

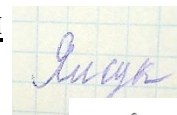
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА
Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та
транспортної інфраструктури
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА
на тему «Ківшовий елеватор для транспортування інертних компонентів
бетонних сумішей»

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

133 – Галузеве машинобудування

Янчук Григорій Миколайович
(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**

Янчука Григорія Миколайовича

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

1. Тема роботи Ківшовий елеватор для транспортування інертних компонентів бетонних сумішей

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. Ківшовий леватор для транспортування інертних складових під час приготування будівельних сумішей

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз конструкцій ківшових елеваторів, обґрунтування вибору конструкції, розрахунок основних параметрів, тягового органу та приводу, розробку конструкції елеватора, а також розглянуто питання охорони праці та безпечної експлуатації обладнання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) технологічна лінія, загальний вигляд елеватору, складові креслення (привід), деталювання (вал, колесо, коток)

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 _____ Янчук Г. М. _____

(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 _____ Янчук Г. М. _____

(підпис)

Керівник _____ к.т.н., доц. Цегельник Є.В. _____

(підпис)

РЕФЕРАТ

У роботі розглядаються конструкція та принцип роботи ківшового елеватора для транспортування інертних компонентів бетонних сумішей. Проведено аналіз сучасних конструкцій елеваторів, умов транспортування сипких та абразивних матеріалів, а також особливостей їх використання у технологічних лініях виробництва бетонних сумішей.

У роботі обґрунтовано вибір типу ківшового елеватора, виконано розрахунок продуктивності, тягового органу, ківшів і приводу. Розроблено конструкцію основних вузлів елеватора та описано принцип його роботи.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці, пожежної безпеки, електробезпеки та заходам із захисту навколишнього середовища під час експлуатації обладнання.

Результати роботи можуть бути використані під час проектування та модернізації транспортуючого обладнання бетонозмішувальних установок і підприємств будівельної індустрії.

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 70 сторінок, в тому числі: 17 рисунків; 2 таблиці; перелік посилань з 20 найменувань на 2 сторінках.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КІВШОВИЙ ЕЛЕВАТОР, НОРІЯ, ТРАНСПОРТУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ, ІНЕРТНІ КОМПОНЕНТИ, БЕТОННА СУМІШ, ТЯГОВИЙ ОРГАН, КІВШ, ПРИВОД ЕЛЕВАТОРА, ПРОДУКТИВНІСТЬ, БУДІВЕЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ, БЕЗПЕРЕРВНИЙ ТРАНСПОРТ.

ABSTRACT

The paper considers the design and operating principle of a bucket elevator intended for transportation of inert components of concrete mixtures. An analysis of modern bucket elevator designs, transportation conditions for bulk and abrasive materials, as well as the specific features of their application in technological lines for concrete mixture production has been carried out.

The study substantiates the selection of the bucket elevator type and includes calculations of the elevator capacity, traction element, buckets, and drive system. The design of the main elevator assemblies has been developed, and the operating principle of the equipment has been described.

Special attention is paid to occupational safety, fire safety, electrical safety, and environmental protection measures during equipment operation.

The obtained results can be used in the design and modernization of conveying equipment for concrete mixing plants and construction industry enterprises.

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

The Bachelor's qualification thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, and references. The total volume of the thesis is 70 pages, including 17 figures, 2 tables, and a list of 20 references presented on 2 pages.

KEYWORDS: BUCKET ELEVATOR, BUCKET CONVEYOR, MATERIAL HANDLING, INERT COMPONENTS, CONCRETE MIXTURE, TRACTION ELEMENT, BUCKETS, ELEVATOR DRIVE, CAPACITY, CONSTRUCTION EQUIPMENT, CONTINUOUS TRANSPORT.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

Сучасне виробництво бетонних сумішей потребує високопродуктивного, надійного та енергоефективного транспортного обладнання для переміщення сипких інертних матеріалів. Одним із найбільш поширених видів транспортуючих машин у бетонозмішувальних установках є ківшові елеватори, які забезпечують вертикальне транспортування піску, щебеню та інших компонентів бетонної суміші. Від ефективності роботи ківшового елеватора залежить безперервність технологічного процесу, продуктивність підприємства та якість готової продукції.

У сучасних умовах розвитку будівельної галузі особливої актуальності набуває вдосконалення конструкцій ківшових елеваторів, підвищення їхньої продуктивності, довговічності та зниження енергоспоживання. Крім того, важливим є забезпечення надійності роботи обладнання при транспортуванні абразивних матеріалів, що викликають інтенсивне зношування робочих елементів. Тому тема проектування ківшового елеватора для транспортування інертних компонентів бетонних сумішей є актуальною та має важливе практичне значення для підприємств будівельної індустрії.

Мета дослідження – розроблення конструкції ківшового елеватора для транспортування інертних компонентів бетонних сумішей із забезпеченням необхідної продуктивності, надійності та енергоефективності роботи.

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

- 1 Провести аналіз конструкцій та принципів роботи сучасних ківшових елеваторів.
- 2 Виконати аналіз умов транспортування інертних компонентів бетонних сумішей.
- 3 Обґрунтувати вибір типу ківшового елеватора для транспортування інертних матеріалів.
- 4 Визначити основні параметри елеватора та виконати розрахунок його продуктивності.
- 5 Провести розрахунок тягового органу, ківшів і приводу елеватора.
- 6 Розробити конструкцію основних вузлів ківшового елеватора та описати принцип їх роботи.
- 7 Розглянути питання охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та безпечної експлуатації обладнання.

Об'єкт дослідження – процес вертикального транспортування інертних компонентів бетонних сумішей ківшовим елеватором.

Предмет дослідження – конструктивні параметри, режими роботи та експлуатаційні характеристики ківшового елеватора для транспортування інертних матеріалів.

Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні конструкції ківшового елеватора, який може бути використаний на підприємствах будівельної індустрії для ефективного транспортування інертних компонентів бетонних сумішей. Запропоновані технічні рішення спрямовані на підвищення продуктивності обладнання, зменшення енергетичних витрат та підвищення надійності роботи транспортної системи.

ЗМІСТ

	Стр
ВСТУП.....	6
ЗМІСТ.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ.....	10
1.1 Огляд літературних джерел.....	10
1.2 Конвеєри. Загальні відомості.....	11
1.3 Ківшові елеватори.....	13
1.4 Аналіз конструкцій та принципів роботи сучасних ківшових елеваторів.....	17
1.5 Аналіз умов транспортування інертних матеріалів бетонних сумішей.....	19
1.6 Елеватор у складі технологічної лінії виробництва бетонних і сухих будівельних сумішей.....	20
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	25
2.1 Елеватори та їх складові елементи.....	25
2.2 Опис конструкції та принципу роботи розроблюваного елеватора.....	29
2.3 Розрахунок основних параметрів елеватора.....	31
2.3.1 Продуктивність ківшевого елеватора.....	31
2.3.2 Визначення параметрів передаточного механізму привода ведучого барабана.....	33
2.3.3 Вибір з'єднувальних муфт.....	33
2.3.4 Визначення параметрів тягового ходового пристрою.....	34
2.3.5 Визначення гальмівного моменту і вибір гальма.....	35
2.3.6 Розрахунок варіатора.....	36
2.4 Розрахунки на міцність деталей привода ківшевого елеватора.....	38
2.4.1 Розрахунок вала ведучого барабана.....	38
2.4.2 Перевірка міцності вала на згин і кручення (складний опір).....	40
2.4.3 Перевірка вала на витривалість.....	42
2.4.4 Розрахунок підшипників кочення.....	44
2.4.6 Розрахунок болтових з'єднань.....	46
РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	49
3.1 Розробка технологічного процесу виготовлення вала ведучого приводу.....	49
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	60
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	60

4.2 Забезпечення виробничої безпеки під час експлуатації кiвшового елеватора.....	60
4.3 Забезпечення пожежної безпеки об'єкта.....	61
4.4 Дії персоналу при аварійних ситуаціях.....	62
4.5 Заходи з охорони навколишнього середовища.....	63
4.6 Розрахунок заземлення.....	63
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	69

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ

1.1 Огляд літературних джерел

Питання проєктування та експлуатації ківшових елеваторів детально розглядаються у науково-технічній літературі, присвяченій підйомно-транспортним машинам та обладнанню безперервної дії. Основна увага дослідників приділяється підвищенню продуктивності транспортуючих систем, забезпеченню надійності роботи обладнання та зменшенню енерговитрат під час транспортування сипких матеріалів.

У підручнику Підйомно-транспортні машини Співаковського О. О. та Дьячкова В. К. розглянуто класифікацію транспортуючих машин, конструкції ківшових елеваторів, методики визначення їх продуктивності, вибір тягових органів та розрахунок приводу. Автори наводять основні залежності для визначення швидкості руху ківшів, потужності приводу та параметрів завантаження матеріалу [1].

У праці Машини безперервного транспорту наведено основні теоретичні положення щодо роботи машин безперервного транспорту, розглянуто конструкції стрічкових та ланцюгових елеваторів, режими їх роботи, а також питання динамічних навантажень і зношування елементів транспортуючих систем [2].

У навчальному посібнику Транспортуючі машини висвітлено сучасні конструкції транспортуючих машин, наведено рекомендації щодо вибору типу елеватора залежно від властивостей транспортованого матеріалу та умов експлуатації. Значну увагу приділено транспортуванню сипких та абразивних матеріалів, до яких належать інертні компоненти бетонних сумішей [3].

У виданні Machine Elements in Mechanical Design розглянуто методики проєктування механічних елементів машин, зокрема валів, підшипників, передач та приводних механізмів, що використовуються у конструкціях ківшових елеваторів [4].

Праця Materials Handling Handbook містить практичні рекомендації щодо вибору транспортуючого обладнання для сипких матеріалів, наведено конструктивні особливості промислових елеваторів та питання забезпечення їх надійності [5].

Важливими нормативними документами при проєктуванні транспортуючих машин є стандарт ISO 5048:1989, який регламентує методи визначення тягових зусиль і потужності приводу конвеєрного обладнання, а

також ДСТУ ISO 12100:2014, що встановлює загальні принципи безпечного конструювання машин та механізмів [6, 7].

Аналіз літературних джерел показав, що для транспортування інертних компонентів бетонних сумішей найбільш ефективними є вертикальні ківшові елеватори безперервної дії, які забезпечують високу продуктивність, компактність конструкції та можливість транспортування матеріалів на значну висоту. Основними напрямками вдосконалення сучасних елеваторів є:

- підвищення зносостійкості ківшів та тягових органів;
- зменшення енергоспоживання;
- підвищення надійності приводу;
- зниження втрат матеріалу при завантаженні та розвантаженні;
- автоматизація процесів контролю роботи обладнання.

1.2 Конвеєри. Загальні відомості

Конвеєри є транспортуючими машинами безперервної дії, призначеними для горизонтального, похилого або вертикального переміщення різних видів вантажів. За допомогою конвеєрів транспортують як штучні вантажі (наприклад, цеглу чи будівельні вироби), так і сипкі матеріали, зокрема пісок, щебінь, цемент та інші компоненти бетонних сумішей (рис. 1.1).

Стрічковий конвеєр являє собою машину безперервного транспортування, у якій тяговим і вантажонесучим елементом є замкнена гнучка стрічка. Рух стрічки забезпечується приводним барабаном, який передає зусилля завдяки силам тертя між барабаном і стрічкою. Необхідний натяг стрічки створюється за допомогою натяжного пристрою та натяжного барабана.

Матеріал переміщується по стрічці, що виготовляється з декількох шарів прогумованої тканини. Для конвеєрів великої довжини використовують стрічки, армовані сталевими канатами, що підвищує їх міцність та довговічність. Швидкість руху стрічки для сипких матеріалів зазвичай становить 1,5–2,5 м/с, а для штучних вантажів – 0,5–1,5 м/с.

Стрічкові конвеєри здатні транспортувати матеріали під кутом до 20°. Для роботи на більших кутах нахилу стрічки оснащують спеціальними поперечними перегородками або планками, які запобігають сповзанню вантажу.

За конструктивним виконанням стрічкові конвеєри поділяються на:

- стаціонарні;
- пересувні.

Пересувні конвеєри мають довжину 5–15 м, ширину стрічки 0,4–0,5 м та висоту розвантаження до 5,5 м. Довжина стаціонарних конвеєрів може досягати 40–80 м і більше.

