6,7 \text{ доби}$$

3.2.4 Визначення добового обсягу ремонтних робіт

Добовий виробіток ремонтної бригади визначається за формулою:

$$Q_{\text{доб}} = Q_{\text{ф}} / \Pi$$

де: $Q_{\text{ф}}$ – фактична трудомісткість ремонту, люд.-год;

Π – тривалість ремонту, діб.

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{доб}} = 268,8 / 6,72 = 40 \text{ люд.-год/добу}$$

3.2.5 Розподіл трудомісткості між змінами

Ремонтні роботи виконуються у дві зміни.

На першу зміну планується 60 % загального обсягу робіт:

$$Q_1 = 0,6 \cdot 40 = 24 \text{ люд.-год}$$

На другу зміну планується 40 % загального обсягу робіт:

$$Q_2 = 0,4 \cdot 40 = 16 \text{ люд.-год}$$

3.2.6 Визначення чисельності ремонтної бригади

Тривалість зміни приймається:

$$t_{\text{зм}} = 8 \text{ год}$$

Чисельність ремонтників першої зміни:

$$n_1 = Q_1 / t_{\text{зм}}$$

$$n_1 = 24 / 8 = 3 \text{ особи}$$

Чисельність ремонтників другої зміни:

$$n_2 = Q_2 / t_{\text{зм}}$$

$$n_2 = 16 / 8 = 2 \text{ особи}$$

Таблиця 3.1 – Склад ремонтної бригади

Зміна	Кількість працівників	Кваліфікаційний склад	Трудомісткість за зміну, люд.-год
Перша	3	2 слюсарі 5 розряду, 1 слюсар 4 розряду	24
Друга	2	2 слюсарі 4 розряду	16

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що для проведення капітального ремонту поршневого бетононасоса БН-65 необхідна ремонтна

бригада чисельністю 5 осіб, яка працює у дві зміни. Загальна трудомісткість ремонту становить 269 люд.-год, а нормативний простій обладнання під час проведення ремонту складає 6,7 доби. Прийнята організація ремонтних робіт забезпечує своєчасне виконання ремонту та відновлення працездатності бетононасоса.

3.3 Розробка технологічного процесу проведення ремонту бетононасоса БН-65

Ефективність проведення капітального ремонту значною мірою залежить від якості підготовчих робіт та правильної організації технологічного процесу. Під час ремонту бетононасоса БН-65 особлива увага приділяється діагностуванню технічного стану основних вузлів, своєчасному забезпеченню запасними частинами та раціональному використанню ремонтного персоналу.

Перед початком ремонтних робіт проводиться зовнішній огляд обладнання, перевіряється працездатність насосного агрегату, гідравлічної системи та механізмів перемикання потоку бетонної суміші. За результатами огляду складається дефектна відомість, у якій фіксуються виявлені несправності та визначається перелік деталей, що підлягають заміні або відновленню.

Після складання дефектної відомості виконується підготовка ремонтної документації, уточнюється потреба в запасних частинах, ущільненнях, підшипниках, елементах гідросистеми та матеріалах для відновлювальних робіт. Одночасно перевіряється наявність необхідного інструменту, пристроїв і вантажопідіймального обладнання.

Технологічний процес капітального ремонту бетононасоса БН-65 доцільно виконувати в такій послідовності:

1. Відключення обладнання від електричної мережі та гідравлічної системи.
2. Очищення машини від залишків бетонної суміші.

3. Демонтаж бетонопроводу та приймального бункера.
4. Розбирання насосного агрегату.
5. Демонтаж бетонотранспортних поршнів та гідроциліндрів.
6. Дефектація деталей і вузлів.
7. Відновлення або заміна зношених деталей.
8. Складання насосного агрегату.
9. Регулювання та перевірка роботи гідросистеми.
10. Проведення випробувань на холостому ході.
11. Контрольна перевірка під навантаженням.
12. Введення обладнання в експлуатацію.