Скребкові та пластинчасті конвеєри належать до машин, у яких вантажонесучий елемент складається з окремих пластин або скребків, закріплених на тяговому ланцюзі. Такі конвеєри застосовують для транспортування кускових, важких та абразивних матеріалів, у тому числі щебеню та будівельних сумішей. Вони можуть працювати як у горизонтальному положенні, так і при нахилі до 30°.

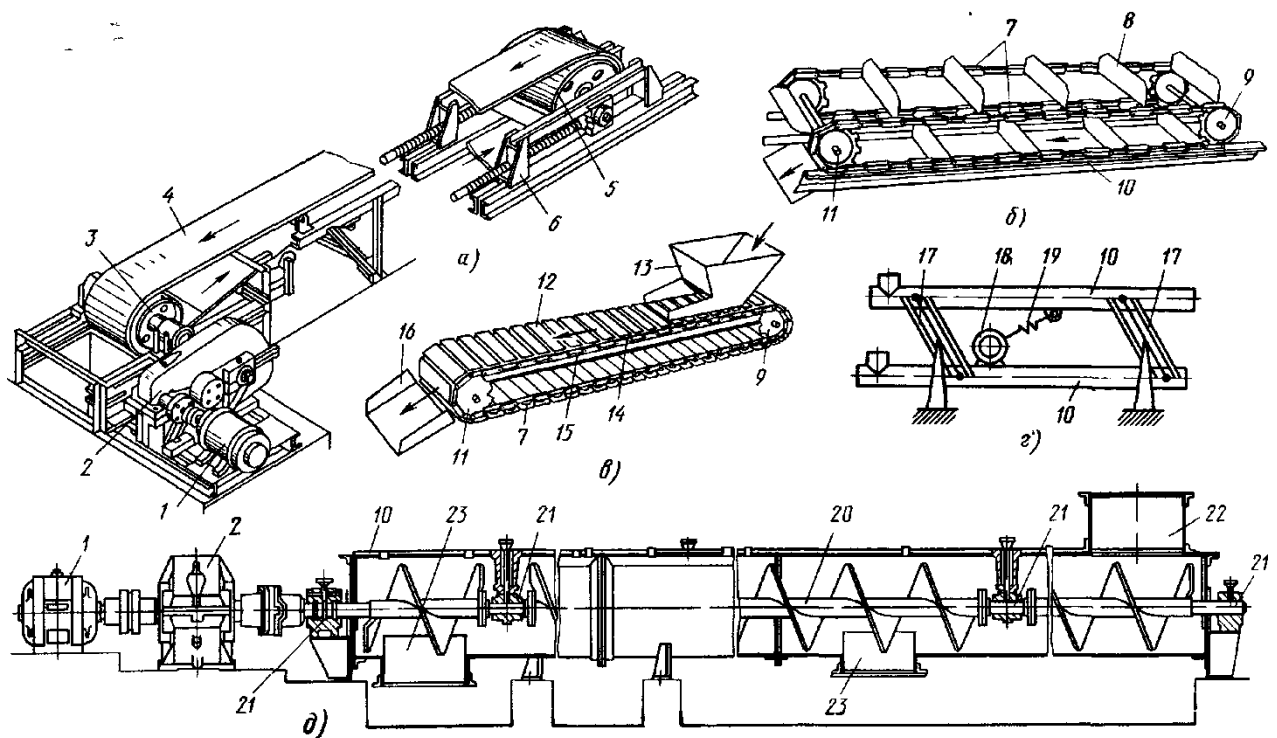


Рисунок 1.1 – Основні типи конвеєрів

- а – стрічковий; б – скребковий; в – пластинчастий; г – вібраційний;
 д – гвинтовий; 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – приводний барабан;
 4 – стрічка; 5 – натяжний барабан; 6 – натяжний пристрій; 7 – тяговий ланцюг;
 8 – скребок; 9, 11 – натяжна та приводна зірочки; 10 – жолоб;
 12 – пластина; 13 – завантажувальна лійка; 14 – роликів опора;
 15 – напрямна; 16 – лоток; 17 – ресори; 18 – віброзбуджувач; 19 – пружина;
 20 – гвинтовий вал; 21 – підшипникова опора; 22, 23 – завантажувальний та
 розвантажувальний отвори

Гвинтові конвеєри здійснюють переміщення матеріалу в жолобі або трубі за допомогою обертового гвинта з лопатями. Під час обертання гвинтові лопаті

захоплюють матеріал і переміщують його вздовж осі конвеєра. Такі конвеєри використовуються для транспортування сипких, пилоподібних та пластичних матеріалів на відстань до 40 м.

Для різних типів матеріалів застосовують різні конструкції гвинтових лопатей:

- суцільні лопаті – для дрібнозернистих сипких матеріалів, наприклад цементу;
- стрічкові або лопатеві – для крупнокускових матеріалів, зокрема гравію;
- фасонні лопаті – для пластичних матеріалів, таких як бетонні суміші та будівельні розчини.

Для запобігання заклинюванню гвинта розмір частинок матеріалу не повинен перевищувати приблизно 8 % кроку гвинтової лопаті.

Вібраційні конвеєри являють собою металеві жолоби, встановлені під нахилом 5–15° у напрямку транспортування матеріалу. Переміщення вантажу відбувається завдяки коливанням, створюваним віброзбуджувачами. Такі конвеєри застосовують для транспортування сипких матеріалів та компонентів бетонних сумішей, а в окремих випадках – для подачі матеріалу під невеликим кутом угору.

1.3 Ківшові елеватори

Ківшові елеватори призначені для транспортування сипких і дрібнокускових матеріалів у вертикальному або крутонахилому напрямках. Вони широко використовуються для подачі цементу, піску, щебеню, гравію, шлаку та інших компонентів бетонних сумішей на висоту до 60 м. Максимальний кут нахилу транспортуючої траси може досягати 60° (рис. 1.2).

Основними робочими елементами елеватора є ківші, закріплені на тяговому органі – стрічці або втулочно-роликовому ланцюзі. Такі елеватори застосовуються на бетонозмішувальних установках, дробильно-сортувальних комплексах, асфальтобетонних заводах та інших підприємствах будівельної галузі.

Конструкція ківшового елеватора включає:

- приводний барабан або зірочку;
- натяжний барабан;
- тяговий орган;
- ківші;
- приводний механізм;
- металевий кожух.

Нижня частина елеватора з натяжним механізмом називається башмаком, а верхня частина з приводом – головою.

На тяговому органі можуть встановлюватися різні типи ківшів:

- мілкі – для вологих або погано сипких матеріалів;
- глибокі – для сухих сипких матеріалів;
- гострокутні – для крупнокускових і абразивних матеріалів.

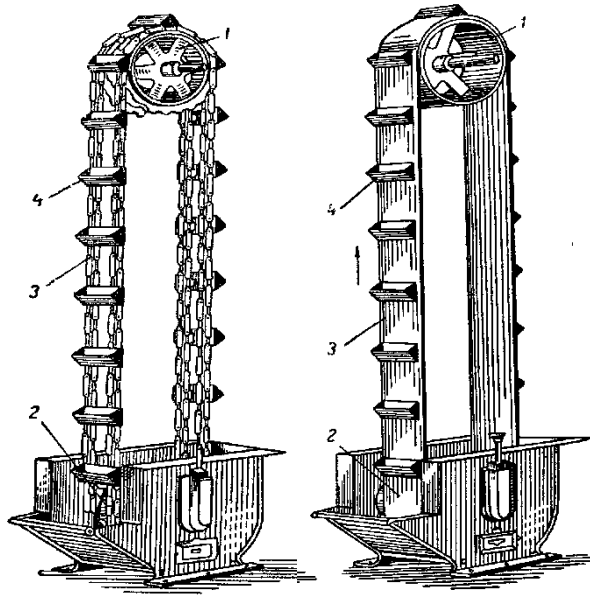


Рисунок 1.2 – Схеми ківшових елеваторів
а – ланцюговий; б – стрічковий

Гострокутні ківші зазвичай розміщуються впритул один до одного, тоді як мілкі та глибокі встановлюються з певним кроком, що у 2,5–3 рази перевищує висоту задньої стінки ківша.

Завантаження ківшів може здійснюватися двома способами:

- зачерпуванням матеріалу з башмака;
- безпосередньою подачею матеріалу у ківші через завантажувальний патрубок.

Метод зачерпування застосовується для цементу, піску та інших дрібнодисперсних матеріалів. Безпосереднє завантаження у ківші використовують для щебеню, гравію та крупнокускових матеріалів. Такий спосіб можливий при швидкості руху тягового органу не більше 1 м/с та зімкнутому розташуванні ківшів.

Розвантаження ківшів буває (рис. 1.3):

- відцентрове;
- самопливне вільне;

– самопливне спрямоване.

Відцентрове розвантаження використовується у швидкохідних елеваторах зі швидкістю руху ківшів 1–2 м/с при транспортуванні легкосипких матеріалів. У цьому випадку матеріал викидається з ківша під дією відцентрових сил.

Вільне самопливне розвантаження застосовується для вологих, злежуваних або погано сипких матеріалів. При цьому матеріал висипається під дією власної ваги.

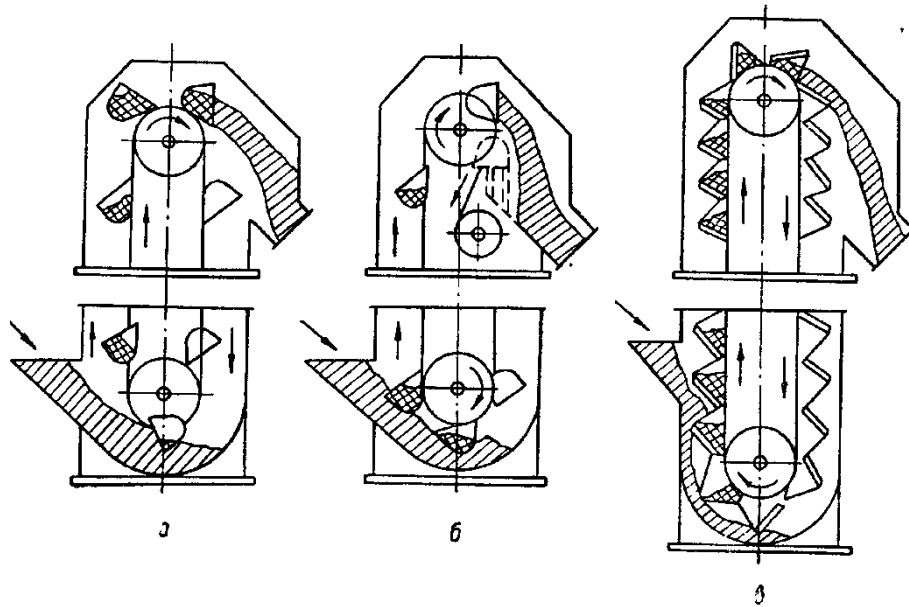


Рисунок 1.3 – Схеми завантаження та розвантаження ківшових елеваторів
а – завантаження з башмака та відцентрове розвантаження; б – завантаження з башмака та вільне самопливне розвантаження; в – завантаження безпосередньо в ківш і спрямоване самопливне розвантаження

Спрямоване самопливне розвантаження характерне для тихохідних елеваторів зі швидкістю руху ківшів 0,4–0,8 м/с та використовується для транспортування крупнокускових матеріалів.

Форма ківша визначається властивостями транспортованого матеріалу (рис.1.4):

- для сухих сипких матеріалів використовують глибокі ківші;
- для вологих та злежуваних – мілкі;
- для важких і крупнокускових – гострокутні.

Правильний вибір способу завантаження, типу розвантаження та конструкції ківша значною мірою визначає надійність і ефективність роботи елеватора.

Сучасні ківшові елеватори характеризуються:

- високою продуктивністю;

- значною висотою підйому;
- підвищеною зносостійкістю;
- надійністю роботи;
- тривалим терміном експлуатації.