Після завершення складання виконують перевірку герметичності гідравлічної системи, працездатності розподільного механізму та стану ущільнювальних елементів поршневої групи. Особливу увагу приділяють модернізованому поршню з розрізними ущільнювальними кільцями, який є основним об'єктом удосконалення в даній роботі.

Заключним етапом ремонту є проведення пробного пуску та перевірка фактичної продуктивності бетононасоса. За результатами випробувань оформлюється акт приймання обладнання після ремонту.

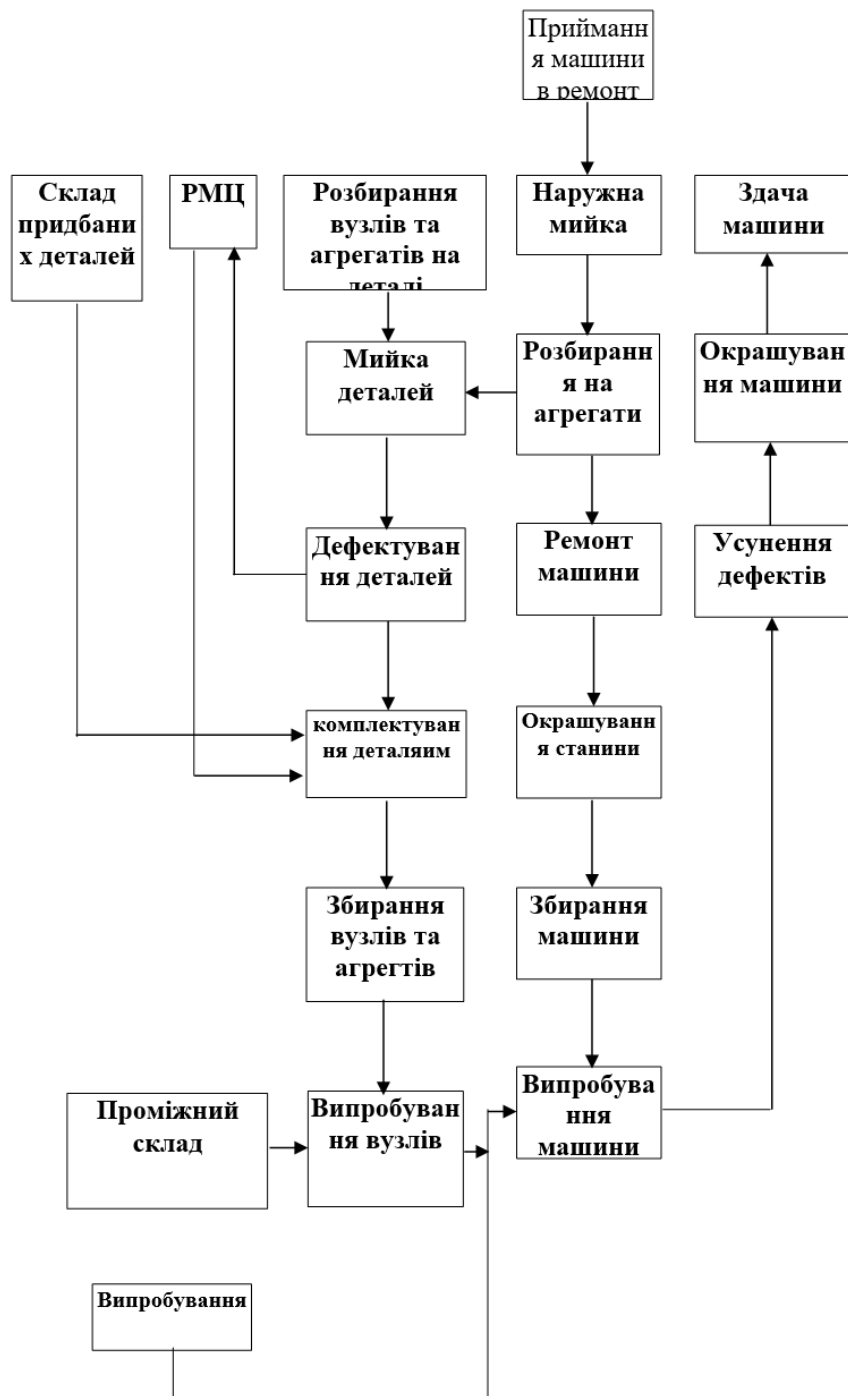


Рисунок 3.1. Схема технологічного процесу проведення ремонту

3.4 Розробка технології відновлення штока гідроциліндра бетононасоса

У процесі експлуатації поршневого бетононасоса БН-65 шток гідроциліндра працює в умовах змінних навантажень та постійного контакту з ущільнювальними елементами. У результаті тривалої роботи на поверхні штока можуть виникати сліди зношування, подряпини, задири та корозійні пошкодження, що негативно впливає на герметичність гідросистеми та надійність роботи обладнання.

Для відновлення працездатності деталі в даній роботі пропонується застосувати вібродугове наплавлення з подальшим шліфуванням до номінального розміру. Такий спосіб відновлення забезпечує високу якість наплавленого шару, добру адгезію металу та дозволяє суттєво збільшити ресурс деталі.

Вихідні дані для розрахунку

деталь – шток гідроциліндра бетононасоса БН-65;

матеріал деталі – сталь 45;

діаметр штока $d = 130$ мм;

довжина зношеної поверхні $L = 280$ мм;

середня глибина зношування $h = 0,8$ мм;

густина сталі $\rho = 7850$ кг/м³;

коефіцієнт наплавлення $dn = 0,012$ кг/(А·год);

зварювальний струм $I_{зв} = 170$ А;

коефіцієнт втрат часу $K_v = 1,35$.

3.4.1 Визначення об'єму металу, що підлягає наплавленню