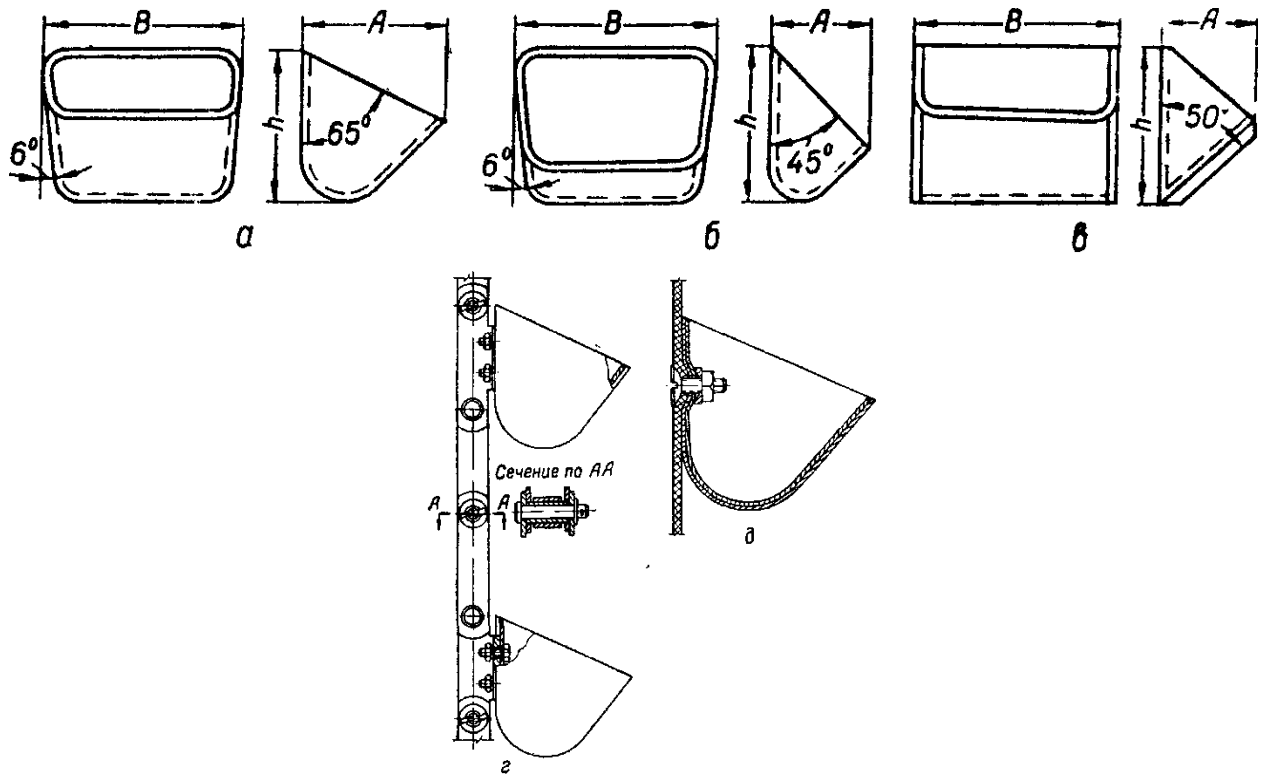


Рисунок 1.4 – Типи ківшів елеваторів

а – глибокий ківш; б – мілкий ківш; в – гострокутний ківш; г – кріплення ківша до ланцюга; д – кріплення ківша до стрічки

Для транспортування інертних матеріалів бетонних сумішей використовуються як стрічкові, так і ланцюгові елеватори. Ланцюгові елеватори застосовують переважно для важких і абразивних матеріалів, тоді як стрічкові – для легших сипких компонентів.

Основні параметри ківшових елеваторів:

- ширина ківшів – 100–1000 мм;
- крок ківшів – 160–800 мм;
- ширина стрічки – 125–700 мм;
- швидкість руху ківшів – 0,4–2,5 м/с;
- продуктивність – 1,6–320 м³/год;
- висота підйому – до 50 м.

Елеватори оснащуються:

- оглядовими люками;

- пристроями контролю швидкості;
- системами натягу;
- напрямними для стабілізації руху тягового органу;
- захисними пристроями для забезпечення безпечної експлуатації.

Завдяки компактності, високій продуктивності та можливості автоматизації процесу транспортування ківшові елеватори залишаються одним із найбільш ефективних видів обладнання для подачі інертних матеріалів у бетонозмішувальних установках та на підприємствах будівельної індустрії.

1.4 Аналіз конструкцій та принципів роботи сучасних ківшових елеваторів

Ківшові елеватори належать до машин безперервного транспорту та призначені для вертикального або похилого переміщення сипких, дрібнокускових і пилоподібних матеріалів. Вони широко застосовуються у будівельній, цементній, металургійній та харчовій промисловості.

Основними елементами конструкції ківшового елеватора є:

- тяговий орган (стрічка або ланцюг);
- ківші;
- приводна станція;
- натяжний пристрій;
- завантажувальний та розвантажувальний вузли;
- металоконструкція корпусу.

За типом тягового органу ківшові елеватори поділяються на:

- стрічкові;
- ланцюгові.

За способом виконання:

- стаціонарні;
- мобільні
- вбудовані у технологічне обладнання (молотарки, зерносушарки, зерноочисні установки, кормоприготувальні агрегати та навантажувальні машини);

За конструкцією робочого органу (рис.1.5) [8]:

- ківшові елеватори (норії), призначені для транспортування сипких і кускових матеріалів;
- поличні та колискові елеватори для переміщення штучних вантажів.

За способом завантаження та розвантаження матеріалу:

- тихохідні;

– швидкохідні.

Стрічкові елеватори характеризуються високою швидкістю руху ківшів, плавністю роботи та меншою масою конструкції. Вони застосовуються для транспортування сухих сипких матеріалів із невеликою абразивністю.

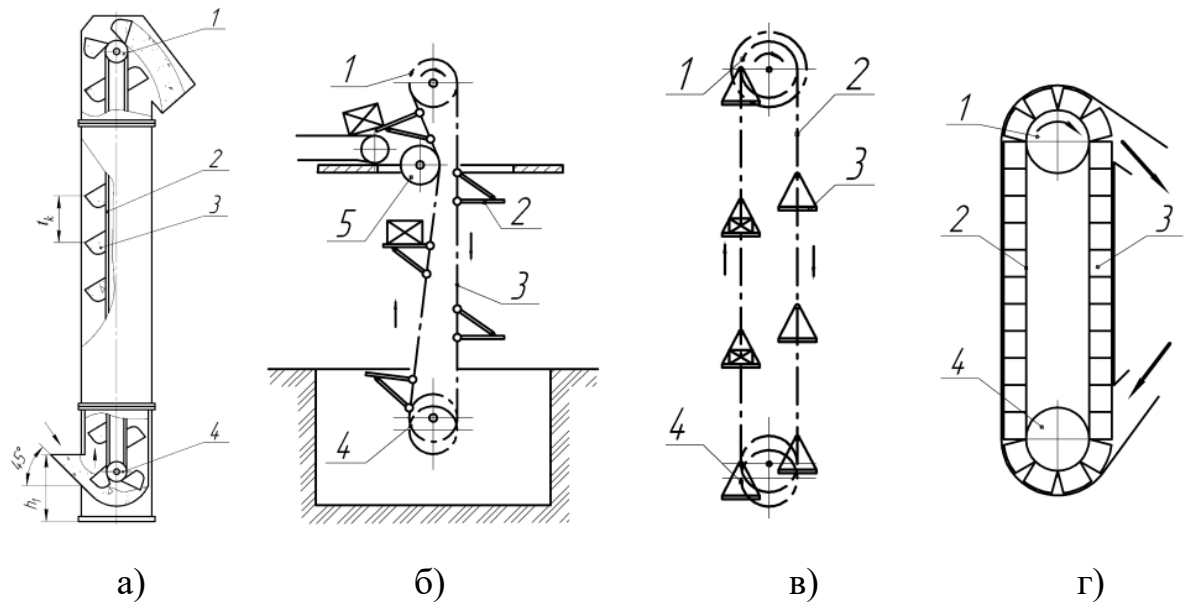


Рисунок 1.5 – Схеми ківшових елеваторів

а) з розставленими ківшами; б) з полками; в) з колісками; г) з ківшами без дна; 1 – приводний барабан (зірочка); 2 – тяговий орган; 3 – робочий орган (ківш, полка, коліска); 4 – натяжний барабан (зірочка); 5 – відтискна зірочка

Ланцюгові елеватори мають підвищену міцність та стійкість до ударних навантажень, тому використовуються для транспортування важких і абразивних матеріалів, зокрема щебеню та піску.

За способом розвантаження елеватори поділяються на:

- відцентрові;
- гравітаційні;
- змішаного типу.

Для транспортування інертних компонентів бетонних сумішей найчастіше застосовують елеватори з відцентровим способом розвантаження, оскільки вони забезпечують високу продуктивність та ефективне вивантаження матеріалу.

Принцип роботи ківшового елеватора полягає у захопленні матеріалу ківшами у нижній частині установки, його вертикальному транспортуванні та розвантаженні у верхній частині під дією відцентрових або гравітаційних сил.

Сучасні конструкції ківшових елеваторів оснащуються:

- зносостійкими ківшами;

- автоматичними системами натягу;
- датчиками контролю швидкості та перевантаження;
- системами пилозахисту та безпеки експлуатації.

Основними перевагами сучасних елеваторів є:

- компактність;
- висока продуктивність;
- можливість транспортування на значну висоту;
- безперервність роботи;
- автоматизація процесу транспортування.

До недоліків належать:

- інтенсивне зношування при роботі з абразивними матеріалами;
- складність ремонту тягових органів;
- необхідність точного центрування та регулювання обладнання.

1.5 Аналіз умов транспортування інертних матеріалів бетонних сумішей

Інертні матеріали бетонних сумішей, до яких належать пісок, щебінь, гравій та мінеральні добавки, характеризуються значною абразивністю, неоднорідністю гранулометричного складу та високою насипною масою. Ці властивості суттєво впливають на умови експлуатації транспортуючого обладнання.

Основними характеристиками інертних матеріалів є:

- насипна густина;
- вологість;
- крупність частинок;
- кут природного укосу;
- абразивність;
- сипкість.

Під час транспортування інертних компонентів виникають такі особливості:

- підвищене зношування ківшів і тягових органів;
- нерівномірність завантаження;
- утворення пилу;
- ударні навантаження при захопленні матеріалу;
- можливість налипання вологого матеріалу на робочі поверхні.

Для забезпечення ефективної роботи елеватора необхідно:

- правильно вибрати тип ківшів;

- забезпечити оптимальну швидкість руху тягового органу;
- використовувати зносостійкі матеріали;
- передбачити герметизацію корпусу;
- забезпечити надійний привід та систему натягу.

У бетонозмішувальних установках ківшові елеватори працюють у циклічних режимах із частими змінами навантаження, що потребує підвищеної надійності приводних механізмів та елементів конструкції.

Аналіз умов експлуатації показує, що для транспортування інертних матеріалів доцільно застосовувати ланцюгові або посилені стрічкові ківшові елеватори із зносостійкими ківшами та захисними системами контролю роботи обладнання.

1.6 Елеватор у складі технологічної лінії виробництва бетонних і сухих будівельних сумішей

Установка для виробництва сухих будівельних сумішей СБ-240-V. Машинобудівельний завод «Бетонмаш» пропонує установку для виробництва сухих будівельних сумішей СБ-240-V продуктивністю до 10 т/год (рис.1.6) [9].

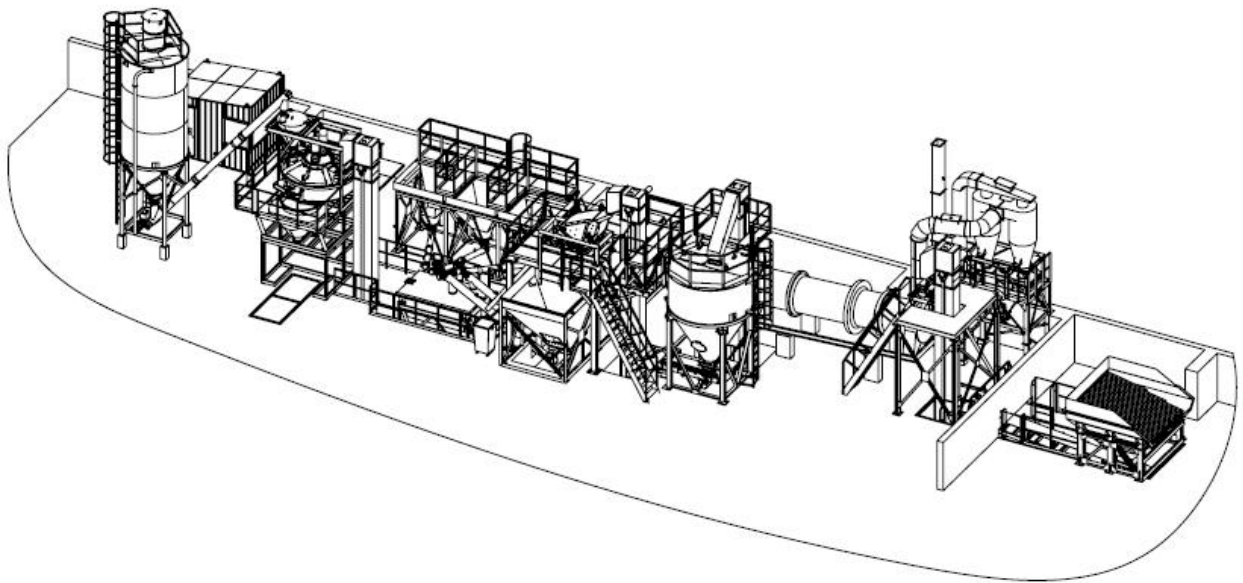


Рисунок 1.6 – Установка з виробництва сухих будівельних сумішей СБ-240-V

Установка призначена для приготування сухих будівельних сумішей на основі цементних або гіпсових в'язучих із використанням мінеральних добавок,

які забезпечують стабільність складу та надають сумішам необхідних експлуатаційних властивостей.

У технологічній лінії виробництва бетонних і сухих будівельних сумішей ківшові елеватори виконують важливу функцію вертикального транспортування сипких матеріалів між окремими технологічними вузлами.

Елеватор вологого піску використовується для подачі матеріалу від стрічкового живильника до вібраційного сита первинного очищення (рис.1.7). Основним призначенням такого елеватора є транспортування вологого піску та видалення крупних сторонніх включень і сміття розміром понад 10 мм.

Елеватор сухого піску призначений для переміщення висушеного матеріалу від сушильного барабана до бункера-накопичувача (рис.1.7). Після сушіння та очищення пісок подається до систем дозування та змішування компонентів будівельної суміші.

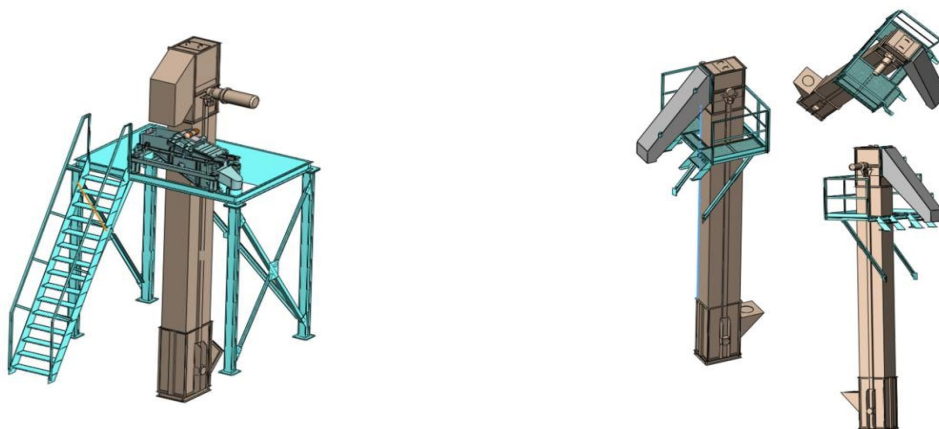


Рисунок 1.7 – Установка елеватора вологого та сухого піску

Використання ківшових елеваторів у складі технологічної лінії забезпечує:

- безперервність технологічного процесу;
- компактне розміщення обладнання;
- зменшення втрат матеріалу під час транспортування;
- автоматизацію подачі компонентів;
- підвищення продуктивності виробництва.

Для транспортування інертних матеріалів у бетонозмішувальних установках застосовуються переважно стрічкові або ланцюгові ківшові елеватори із зносостійкими ківшами та герметизованим корпусом, що дозволяє зменшити запилення виробничого приміщення та підвищити надійність роботи обладнання (рис.1.8).

Асфальтозмішувальні установки нового покоління Кредмаш КДМ206 – установки циклічної дії нового покоління виробництва Кредмаш призначені

для приготування високоякісних асфальтобетонних сумішей із використанням сучасних технологій дозування, сушіння та змішування компонентів (рис.1.9) [10].

Конструктивні особливості установок нового модельного ряду дозволяють значно підвищити ефективність технологічного процесу та покращити якість готової асфальтобетонної суміші.

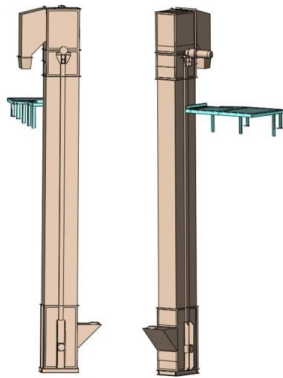


Рисунок 1.8 – Елеватор для подачі в змішувач

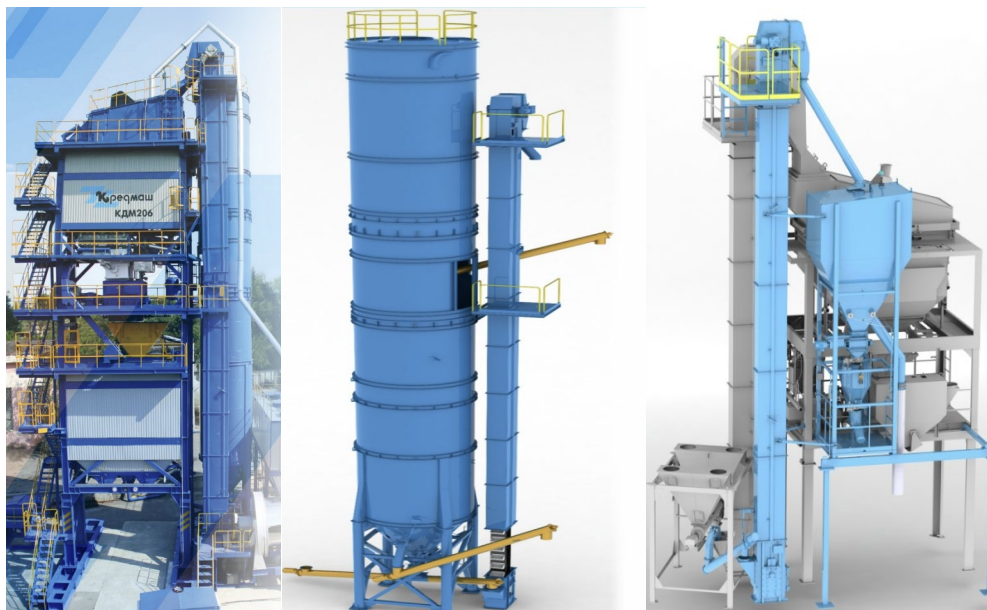


Рисунок 1.9 – Асфальтозмішувальні установки Кредмаш КДМ206

Асфальтозмішувальна установка КДМ207 – це сучасна асфальтозмішувальна установка циклічної дії, яка може експлуатуватися як у пересувному, так і у стаціонарному виконанні. Установка призначена для

виробництва асфальтобетонних сумішей різних типів та забезпечує продуктивність до 60 т/год (рис. 1.10) [10].

Основним робочим вузлом установки є двовальний змішувач періодичної дії з максимальною масою одного замісу 800 кг. Привід змішувача оснащений електродвигуном потужністю 30 кВт, що забезпечує ефективне перемішування компонентів асфальтобетонної суміші.

Агрегат живлення складається з чотирьох блоків для подачі інертних матеріалів. Система сортування забезпечує розподіл матеріалів на п'ять фракцій, що дозволяє точно дозувати компоненти та отримувати суміші необхідного складу.

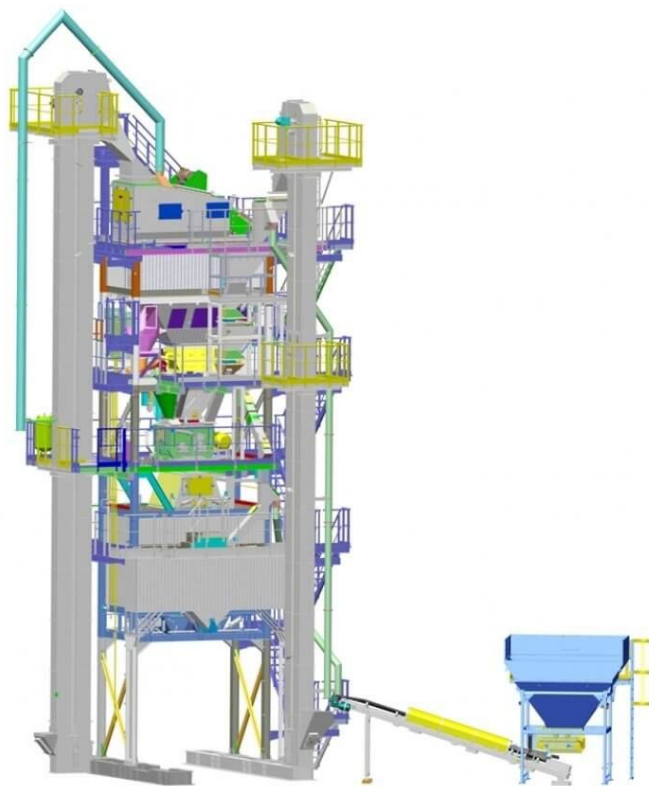


Рисунок 1.10 – Асфальтозмішувальна установка КДМ207

Установка обладнана бункером готової суміші загальною місткістю 34 т, бункером мінерального порошку місткістю 32,5 м³ та бункером пилу місткістю 22 м³.

У складі технологічної лінії установки застосовуються ківшові елеватори, які забезпечують вертикальне транспортування нагрітих інертних матеріалів до сортувального та змішувального обладнання. Використання елеваторів дозволяє

забезпечити безперервність технологічного процесу, компактність
компонування установки та стабільність подачі матеріалів.

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Елеватори та їх складові елементи

Стрічковий ківшовий елеватор призначений для вертикального транспортування інертних компонентів бетонних сумішей, зокрема піску, щебеню, гравію та мінеральних добавок, на необхідну висоту в бетонозмішувальних установках, бетонних вузлах, заводах залізобетонних конструкцій і підприємствах будівельної індустрії (рис. 2.1, 2.2) [8].

Будова та принцип роботи елеватора

Верхня частина елеватора називається головою, а нижня – башмаком. Головка та башмак з'єднуються між собою секціями кожуха, усередині яких рухається тяговий орган із закріпленими ківшами.

Основним робочим елементом елеватора є стрічка або ланцюг із ківшами. Рух тягового органу забезпечується приводним барабаном, встановленим у головці елеватора, та натяжним барабаном, розташованим у башмаку. Під час обертання приводного барабана ківші здійснюють безперервний рух по замкненому контуру.

Інертний матеріал надходить у башмак через завантажувальний патрубок, після чого ківші захоплюють його та транспортують у вертикальному напрямку до верхньої частини елеватора. Розвантаження матеріалу відбувається через розвантажувальний патрубок під дією відцентрових сил або сили тяжіння.

Вибір конструкції елеватора здійснюється залежно від умов експлуатації, продуктивності установки, фізико-механічних властивостей інертного матеріалу та висоти транспортування. Для транспортування абразивних матеріалів використовують посилені ківші та зносостійкі елементи конструкції.

Для підвищення надійності та довговічності роботи обладнання можуть застосовуватися металеві або полімерні ківші. Використання мотор-редуктора забезпечує стабільну роботу приводу, зменшує динамічні навантаження та підвищує ресурс експлуатації транспортуючої системи.

Для зниження зношування внутрішніх поверхонь головки та башмака застосовують футерування з гумових або полімерних матеріалів. Полімерні ківші дозволяють зменшити налипання вологого матеріалу, знизити масу рухомих елементів та зменшити навантаження на тяговий орган.