Об'єм металу, необхідного для відновлення поверхні штока, визначається за формулою:

$$V = \pi \cdot d \cdot L \cdot h$$

де: V – об'єм наплавленого металу, м³;

d – діаметр штока, м;

L – довжина відновлюваної поверхні, м;

h – товщина шару наплавлення, м.

Підставляємо значення:

$$V = 3,14 \cdot 0,13 \cdot 0,28 \cdot 0,0008$$

$$V = 0,000091 \text{ м}^3$$

3.4.2 Визначення маси наплавленого металу

Маса металу, що наплавляється, визначається за формулою:

$$Q_M = \rho \cdot V$$

де: ρ – густина металу, кг/м³;

V – об'єм наплавленого металу, м³.

Підставляємо значення:

$$Q_M = 7850 \cdot 0,000091$$

$$Q_M = 0,71 \text{ кг}$$

3.4.3 Визначення часу вібродугового наплавлення

Тривалість наплавлення визначається залежністю:

$$t_H = Q_M / (d_n \cdot I_{зв})$$

де: Q_M – маса наплавленого металу, кг;

d_n – коефіцієнт наплавлення, кг/(А·год);

$I_{зв}$ – зварювальний струм, А.

Підставляємо значення:

$$t_H = 0,71 / (0,012 \cdot 170)$$

$$t_H = 0,35 \text{ год}$$

Фактичний час виконання операції з урахуванням підготовчо-завершальних робіт визначається за формулою:

$$t_{\phi} = t_H \cdot K_B$$

де: K_B – коефіцієнт втрат часу.

Підставляємо значення:

$$t_{\phi} = 0,35 \cdot 1,35$$

$$t_{\phi} = 0,47 \text{ год}$$

3.4.4 Чистове шліфування відновленої поверхні

Після завершення наплавлення шток підлягає механічній обробці на круглошліфувальному верстаті. Основною метою операції є відновлення номінальних геометричних розмірів та забезпечення необхідної якості поверхні.

Після шліфування необхідно забезпечити:

- номінальний діаметр штока – 130 мм;
- шорсткість поверхні не більше Ra 0,63;
- відхилення від циліндричності не більше 0,02 мм;
- відсутність тріщин, раковин та інших дефектів поверхні.

Контроль якості відновленої поверхні здійснюється за допомогою мікрометра та індикаторних вимірювальних приладів.

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що для відновлення штока гідроциліндра бетононасоса БН-65 необхідно наплавити приблизно 0,71 кг металу. Розрахунковий час вібродугового наплавлення становить 0,35 год, а з урахуванням підготовчо-завершальних операцій – 0,47 год.

Запропонована технологія відновлення дозволяє повернути деталі номінальні геометричні параметри, забезпечити необхідну якість робочої поверхні та значно продовжити термін її експлуатації. Використання вібродугового наплавлення є технічно доцільним та економічно обґрунтованим способом ремонту штока гідроциліндра поршневого бетононасоса БН-65.

3.5 Технічне обслуговування та карта змащення бетононасоса

Надійність роботи поршневого бетононасоса БН-65 значною мірою залежить від своєчасного проведення технічного обслуговування та контролю стану його основних вузлів. Регулярне виконання профілактичних заходів дозволяє зменшити інтенсивність зношування деталей, підвищити довговічність обладнання та запобігти виникненню аварійних ситуацій.

Під час експлуатації бетононасоса необхідно здійснювати постійний контроль за роботою насосного агрегату, гідросистеми та механізму перемикання потоку бетонної суміші. Особливу увагу слід приділяти технічному стану модернізованого поршневого вузла, герметичності ущільнень та стану робочих поверхонь циліндрів.

До основних контрольованих параметрів належать:

- тиск робочої рідини в гідросистемі;
- температура масла в маслобаку;
- герметичність трубопроводів і з'єднань;
- стан бетонотранспортних поршнів;
- рівень масла в гідросистемі;
- стан бетонопроводу та швидкокорозійних з'єднань;
- робота розподільного механізму;
- рівень води у промивальній камері.

Роботи, що виконуються під час технічного обслуговування

Щозмінне технічне обслуговування передбачає:

- зовнішній огляд бетононасоса;
- очищення приймального бункера від залишків бетонної суміші;
- перевірку герметичності гідросистеми;
- контроль рівня робочої рідини;
- перевірку роботи контрольно-вимірювальних приладів;
- огляд бетонопроводу та з'єднувальних елементів.

Під час періодичного технічного обслуговування необхідно:

- перевіряти кріплення основних вузлів;
- контролювати стан ущільнювальних елементів;
- очищувати та промивати фільтри гідросистеми;
- виконувати регулювання механізму перемикання;
- проводити змащування вузлів відповідно до карти змащення.

Роботи, що виконуються під час поточного ремонту

Поточний ремонт передбачає:

1. Заміну ущільнювальних кілець поршневого вузла.
2. Заміни зношених рукавів високого тиску.
3. Відновлення або заміну елементів бетонопроводу.
4. Заміни підшипників механізму перемішування.
5. Усунення виявлених дефектів деталей та складальних одиниць.

Роботи, що виконуються під час капітального ремонту

Капітальний ремонт включає:

- повне розбирання насосного агрегату;
- дефектацію деталей;
- відновлення або заміну штоків гідроциліндрів;
- заміну поршнів та ущільнень;
- перевірку стану гідроциліндрів;
- ремонт або заміну елементів гідросистеми;
- контрольне складання та регулювання;
- випробування обладнання під навантаженням.