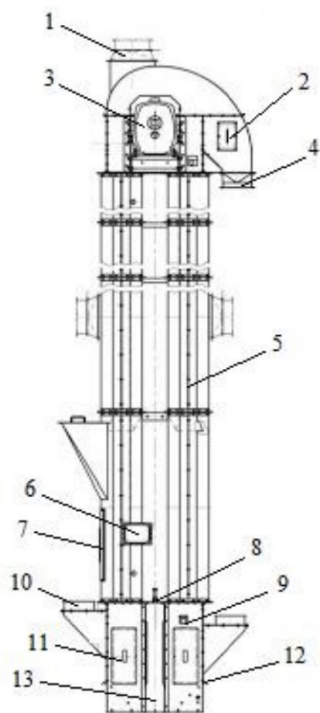


Рисунок 2.1 – Ківшовий елеватор для транспортування інертних матеріалів

- 1 – приводний механізм (мотор-редуктор); 2 – оглядовий люк;
3 – приводний барабан;
4 – розвантажувальний патрубок;
5 – секція кожуха; 6 – оглядове вікно;
7 – ківші; 8 – натяжний пристрій;
9 – датчик контролю швидкості;
10 – завантажувальний патрубок;
11 – інспекційний люк; 12 – засувка (шибер); 13 – башмак елеватора

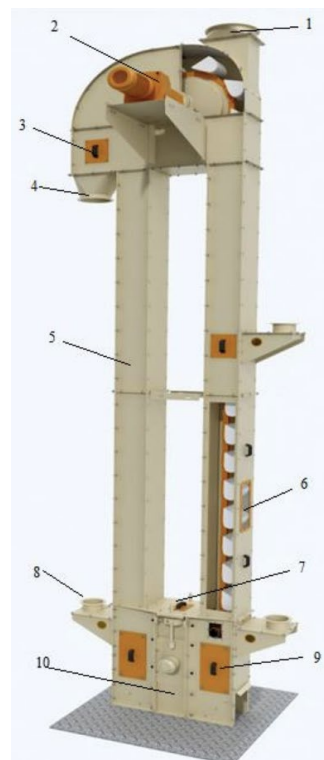


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд норій серії НЦ

- 1 – вибухорозрядник шибєрного типу; 2 – привід (мотор-редуктор);
3 – оглядовий люк;
4 – розвантажувальний патрубок;
5 – секція труб гладка;
6 – оглядовий люк; 7 – натяжний гвинт;
8 – завантажувальний патрубок;
9 – інспекційний люк; 10 – башмак

Конструктивні особливості елеватора

Корпус елеватора виготовляється зі сталі підвищеної міцності, що забезпечує довговічність та стійкість конструкції до механічних навантажень і абразивного зношування.

Головка та башмак можуть мати зносостійке полімерне або гумове покриття, яке зменшує ударні навантаження та підвищує строк служби обладнання.

Елеватор оснащується системами контролю швидкості руху стрічки, датчиками перевантаження та пристроями контролю сходження стрічки.

Для запобігання аварійним ситуаціям передбачаються гальмівні та блокувальні пристрої, які унеможливають зворотний рух тягового органу при раптовій зупинці приводу.

Привод елеватора може комплектуватися сучасними мотор-редукторами, що забезпечують плавний пуск, зниження енергоспоживання та підвищення ефективності роботи обладнання.

Ківшові елеватори (норії) складаються з ряду основних елементів, які забезпечують безперервне вертикальне транспортування сипких або кускових матеріалів. До основних складових належать ківші, тяговий орган, башмак, головка елеватора та кожух [8].

Ківші елеваторів виготовляють із листової сталі, пластмас, гуми або сітчастих матеріалів залежно від умов експлуатації та властивостей транспортованого вантажу. Вони закріплюються на тяговому органі з певним кроком t_k , утворюючи конструкцію з розставленими ківшами. У тихохідних елеваторах гострокутні ківші можуть встановлюватися впритул один до одного, через що такі елеватори називають елеваторами із зімкнутими ківшами.

Металеві ківші кріпляться за допомогою болтів із потайними головками або заклепок, а пластмасові й гумові – спеціальними клеєвими з'єднаннями. Для транспортування коренеплодів та гною використовують ківші з гребінчастими елементами, а для зневоднення матеріалу – сітчасті ківші.

Основними геометричними параметрами ківша є (рис. 2.3):

- кут черпання α ;
- кут нахилу верхньої кромки β ;
- ширина ківша b ;
- виліт A ;
- висота h .

Залежно від форми розрізняють (рис. 2.3):

- глибокі;
- дрібні;
- гострокутні;
- округлені ківші.

Розміри ківшів та їх місткість регламентуються стандартом (табл. 2.1). Дрібні ківші переважно застосовують для борошнистих матеріалів, середні – для зерна, а глибокі – для зерна та комбікормів.

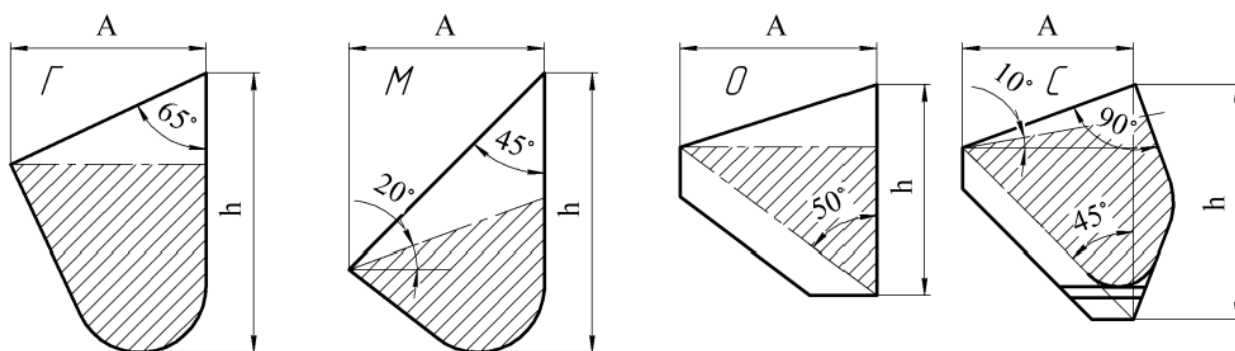


Рисунок 2.3 – Форма ківшів норії

Г – глибокий; М – дрібні; О – гострокутний; С – закруглений

Таблиця 2.1 – Маса ківшів

Ширина ківша, мм	Товщина стінки ківша, мм	Ківші округлені, кг		Ківші з бортовими направляючими, кг	
		глибокі	мілкі	гострокутні	округлені
160	2	0,9	0,7	1,2	–
250	3	3,0	2,0	3,0	–
320	3	4,4	4,1	4,4	–
400	4	9,0	9,0	9,5	15,3
500	4	–	–	14,7	24,7
650	5	–	–	–	45,5

У якості тягових органів елеваторів використовують стрічки або ланцюги. Стрічкові тягові органи найчастіше застосовують у швидкохідних елеваторах для транспортування зернистих, борошнистих та пилоподібних матеріалів. Ланцюгові тягові органи використовують для переміщення кускових і важких вантажів, а також при роботі в умовах підвищених навантажень.

Для запобігання тертю ківшів об стінки кожуха ширина стрічки приймається більшою за ширину ківша на 25–60 мм. Кількість прокладок стрічки, як правило, становить не менше чотирьох і визначається розрахунком на міцність. Для транспортування коренеплодів, силосу та гною рекомендується застосовувати ланцюгові елеватори. При ширині ківшів до 250 мм допускається використання одного тягового ланцюга.

Башмак елеватора є нижньою частиною конструкції та включає:

– кожух;

- завантажувальний бункер;
- натяжний механізм;
- вал із підшипниками;
- зірочку або шків.

Натяжний пристрій забезпечує регулювання положення тягового органу. Для ланцюгових елеваторів величина регулювання становить приблизно 1–1,6 кроку ланцюга, а для стрічкових – 3–5 % довжини стрічки. Для захисту обладнання від перевантажень у башмаку може встановлюватися гумова діафрагма, яка при аварійних режимах забезпечує вимкнення електроприводу.

Головка елеватора розташована у верхній частині конструкції та складається з:

- кожуха;
- приводного шківa або зірочки;
- редуктора;
- привідного механізму;
- зупинного пристрою, що запобігає зворотному руху тягового органу.

Привід елеватора зазвичай виконується у вигляді пасової або ланцюгової передачі чи редуктора. Конструкцію головки формують відповідно до траєкторії руху матеріалу при розвантаженні. Для зменшення ударних навантажень і шуму внутрішню поверхню кожуха іноді футерують листовою гумою.

Основні параметри приводних барабанів стрічкових елеваторів регламентуються стандартом.

2.2 Опис конструкції та принципу роботи розроблюваного елеватора

Ківшовий елеватор являє собою транспортуючу установку, що складається з металевої опорної конструкції з вертикальними секціями, у межах яких розташовані напрямні елементи тягового механізму та опорні вузли конструкції. Нижня секція, проміжні секції та головка елеватора формують замкнену вертикальну шахту, всередині якої рухається тяговий орган.

У якості тягового органу використовується стрічка, на якій закріплені транспортуючі ківші. Кріплення ківшів до стрічки здійснюється за допомогою болтових з'єднань. Кінці стрічки з'єднуються між собою спеціальними болтовими стиками із застосуванням заокруглених напрямних планок, що підвищують міцність і надійність тягового органу.

Тягова стрічка спирається на два барабани:

- приводний;
- натяжний.

Натяжний барабан встановлений у нижній частині елеватора — у башмаку, а приводний барабан розташований у головці елеватора на спеціальній рамі приводу.

Привід приводного барабана здійснюється від електродвигуна через механічну трансмісію, до складу якої входять:

- варіатор;
- двоступінчастий циліндричний редуктор;
- ланцюгова передача;
- з'єднувальні муфти.

Передача крутного моменту між елементами приводу здійснюється за допомогою пружної втулочно-пальцевої муфти та муфти з ковзним сухарем, що забезпечують плавність роботи механізму та зменшення динамічних навантажень.

Натяг стрічки виконується шляхом вертикального переміщення рами приводу головки елеватора. Регулювання натягу здійснюється за допомогою шести ходових гвинтів, встановлених між каркасом головки та рамою приводу.

Інертний матеріал бетонної суміші надходить через завантажувальний бункер, розташований у нижній секції елеватора, після чого потрапляє у ківші тягового органу. Заповнення ківшів може відбуватися:

- шляхом зачерпування матеріалу з нижньої частини башмака;
- безпосереднім засипанням матеріалу у ківші.

Під час обертання приводного барабана стрічка з ківшами безперервно переміщується, транспортуючи матеріал у вертикальному напрямку до рівня розвантаження.

Розвантаження ківшів здійснюється за принципом спрямованого самопливного вивантаження. При проходженні ківша через верхню частину приводного барабана змінюється напрям його руху, внаслідок чого матеріал під дією сили тяжіння висипається у розвантажувальний лоток.

Далі матеріал через розвантажувальний патрубок подається у приймальні бункери або безпосередньо до технологічного обладнання бетонозмішувальної установки для подальшого використання у виробничому процесі.

Для забезпечення контролю технічного стану обладнання, очищення ківшів та проведення технічного обслуговування у секціях корпусу елеватора передбачені технологічні отвори та оглядові люки. У робочому режимі вони закриваються дверцятами та фіксуються спеціальними замками або фіксаторами, що забезпечує безпечну експлуатацію обладнання.

2.3 Розрахунок основних параметрів елеватора

2.3.1 Продуктивність ківшевого елеватора

Продуктивність ківшевого елеватора визначається наступними параметрами згідно формули

$$П=3600 \cdot \frac{V_0}{I_K} \cdot v \cdot \psi, \text{ м}^3/\text{ГОД}, \quad (2.1)$$

де V_0 – місткість одного ківша, м^3 ;

I_K – крок ківшів, м;

v – швидкість руху тягової стрічки, м/с ;

ψ – коефіцієнт наповнення ківша, приймаємо 0,7-0,8.

Орієнтовно приймаємо місткість одного ківша $0,015 \text{ м}^3$ (15 л). Для забезпечення безперервної подачі матеріалів на висоту 15 м застосовуємо особо міцну стрічку з каркасом із сталевих тросиків. Попередньо за даними аналогічних конструкцій ківшевих елеваторів приймаємо діаметр опорного і ведучого барабанів рівним $\varnothing 550 \text{ мм}$.