Таблиця 3.2 – Карта змащення бетононасоса

Складальна одиниця	Деталь, що змащується	Спосіб змащування	Періодичність	Масильний матеріал
Електродвигун	Підшипники	Набивання мастила	1 раз на 12 місяців	Літол-24
		Змащування робочою рідиною		Гідравлічне масло ISO VG 46
Гідроциліндр	Шток		Постійно	
Перемішувальний механізм	Підшипники	Шприцювання	1 раз на 500 год	Літол-24
	Шарнірні з'єднання	Пальці та втулки	Ручне змащування	1 раз на місяць
	Механізм	Осі та	Ручне	1 раз на
				Літол-24

Складальна одиниця	Деталь, що змащується	Спосіб змащування	Періодичність	Масильний матеріал
перемикання	шарніри	змащування	місяць	
Гідросистема	Насос і розподільники	Заправлення системи	Заміна через 2000 год	Гідравлічне масло ISO VG 46
Промивальна камера	Напрямна втулка штока	Змащування водним середовищем	Постійно	Технічна вода

Розроблена система технічного обслуговування та карта змащення забезпечують підтримання працездатності бетононасоса БН-65 протягом усього терміну експлуатації. Особлива увага приділяється модернізованому поршневому вузлу, своєчасне обслуговування якого дозволяє зменшити інтенсивність зношування деталей, підвищити надійність роботи обладнання та збільшити міжремонтний ресурс машини.

4. Охорона праці

4.1 Загальна характеристика умов праці під час експлуатації бетононасоса БН-65

Під час експлуатації поршневого бетононасоса БН-65 персонал виконує роботи, пов'язані з подачею бетонної суміші, обслуговуванням насосного обладнання, контролем роботи гідравлічної системи та очищенням бетонопроводу. Безпечне виконання цих операцій забезпечується дотриманням вимог нормативних документів з охорони праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки.

Особливістю роботи бетононасоса є наявність обладнання, яке працює під високим тиском, використання електричних приводів значної потужності та постійний контакт із бетонною сумішшю. Тому експлуатація установки потребує постійного контролю технічного стану обладнання, проведення профілактичних оглядів та своєчасного усунення несправностей.

До роботи допускаються особи, які пройшли медичний огляд, вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці та перевірку знань з питань охорони праці.

4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Під час роботи системи подачі та укладання бетонної суміші на працівників можуть впливати різні виробничі фактори.

До небезпечних факторів належать:

- рухомі частини насосного обладнання;
- високий тиск у гідросистемі та бетонопроводі;
- можливість розриву рукавів високого тиску;
- електричний струм;
- падіння інструменту або деталей під час ремонту;
- переміщення вантажів вантажопідіймальними механізмами.

До шкідливих факторів належать:

- підвищений рівень шуму від роботи насоса;

- вібрація насосного агрегату;
- цементний пил;
- несприятливий мікроклімат виробничого приміщення;
- контакт шкіри з компонентами бетонної суміші;
- підвищене фізичне навантаження під час монтажних та ремонтних робіт.

Аналіз умов праці показує, що найбільшу небезпеку становлять роботи з обслуговування гідравлічної системи та очищення бетонопроводу після завершення подачі бетонної суміші.

4.3 Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці

Для зниження впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів необхідно передбачити комплекс організаційних та технічних заходів.

До організаційних заходів належать:

- проведення вступного та періодичного інструктажу;
- навчання персоналу безпечним методам роботи;
- перевірка знань з охорони праці;
- розроблення інструкцій з експлуатації обладнання;
- контроль дотримання вимог безпеки.

До технічних заходів належать:

- встановлення захисних кожухів на рухомих частинах;
- заземлення електрообладнання;
- використання автоматичних пристроїв захисту;
- контроль тиску в гідросистемі;
- використання запобіжних клапанів;
- забезпечення належної вентиляції виробничого приміщення.

Особлива увага приділяється модернізованому поршневному вузлу бетононасоса. Регулярний контроль стану ущільнювальних кілець дозволяє своєчасно виявляти зношування та запобігати аварійним режимам роботи обладнання.

4.4 Розрахунок штучного освітлення виробничого приміщення

Для забезпечення безпечної роботи обслуговуючого персоналу необхідно створити нормативний рівень освітленості виробничого приміщення.

Вихідні дані:

- довжина приміщення $L = 54$ м;
- ширина приміщення $B = 24$ м;
- висота підвісу світильників $h = 5,5$ м;
- нормована освітленість $E_n = 200$ лк;
- коефіцієнт запасу $K_z = 1,4$;
- коефіцієнт нерівномірності $K_n = 1,15$;
- коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,46$;
- світловий потік однієї лампи $\Phi_l = 3200$ лм;
- кількість ламп у світильнику $n = 2$.

Визначення площі приміщення

Площа приміщення визначається за формулою:

$$A = L \cdot B$$

де: L – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м.

Підставляємо значення:

$$A = 54 \cdot 24$$

$$A = 1296 \text{ м}^2$$

Визначення необхідної кількості світильників

Необхідна кількість світильників визначається за формулою:

$$N = (E_n \cdot A \cdot K_z \cdot K_n) / (\Phi_l \cdot n \cdot \eta)$$

де: E_n – нормована освітленість, лк;

A – площа приміщення, м^2 ;

K_z – коефіцієнт запасу;

K_n – коефіцієнт нерівномірності;

Фл – світловий потік однієї лампи, лм;

п – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Підставляємо числові значення:

$$N = (200 \cdot 1296 \cdot 1,4 \cdot 1,15) / (3200 \cdot 2 \cdot 0,46)$$

$$N = 417312 / 2944$$

$$N = 141,8$$

Приймаємо:

$$N = 142 \text{ світильники}$$

Отже, для забезпечення нормативної освітленості виробничого приміщення необхідно встановити 142 світильники з двома світлодіодними лампами в кожному.

4.5 Розрахунок захисного заземлення обладнання

Для забезпечення електробезпеки під час експлуатації бетононасоса БН-65 необхідно передбачити захисне заземлення електрообладнання.

Заземлення призначене для зниження напруги дотику до безпечного значення у випадку пошкодження ізоляції та появи напруги на металевих частинах машини.

Заземленню підлягають металева рама бетононасоса, корпус електродвигуна, шафа керування, маслостанція та інші металеві частини обладнання, які за нормальних умов не перебувають під напругою, але можуть опинитися під нею в аварійному режимі.

Вихідні дані для розрахунку

- питомий опір ґрунту $\rho = 80 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
- допустимий опір заземлювального пристрою $R_{\text{доп}} = 4 \text{ Ом}$;
- довжина вертикального заземлювача $l = 3 \text{ м}$;
- діаметр вертикального заземлювача $d = 0,05 \text{ м}$;
- глибина закладання верхнього кінця заземлювача $h = 0,7 \text{ м}$;
- коефіцієнт використання групового заземлювача $\eta = 0,65$.

Визначення опору одного вертикального заземлювача

Опір одного вертикального заземлювача визначається за формулою:

$$R_1 = (\rho / (2 \cdot \pi \cdot l)) \cdot \ln(4 \cdot l / d)$$

де: R_1 – опір одного вертикального заземлювача, Ом;

ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м;

l – довжина заземлювача, м;

d – діаметр заземлювача, м.

Підставляємо значення:

$$R_1 = (80 / (2 \cdot 3,14 \cdot 3)) \cdot \ln(4 \cdot 3 / 0,05)$$

$$R_1 = (80 / 18,84) \cdot \ln(240)$$

$$R_1 = 4,25 \cdot 5,48$$

$$R_1 = 23,3 \text{ Ом}$$

Визначення необхідної кількості заземлювачів

Кількість вертикальних заземлювачів визначається за формулою:

$$n = R_1 / (R_{\text{доп}} \cdot \eta)$$

де:

n – кількість вертикальних заземлювачів;

$R_{\text{доп}}$ – допустимий опір заземлювального пристрою, Ом;

η – коефіцієнт використання заземлювачів.