Тоді довжина активної частини тягової стрічки становить

$$L_c = 2 \cdot H + \pi \cdot D, \text{ м}, \quad (2.2)$$

де H – висота підйому матеріалу, м (відстань між осями барабанів);

D – діаметр барабана, м

$$L_c = 2 \cdot 15 + 3,14 \cdot 0,55 = 31,73 \text{ м}.$$

Крок ківшів визначимо розділивши довжину активної частини стрічки L_c на кількість ківшів Z_K

$$I_K = \frac{L_c}{Z_K}, \text{ м}, \quad (2.3)$$

де Z_K – кількість ківшів приймаємо рівною 50 спираючись на конструктивні рішення аналогічних машин.

$$I_K = \frac{31,73}{50} = 0,635 \text{ м}.$$

Таким чином виходячи із заданої продуктивності з виразу (2.1) визначимо швидкість пробігу тягового органа – армованої стрічки.

$$v = \frac{П}{3600} \cdot \frac{I_K}{V_0 \cdot \psi}, \text{ м/с}, \quad (2.4)$$

$$v = \frac{[30...75]}{3600} \cdot \frac{0,635}{0,015 \cdot 0,7} = [1,02...2,55] \text{ м/с.}$$

Потужність, що споживається вертикальним ківшовим елеватором, приблизно визначається наступними складовими:

1) потужністю, що витрачається на підйом вантажу,

$$N_1 = \frac{P \cdot H}{157}, \text{ кВт} \quad (2.5)$$

2) запасом потужності на перевищення розрахункового наповнення ківша, приблизно рівним $0,15 N_1$ кВт;

3) потужністю, що витрачається на подолання опору руху і перегинів тягового елемента з ківшами на нижньому і верхніх барабанах, включаючи опір зачерпування матеріалу.

Потрібне зусилля на подолання опору приблизно буде дорівнювати

$$S_c = q_0 \cdot H \cdot K_0, \text{ Н}, \quad (2.6)$$

де q_0 – вага 1 м стрічки з ківшами, Н;

K_0 – коефіцієнт, що враховує опір переміщенню з боку опорних елементів

Потужність на підйом вантажу буде пропорційна

$$S_c v = q_0 \cdot H \cdot K_0 \cdot v, \text{ Нм/с.} \quad (2.7)$$

Величина S_c прямо пропорційна продуктивності елеватора P , можна записати, що встановлена потужність двигуна вертикального елеватора

$$N = \frac{1,15 \cdot N_1 + N_2}{\eta} = \frac{P \cdot H}{157 \cdot \eta} (1,15 + k \cdot v), \text{ кВт}, \quad (2.8)$$

де k – поправочний коефіцієнт, який враховує опір при зачерпуванні матеріалу ківшем, для стрічкових тягових органів з мілкими ківшами він становить 1,2;

η – коефіцієнт корисної дії приводу елеватора, приймаємо згідно з рекомендаціями 0,75.

Тоді потрібна потужність привода становить

$$N = \frac{[30...75] \cdot 15}{157 \cdot 0,75} \cdot (1,15 + 1,2 \cdot [1,02...2,55]) = [5,68...19,1], \text{ кВт.}$$

За даними для асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором приймаємо пилрозахищений двигун серії 4А типорозміру 4АН180S6У3 по ГОСТ 19523-74, потужністю 18.5 кВт, частота обертання ротора 1000 хв^{-1} .

Номинальний момент на валу двигуна

$$M_{дв} = 9550 \cdot \frac{N_{дв}}{\omega_{дв}}, \text{ Нм}, \quad (2.9)$$

де $N_{дв}$ – номінальна потужність двигуна, кВт;

$n_{дв}$ – частота обертання ротора, хв⁻¹.

$$M_{дв} = 9550 \cdot \frac{18.5}{1000} = 176.7 \text{ Нм.}$$

2.3.2 Визначення параметрів передаточного механізму привода ведучого барабана

Передаточне число привода барабана становить

$$u_p = \frac{n_{дв}}{n_б}, \quad (2.10)$$

де $n_б$ – частота обертання барабана, $n_б = 30 \cdot \frac{\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot v}{\pi \cdot r_б}$;

v – колова швидкість тягової стрічки, м/с;

$r_б$ – радіус барабана, м.

$$n_б = \frac{30}{3.14} \cdot \frac{[1.02...2.55]}{0.5 \cdot 0.55} = [35.44...88.59] \text{ хв}^{-1}.$$

$$u_{np} = \frac{1000}{35.44...88.59} = 11.28...28.2$$

За довідниковими даними вибираємо двоступінчастий циліндричний редуктор 1Ц2У 250, із загальним передаточним числом 8, та торовий варіатор 20Т-3 з передаточним числом в межах 0,95...2,35.

2.3.3 Вибір з'єднувальних муфт

Для передачі обертального руху від вала двигуна до варіатора встановлюється пружна втулково-пальцева муфта типу МУВП по ГОСТ 21424-75. Яка дозволяє компенсувати неспіввісність валів при монтажі складальних одиниць на рамі привода. Максимально допустима неспіввісність валів у радіальному напрямку 0,4 мм та кутове зміщення 100'.

Визначним критерієм для вибору муфти є крутний момент, який передається через з'єднання. У даному випадку його величина становить 176,7 Н·м. За даним параметром вибираємо параметри муфти МУВП з номінальним крутним моментом 200 Н·м, типу І.1 кліматичного виконання УЗ.

Для передачі крутного моменту від варіатора до редуктора оберемо муфту з ковзаючим сухарем. Момент, який повинна передавати муфта становить

$$M_{муф} = M_{дв} \cdot u_p \cdot \eta = 176,7 \cdot 20,4 \cdot 0,8 = 2883,7 \text{ Нм.}$$

2.3.4 Визначення параметрів тягового ходового пристрою

Розривне зусилля у тяговій стрічці

$$F_p = S_{max} \cdot n \cdot C_H, \text{ Н}, \quad (2.10)$$

де S_{max} – зусилля у піднімаючій частині тягової стрічки, Н;

n – коефіцієнт запасу міцності, приймаємо у межах 5...7;

C_H – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження вздовж тягової стрічки по висоті, приймаємо у межах 1,0...1,5.

$$S_{max} = 1,1 \cdot (S_0 + q_1 \cdot H), \text{ Н}, \quad (2.11)$$

де S_0 – початкове натягіння стрічки, орієнтовно приймаємо 1-2 кН;

q_1 – вага 1 м погонного стрічки з ківшами, які містять вантаж із номінальним заповненням, приймаємо за довідниковими даними спираючись на характеристики аналогічних машин, довжину тягової стрічки, кількість і об'єм ківшів.

$$q_1 = \frac{22 \cdot 0,015 \cdot 2800}{15} \cdot 9,81 = 604,3 \text{ Н}.$$

$$S_{max} = 1,1 \cdot (1,5 + 0,6 \cdot 15) = 11,55 \text{ кН}$$

$$F_p = 11,55 \cdot 5 \cdot 1,5 = 86,6 \text{ кН}$$

Перевіряємо привод по максимальному моменту на ведучому барабані

$$M_{max} = S_{max} \cdot r_b < M_{дв} \cdot u_p \cdot \eta,$$

де $M_{дв} \cdot u_p \cdot \eta$ – момент двигуна приведений до барабана з урахуванням передаточного числа і ККД передачі.

$$M_{max} = 11550 \cdot 0,275 = 2687,5 \text{ Нм},$$

$$M_{дв} \cdot u_p \cdot \eta = 176,7 \cdot 30,6 \cdot 0,8 = 4248,48 \text{ Нм}.$$

Умова працездатності приводу за максимальним моментом виконується.

Перевіряємо запас зчеплення передачі між барабаном і тяговою стрічкою

$$M_b < S_{max} \cdot r_b (e^{f\alpha} - 1), \quad (2.12)$$

де e – основа натуральних логарифмів 2,71;

f – коефіцієнт тертя у спряженні барабана зі стрічкою, приймаємо для випадку гумованих поверхонь 0,9;

α – кут обхвату барабана тяговою стрічкою, приймаємо рівним π ;

M_b – момент на валу барабана, 4248,48 Нм.

$$4248,48 < 11550 \cdot 0,275 \cdot (2,71^{0,9 \cdot 3,14} - 1) = 74245,9 \text{ Нм}.$$

Запас зчеплення згідно з результатами розрахунку гарантовано забезпечується.

2.3.5 Визначення гальмівного моменту і вибір гальма

Розрахунковий гальмівний момент

$$M_r = K_r \cdot M_{r.c}, \quad (2.13)$$

де: $K_r=1,8$ – коефіцієнт запасу гальмування;

M_r – статичний гальмівний момент;

Розрахунок статичного гальмівного моменту

$$M_{r.c} = \frac{(q_1 \cdot H - C_r \cdot (S_{max} - q_1 \cdot H)) \cdot \eta \cdot D}{2 \cdot i_p}, \text{ Нм} \quad (2.14)$$

де i_p – передаточне число редуктора;

D – діаметр барабана, м;

η – коефіцієнт, корисної дії, привода складає 0,85;

C_r – коефіцієнт можливого зменшення опору руху тягового пристрою,

приймаємо $C_r=0,5 \dots 0,6$.

$$M_{r.c} = \frac{(1 \cdot 15000 - 0,5 \cdot (11550 - 0,6 \cdot 15000)) \cdot 0,85 \cdot 0,55}{2 \cdot 30,6} = 70 \text{ Нм.}$$

$$M_r = 1,8 \cdot 70 = 126 \text{ Нм}$$

Вибираємо за максимальним гальмівним моментом $M_r=126$ Нм гальмо з електрогідравлічним штовхачем ТКГ-200 згідно з ТУ 24.1.1635-77, максимальний гальмівний момент якого $M_{ТКГ}=200$ Нм і регулюємо на розрахунковий гальмівний момент за рахунок зміни довжини робочої пружини до рівня 130 Нм.

Визначаємо час гальмування

$$t_r = \frac{J_{пp}^r \cdot \omega}{M_r - M_{r.c}}, \quad (2.15)$$

де $J_{пp}^r$ – момент інерції механізму при гальмуванні, приведений до вала двигуна;

$$J_{пp}^r = \delta (J_p + J_m) + \frac{S_{max} \cdot r_b \cdot \eta}{u_p^2}, \quad (2.16)$$

де δ – коефіцієнт, що враховує вплив обертових мас привода механізму;
 $\delta=1,1 \dots 1,25$;

J_p – момент інерції ротора двигуна, кг·м;

J_m – момент інерції муфти, кг·м;

r_6 – радіус барабана;

η – ККД механізму.

$$J_{np}^2 = 1,2(0,0015 + 0,0007) + \frac{11550 \cdot 0,275 \cdot 0,85}{30,6^2} = 3,80$$

$$\omega = \frac{v}{r_6} = \frac{2,55}{0,275} = 9,2 \text{ с}^{-1}, \quad t_z = \frac{3,8 \cdot 9,2}{130 - 70} = 0,3 \text{ с}.$$

У такий спосіб обране гальмо задовольняє умовам працездатності.

2.3.6 Розрахунок варіатора

Відповідно до технічної пропозиції ми прийняли до установки в електроприводі торовий варіатор, котрий дозволяє скомпонувати механізм зменшення кутової швидкості – МЗКШ – наступним чином (рис. 2.4).

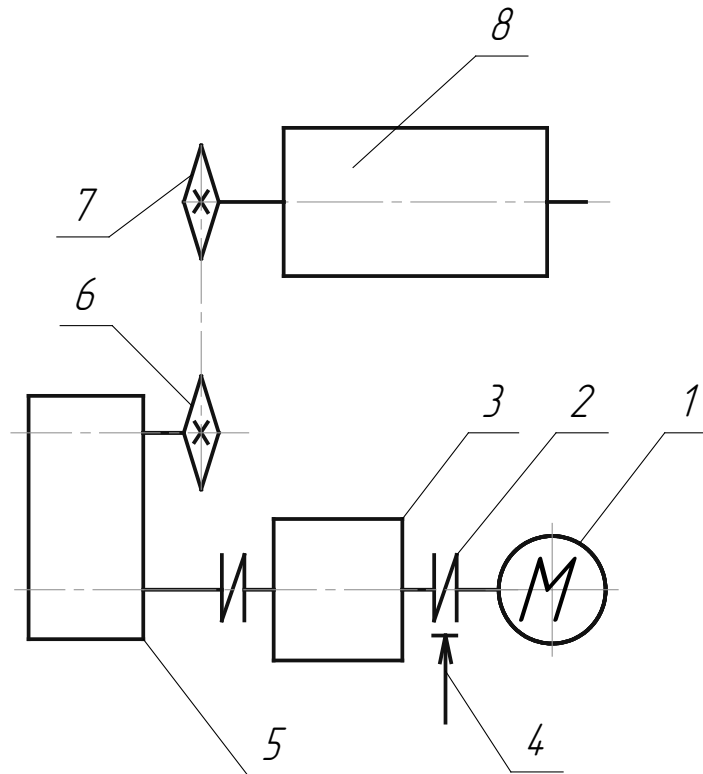


Рисунок 2.4 – Кінематична схема механізму зменшення кутової швидкості

- 1 – електродвигун 4АН180S6У3 Р = 18,5 кВт, $n = 1000$ об/хв; 2 – муфта пружна 250-45/38-1,1-У2 ГОСТ21424-75; 3 – варіатор торовий 20Т-3;
4 – гальмо; 5 – редуктор 1Ц2У-250 $T_p = 5000$ Н·м, $u_p = 8$; 6 – зірочка ведуча $d_1 = 160$ мм; 7 – зірочка ведена $d_2 = 450$ мм; 8 – барабан ведучий $d = 550$ мм.

Вихідні дані:

n_1 – частота обертів ведучого (вхідного) вала варіатора 1000 об/хв;

n_{2min} – мінімальна частота обертів веденого вала МЗКШ 35.4 об/хв;

n_{2max} – максимальна частота обертів веденого вала МЗКШ 88.6 об/хв;

електродвигун – асинхронний змінного струму трифазний АИР180М6У2 Р = 18,5 кВт, $n = 1000$ об/хв;

ξ – відносна втрата швидкості внаслідок ковзання фрикційної пари $\sim 0,995$.

Якщо прийняти, що фрикційна передача варіатора має симетричне регулювання на прискорення і уповільнення частоти обертів вихідного вала, котра дає можливість мати найбільше значення діапазону регулювання D при найменших габаритах передачі, то при передаточному числі варіатора $u_X = 1,0$ загальне передаточне число механізму зменшення кутової швидкості становитиме

$$u_{ЗАГ} = u_X \cdot u_{П} \cdot u_{Р}, \quad (2.17)$$

де u_X – початкове передаточне число варіатора, 1,0;

$u_{П}$ – передаточне число ланцюгової передачі, $u_{П} = 1.5$

$u_{Р}$ – передаточне число редуктора за його каталожними даними 8.

Після підстановки числових значень у формулу (2.17) маємо:

$$u_{ЗАГ} = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 8 = 12.$$

Таким чином при $u_X = 1,0$ частота обертів вихідного вала механізму n_M становитиме $n_M = n_1 / u_{ЗАГ} = 1000 / 12 = 83,3$ об/хв.

Якщо брати до уваги ковзання фрикційної передачі варіатора то $n_M = 83$ об/хв. Тобто варіатор нам необхідний для того, щоб зменшити плавно частоту обертів вихідного вала механізму зменшення кутової швидкості до $n_{Mmin} = 35,4$ об/хв.

Виходячи з викладеного вище маємо, що діапазон регулювання варіатора D становитиме

$$D = n_{Mmax} / n_{Mmin} = 88,6 / 35,4 = 2,5.$$

До цього добавимо, що за літературними джерелами торові варіатори працюють стабільно при $D = 4 \dots 6$ і мають при цьому ККД $\eta_B = 0,95$. Таким чином застосування варіатора дає можливість суттєво розширити технологічні можливості електропривода і плавно змінювати частоту обертів вихідного вала механізму МЗКШ – швидкість стрічки ківшового елеватора відповідно до навантаження при постійній потужності $P = 18500$ Вт установленого електродвигуна.

Визначимо передаточні числа варіатора при максимальних n_{Mmax} і мінімальних n_{Mmin} частотах обертів механізму зменшення кутової швидкості електропривода за формулами :

$$u_{max} = n_1 / (n_{Mmin} \cdot u_{П} \cdot u_{Р}), \quad (2.18)$$

$$u_{\min} = n_1 / (n_{M\max} \cdot u_{\Pi} \cdot u_P), \quad (2.19)$$

де $n_1 = 1000$ об/хв – частота обертів ведучого вала варіатора;

$$n_{M\min} = 35,4 \text{ об/хв}, \quad n_{M\max} = 88,6 \text{ об/хв};$$

u_{Π} – передаточне число ланцюгової передачі, 1,5;

u_P – передаточне число редуктора, 8.

Після підстановки числових значень у формули (2.18) і (2.19) маємо, що

$$u_{\max} = 1000 / (35,4 \cdot 1,5 \cdot 8) = 2,354;$$

$$u_{\min} = 1000 / (88,6 \cdot 1,5 \cdot 8) = 0,94.$$

Таким чином кінематичний параметр варіатора D становитиме

$$D = u_{\max} / u_{\min} = 2,354 / 0,94 = 2,5,$$

а граничні швидкості обертання веденого вала варіатора будуть такими

$$n_{2\max} = n_1 / u_{\min} = 1000 / 0,94 = 1063,2 \text{ об/хв};$$

$$n_{2\min} = n_1 / u_{\max} = 1000 / 2,354 = 424,8 \text{ об/хв}.$$

Побудуємо силову характеристику варіатора при постійній потужності встановленого двигуна $P = 18500$ Вт за умови, що коефіцієнти корисної дії варіатора η_B і пружної муфти η_M не будуть змінюватися в процесі роботи.

Силові параметри:

а) вхідного (I-го) вала

$$\text{потужність } P_1 = P \eta_M = 18500 \cdot 0,99 \approx 18315 \text{ Вт};$$

$$\text{обертовий момент } T_1 = P_1 / \omega = P_1 / (\pi n_1 / 30) = 18315 / (\pi \cdot 1000 / 30) = 174,8 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

б) вихідного (II-го) вала

$$\text{потужність } P_2 = P_1 \eta_B = 18315 \cdot 0,95 \approx 17399 \text{ Вт};$$

$$\text{обертовий момент } T_{2\max} = P_2 / \omega_{2\min} = P_2 / (\pi n_{2\min} / 30) = 17399 / (\pi \cdot 424,8 / 30) = 391,1 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$\text{обертовий момент } T_{2\min} = P_2 / \omega_{2\max} = P_2 / (\pi n_{2\max} / 30) = 17399 / (\pi \cdot 1063,2 / 30) = 156,1 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

2.4 Розрахунки на міцність деталей привода ківшевого елеватора

2.4.1 Розрахунок вала ведучого барабана

Для виготовлення вала вибираємо сталь 45 по ГОСТ1050-88, яка має такі механічні характеристики: $\sigma_B = 650$ МПа, $\sigma_{-1} = 270$ МПа, $\tau_{-1} = 150$ МПа, $[\sigma_{-1}] = 55$ МПа, $[\sigma_0] = 95$ МПа.

Орієнтовний розрахунок діаметра вала роблять на кручення за значно зниженими допустимими дотичними напруженнями:

$$\frac{T}{W_p} = \tau_k < [\tau_k],$$

де T – обертальний момент у поперечних перерізах вала;

$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$ – полярний момент опору круглого перерізу вала;

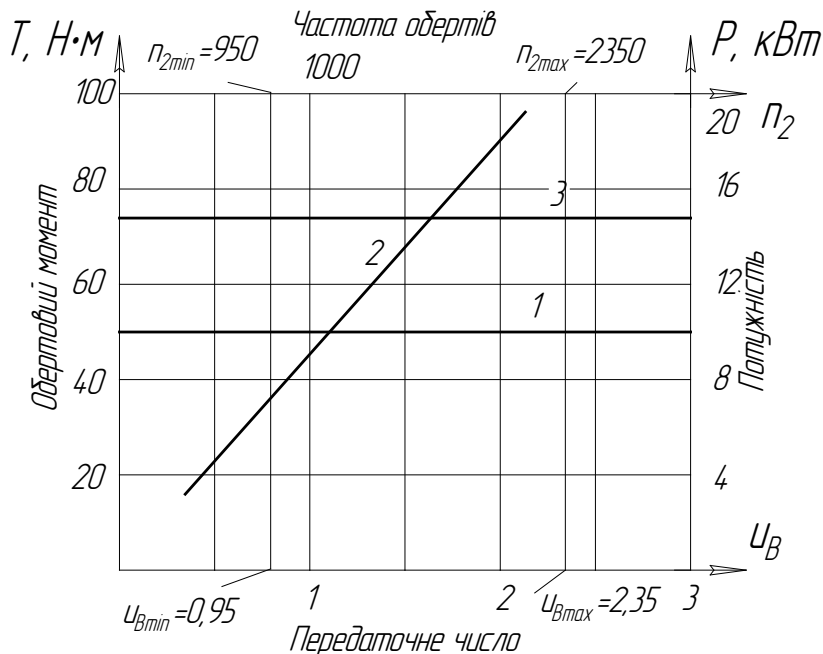


Рисунок 2.5 – Силові характеристики варіатора

1 – графік зміни обертового моменту на ведучому валі T_1 в залежності від частоти обертів n_1 ; 2 – графік зміни обертового моменту на веденому валі T_2 в залежності від частоти обертів n_2 ; 3 – графік зміни потужності на ведучому валі P_1 в залежності від частоти обертів n_1

$[\tau_k] = 75 \dots 85$ МПа – допустиме напруження на кручення для валів з

легованої сталі. Менші значення – для швидкохідних, більші – для тихохідних.

Низькі значення допустимого дотичного напруження пояснюються тим, що: не враховується згин вала; не беруть до уваги змінність у часі напружень, що виникають; не враховується концентрація напружень.

Обертальний момент на валу привода барабана згідно з розрахунками наведеними у третьому розділі становить $T_6 = 4248,48$ Нм.

Діаметр вала d , мм:

$$d > 3 \sqrt{\frac{T_6}{0,2 \cdot [\tau_k]}}, \text{ мм.}$$

де T_6 – крутний момент на валу в Н·мм; $[\tau_k]$ – допустиме напруження на кручення, МПа (Н/мм²).

$$d = \sqrt[3]{\frac{4248,48 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 75}} = 68,46 \text{ мм}$$

Таким чином для передачі обертального моменту найменша ділянка вала повинна мати діаметр не менше ніж 70 мм.

2.4.2 Перевірка міцності вала на згин і кручення (складний опір)

Визначаємо навантаження, що діє на вал при роботі привода елеватора. Воно дорівнює максимальному зусиллю, що діє у тяговій стрічці $S_{max} = 11,55 \text{ кН}$

Зусилля, що передаються на опорні ділянки вала у місці встановлення ступиць барабана визначаємо залежністю

$$F_1 = F_2 = \frac{1,05 \cdot F}{2} \text{ Н.}$$

де 1,05 – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу зусилля, що діє на вал при роботі ходового пристрою.

$$F_1 = F_2 = \frac{1,05 \cdot 11550}{2} = 5854 \text{ Н.}$$

Розрахункову схему та епюри моментів приводимо на рисунку 2.6.

Визначаємо реакції опор вала окремо в вертикальній площині. Величини прольотів згідно з попередньою компоновкою ведучого барабану у зборі $L = 1240 \text{ мм}$; $L_1 = L_3 = 240 \text{ мм}$; $L_2 = 700 \text{ мм}$.

$$\sum M_A^B = 0: R_B \cdot L - F_2 \cdot L_1 - F_1 \cdot (L_1 + L_2) = 0;$$

$$R_B = \frac{F_2 \cdot L_1 + F_1 \cdot (L_1 + L_2)}{L} = \frac{5854,77 \cdot 0,24 + 5854,77 \cdot (0,24 + 0,7)}{1,24} = 5854,77 \text{ Н.}$$

$$\sum M_B = 0: F_1 \cdot L_3 + F_2 \cdot (L_2 + L_3) - R_A \cdot L = 0;$$

$$R_A = \frac{F_1 \cdot L_3 + F_2 \cdot (L_2 + L_3)}{L} = \frac{5854,77 \cdot 0,24 + 5854,77 \cdot (0,24 + 0,7)}{1,24} = 5854,77 \text{ Н.}$$

Перевірка:

$$\sum Y = 0: F_2 + F_1 - R_A - R_B = 5854,77 + 5854,77 - 5854,77 - 5854,77 = 0.$$

Визначаємо згинальні моменти в характерних точках та будуємо епюри згинальних моментів.

Будуємо епюру обертових моментів.

На основі третьої гіпотези міцності, при побудові епюри зведених моментів $M_{зв}$ визначають за формулою:

$$M_{зв} = \sqrt{M_e^2 + (\alpha \cdot T_{кр})^2}.$$

Коефіцієнт α враховує різниці в характеристиках циклів навантажень. При нереверсивній передачі $\alpha = \frac{[\sigma_{-1}]}{[\sigma_0]}$, де $[\sigma_{-1}]$ – граничне напруження на витривалість при асиметричному циклі, для вуглецевих сталей $[\sigma_{-1}] = 55$ МПа; $[\sigma_0]$ – граничне напруження на витривалість при віднульовому циклі навантаження, для легированих сталей $[\sigma_0] = 95$ МПа.