Підставляємо значення:

$$n = 23,3 / (4 \cdot 0,65)$$

$$n = 23,3 / 2,6$$

$$n = 8,96$$

Приймаємо:

$$n = 9 \text{ заземлювачів}$$

Визначення фактичного опору заземлювального пристрою

Фактичний опір групового заземлювача визначається за формулою:

$$R_{\text{ф}} = R_1 / (n \cdot \eta)$$

Підставляємо значення:

$$R_{\text{ф}} = 23,3 / (9 \cdot 0,65)$$

$$R_{\phi} = 23,3 / 5,85$$

$$R_{\phi} = 3,98 \text{ Ом}$$

Перевірка умови електробезпеки

Умова електробезпеки має вигляд:

$$R_{\phi} \leq R_{\text{доп}}$$

Підставляємо значення:

$$3,98 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}$$

Умова виконується.

Для забезпечення захисного заземлення бетононасоса БН-65 необхідно встановити 9 вертикальних заземлювачів довжиною 3 м і діаметром 50 мм. Фактичний опір заземлювального пристрою становить 3,98 Ом, що не перевищує допустиме значення 4 Ом. Отже, прийнята схема заземлення забезпечує необхідний рівень електробезпеки під час експлуатації обладнання.

4.6 Засоби індивідуального захисту та пожежна безпека

Працівники, які обслуговують бетононасос БН-65, повинні бути забезпечені такими засобами індивідуального захисту:

- захисним спецодягом;
- захисним взуттям;
- каскою;
- захисними окулярами;
- рукавицями;
- протишумовими навушниками;
- респіраторами для захисту від цементного пилу.

Для забезпечення пожежної безпеки виробниче приміщення повинно бути обладнане:

- порошковими вогнегасниками;
- пожежними щитами;
- системою оповіщення про пожежу;

- евакуаційними виходами;
- схемами евакуації персоналу.

Пожежонебезпечними факторами є електрообладнання, мастильні матеріали та можливі короткі замикання в електричних мережах. Для запобігання пожежам необхідно проводити регулярний контроль технічного стану електрообладнання та дотримуватися правил пожежної безпеки.

У розділі розглянуто основні питання охорони праці та безпеки під час експлуатації поршневого бетононасоса БН-65. Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, розроблено комплекс організаційних та технічних заходів щодо їх мінімізації, виконано розрахунок штучного освітлення виробничого приміщення та визначено вимоги до технічного обслуговування обладнання.

Результати розрахунків показали, що для забезпечення нормативного рівня освітленості необхідно встановити 142 світильники. Запропоновані заходи з охорони праці, використання засобів індивідуального захисту та дотримання вимог пожежної безпеки забезпечують безпечну експлуатацію бетононасоса БН-65, зменшують ризик виробничого травматизму та створюють належні умови праці для обслуговуючого персоналу.

Висновки

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності процесу подачі та укладання бетонної суміші шляхом застосування поршневого бетононасоса БН-65. Актуальність роботи обумовлена необхідністю механізації бетонних робіт, підвищення продуктивності будівельного виробництва та забезпечення стабільної якості укладання бетонної суміші.

У ході виконання роботи проведено аналіз існуючих способів транспортування бетонних сумішей та встановлено, що використання поршневих бетононасосів дозволяє значно скоротити трудомісткість робіт, забезпечити безперервність технологічного процесу та підвищити ефективність використання виробничих ресурсів.

У технологічній частині роботи розглянуто будову, принцип роботи та основні технічні характеристики поршневого бетононасоса БН-65. Встановлено, що дана машина забезпечує надійну подачу бетонної суміші по бетонопроводах на значні відстані та може ефективно використовуватися під час виконання будівельно-монтажних робіт різного призначення.

У розрахунковій частині виконано визначення основних параметрів системи подачі бетонної суміші при річній продуктивності 30000 м³. Проведено розрахунок продуктивності бетононасоса, параметрів бетонопроводу, гідроциліндра приводу та модернізованого поршневого вузла. За результатами розрахунків встановлено, що прийняті конструктивні параметри забезпечують стабільну роботу обладнання та виконання заданої виробничої програми.

У конструкторській частині роботи запропоновано модернізацію бетонотранспортного поршня шляхом застосування розрізних ущільнювальних кілець. Запропоноване технічне рішення дозволяє підвищити герметичність робочої камери, зменшити втрати бетонної суміші через зазори між поршнем і циліндром, знизити інтенсивність зношування деталей та збільшити міжремонтний ресурс обладнання.

У спеціальному розділі розроблено організацію ремонту поршневого бетононасоса БН-65, виконано розрахунок трудомісткості ремонтних робіт, визначено чисельність ремонтної бригади та запропоновано технологію відновлення штока гідроциліндра методом вібродугового наплавлення. Запропоновані заходи спрямовані на скорочення простоїв обладнання та підвищення ефективності його експлуатації.

У розділі з охорони праці проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, розроблено заходи щодо забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації та ремонту бетононасоса, виконано розрахунок штучного освітлення виробничого приміщення та розрахунок захисного заземлення електрообладнання.

Отримані результати свідчать про технічну доцільність використання модернізованої системи подачі бетонної суміші на базі поршневого бетононасоса БН-65. Запропоновані конструктивні та організаційно-технічні рішення забезпечують підвищення надійності роботи обладнання, покращення умов його експлуатації та сприяють підвищенню ефективності виконання бетонних робіт.

Список використаних джерел

1. Будівельні машини : підручник / За ред. М.П. Ковальського. – Київ : Вища школа, 2018. – 512 с.
2. Раннєв А.В., Корольов М.Д. Будівельні машини та основи автоматизації. – Київ : Професіонал, 2019. – 432 с.
3. Технологія будівельного виробництва : підручник / За ред. В.К. Черненко. – Київ : Кондор, 2020. – 368 с.
4. Машини для виробництва будівельних матеріалів : підручник / За ред. П.М. Назаренка. – Київ : Ліра-К, 2019. – 410 с.
5. ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови.
6. ДСТУ Б В.2.7-43-96. Бетони важкі. Технічні умови.
7. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
8. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва.
9. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи.
10. ДСТУ EN 206:2019. Бетон. Вимоги, властивості, виробництво та відповідність.
11. Мачерет В.О. Технологія бетонних робіт. – Київ : Основа, 2021. – 356 с.
12. Баженов Ю.М. Технологія бетону. – Харків : Факт, 2018. – 528 с.
13. Шмітт Р. Насоси та насосні установки. – Львів : Новий Світ-2000, 2019. – 392 с.
14. Башта Т.М. Гідравліка, гідромашини та гідроприводи. – Київ : Інкос, 2020. – 480 с.
15. Свешніков В.К. Гідропривід та засоби гідроавтоматики. – Харків : НТУ «ХП», 2018. – 412 с.
16. Технологічне обладнання підприємств будівельної індустрії : навчальний посібник / За ред. І.М. Гевка. – Тернопіль : ТНТУ, 2020. – 348 с.

17. Гевко І.Б. Машини та обладнання для будівельної індустрії. – Тернопіль : ФОП Паляниця, 2021. – 396 с.
18. Волков Д.П. Будівельні машини та обладнання. – Київ : Каравела, 2019. – 464 с.
19. Ковальчук В.Г. Експлуатація та ремонт будівельних машин. – Київ : Центр навчальної літератури, 2020. – 328 с.
20. Сидоренко М.О. Технічне обслуговування та ремонт машин і обладнання. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2021. – 274 с.
21. ДСТУ 7237:2011. Система технічного обслуговування та ремонту техніки. Основні положення.
22. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. – Київ : Мінсоцполітики України, 2018.
23. НПАОП 0.00-1.80-18. Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних механізмів.
24. НПАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
25. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
26. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпечність машин. Електрообладнання машин.
27. ДСТУ ISO 12100:2015. Безпечність машин. Загальні принципи конструювання.
28. Костюк О.М. Основи надійності та довговічності машин. – Київ : Ліра-К, 2019. – 304 с.
29. Каталог та технічний опис бетононасоса БН-65. – Київ : Будмаш, 2020. – 48 с.
30. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2024. – 56 с.