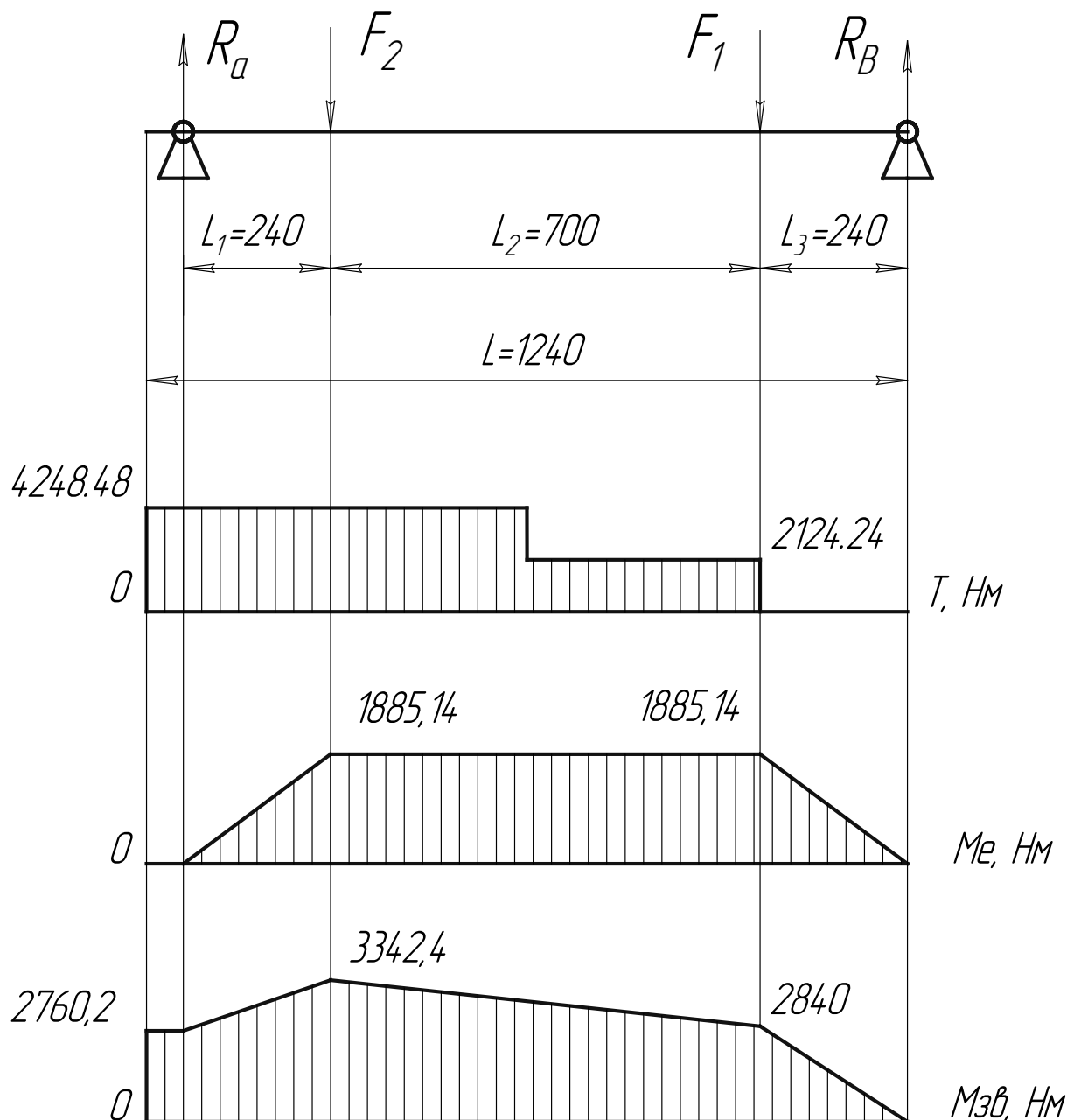


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема вала

Тоді $\alpha = \frac{55}{95} = 0,57$.

$$M_{36A} = \sqrt{M_e^2 + (\alpha \cdot T_{kp})^2} = \sqrt{(0,57 \cdot 4842,48)^2} = 2760,2 \text{ Нм}$$

$$M_{361} = \sqrt{M_e^2 + (\alpha \cdot T_{kp})^2} = \sqrt{1885,14^2 + (0,57 \cdot 4248,48)^2} = 3342,4 \text{ Нм}$$

$$M_{362} = \sqrt{M_e^2 + (\alpha \cdot T_{kp})^2} = \sqrt{1885,14^2 + (0,57 \cdot 2124,24)^2} = 2840 \text{ Нм}$$

$$M_{36B} = \sqrt{M_e^2 + (\alpha \cdot T_{kp})^2} = 0 \text{ Нм}$$

Розрахунковий діаметр вала в точці:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{M_{361}}{0,1 \cdot [\sigma_{-1}]}} = \sqrt[3]{\frac{3342,4 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 55}} = 75,08 \text{ мм.}$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{M_{362}}{0,1 \cdot [\sigma_{-1}]}} = \sqrt[3]{\frac{2840 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 55}} = 83,57 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр вала на цій ділянці з урахуванням запасу міцності у 1,5 на циклічну втому рівним $\varnothing 120$ мм.

$$d_A = \sqrt[3]{\frac{M_{36A}}{0,1 \cdot [\sigma_{-1}]}} = \sqrt[3]{\frac{2743,5 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 55}} = 79,30 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр вала на цій ділянці рівним $\varnothing 100$ мм з метою забезпечення встановлення підшипників розрахункової довговічності.

2.4.3 Перевірка вала на витривалість

Визначити коефіцієнти запасу міцності n для небезпечних перерізів вала барабана. Матеріал вала – сталь 45, поверхнево зміцнена.

Перевіримо найбільш небезпечний переріз 2-2, в якому наявний концентратор напружень зумовлений наявністю шпонкового паза та діють великі напруження згину та кручення. Розрахунок на втомну міцність виконуємо у вигляді перевірки коефіцієнтів запасу міцності за умовою $S > [S] = 2,5 \dots 3,5$ для елеваторного устаткування. Розрахунковий коефіцієнт запасу міцності визначають у загальному випадку за формулою:

$$S = S_\sigma \cdot \frac{S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}},$$

де S_σ , S_τ – коефіцієнти запасу міцності за нормальними та дотичними напруженнями відповідно (без урахування поверхневого зміцнення):

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a \cdot \frac{K_\sigma}{K_d} + \psi_\sigma \cdot \sigma_m}$$

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\tau_a \cdot \frac{K_{\tau}}{K_d} + \psi_{\tau} \cdot \tau_m}$$

де σ_{-1} , τ_{-1} – границі витривалості матеріалу валів при симетричному циклі згину і кручення;

K_{σ} , K_{τ} – ефективні концентратори напружень, що залежать від механічних характеристик матеріалу вала та форми концентратора напружень у перерізі вала, де визначають коефіцієнт запасу міцності, для валів з шпонковим пазом виконаним пальцевою фрезою $K_{\sigma} = 1,55$; $K_{\tau} = 1,9$;

$\psi_{\sigma} = 0,15$; $\psi_{\tau} = 0,1$ – коефіцієнти, що характеризують чутливість матеріалу вала до асиметрії циклу напружень, можна брати для сталевих валів:

$$\psi_{\sigma} = 0,02 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_B = 0,02 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot 650 = 0,166;$$

$$\psi_{\tau} = 0,5 \cdot \psi_{\sigma} = 0,5 \cdot 0,166 = 0,083;$$

K_d – коефіцієнт, що враховує вплив абсолютних розмірів перерізу вала, та залежить від його матеріалу та діаметра перерізу, $K_d = 0,81$.

Для вала нормальні напруження згину змінюються за симетричним циклом:

$$\sigma_a = \sigma_{sr} = \frac{M_e \cdot 1000}{W_o}, \quad)$$

де σ_a (МПа); M_e (Н·м); W_o (мм³).

Дотичні напруження для валів, що обертаються тільки в один бік, змінюються за віднульовим циклом:

$$\tau_a = \tau_m = 0,5\tau = \frac{T_{kp} \cdot 1000}{2 \cdot W_p},$$

де τ_a (МПа); T_{kp} (Н·м); W_p (мм³).

Осьовий W_o та полярний W_p момент опору перерізу треба брати за фактичними розмірами перерізів. Якщо у перерізі є шпонковий паз:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} - \frac{b \cdot t \cdot (d - t)^2}{2 \cdot d} \text{ мм}^3,$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{b \cdot t \cdot (d - t)^2}{2 \cdot d} \text{ мм}^3.$$

За діаметром вала $d = 120$ мм згідно зі стандартом вибираємо розміри з'єднання ширина шпонки $b = 32$ мм, висота $h = 18$ мм, глибина паза на валу $t_1 = 11$ мм у ступиці барабану $t_2 = 7,4$ мм.

Тоді

$$W_o = \frac{3,14 \cdot 120^3}{32} - \frac{32 \cdot 11 \cdot (120 - 11)^2}{2 \cdot 120} = 152134,53 \text{ мм}^3.$$

$$W_p = \frac{3,14 \cdot 120^3}{16} - \frac{32 \cdot 11 \cdot (120 - 11)^2}{2 \cdot 120} = 321694,5 \text{ мм}^3.$$

$$\sigma_a = \sigma_{3r} = \frac{1885,14 \cdot 1000}{152134,53} = 12,39 \text{ МПа};$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{4248,48 \cdot 1000}{2 \cdot 321694,5} = 7,74 \text{ МПа};$$

$$S_\sigma = \frac{270}{12,39 \cdot \frac{1,55}{0,81} + 0,166 \cdot 0} = 11,38;$$

$$S_\tau = \frac{150}{7,74 \cdot \frac{1,9}{0,81} + 7,74 \cdot 0,083} = 7,98;$$

$$S = \frac{11,38 \cdot 7,98}{\sqrt{11,38^2 + 7,98^2}} = 6,5 > [S] = 3,5.$$

Таким чином розглянутий переріз вала задовольняє перевірки за коефіцієнтами запасу міцності.

2.4.4 Розрахунок підшипників кочення

Перевірка правильності підбору підшипників кочення для проміжного вала барабана виконується розрахунком довговічності підшипників та порівнянням її із заданою довговічністю.

Вихідні дані: потрібна довговічність підшипників, які використовуються у складі машин безперервного транспорту – 40000 год.; навантаження на підшипник – осьове навантаження $F_a \approx 0$ Н; радіальні навантаження на опори вала $R_A = 5854,77$ Н; $R_B = 5854,77$ Н; кутова швидкість вала $\omega = 9,2 \text{ с}^{-1}$; діаметр цапф вала для підшипників $d = 100$ мм.

Аналіз умов навантаження та вибір типорозміру підшипників. Розрахункова схема для підбору та розрахунку підшипників вала зображена на рисунку 2.6, на якій вказані напрями сил, що діють на його опори. Оскільки відстань між опорами вала перевищує 1 метр, то для опор вала доцільно застосовувати роликові радіальні сферичні дворядні підшипники, конструкція яких дозволяє компенсувати неспіввісність їх корпусів на несучій рамі, що

виникає при монтажі. Зважаючи на значне радіальне навантаження та маючи діаметри цапф під підшипники, будемо орієнтуватися на підшипники легкої серії 3520 по ГОСТ 5721-75, для яких маємо наступні характеристики: базова статична вантажопідйомність $C_0 = 21,6$ кН; базова динамічна вантажність $C = 18,4$ кН.

Визначення розрахункового еквівалентного навантаження на підшипник. Розрахункове еквівалентне навантаження знаходять за формулою:

$$R_E = K_E \cdot R$$

де: K_E – коефіцієнт інтенсивності, для легкого режиму навантаження $K_E = 0,40$;

R – розрахункове еквівалентне навантаження на підшипник [2, с.443]:

$$R = (X \cdot V \cdot R_r + Y \cdot R_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T$$

де R_r , R_a – радіальне та осьове зовнішні навантаження на підшипник відповідно. У даному випадку $R_r = R_B = 5854,77$ Н, а для радіальних кулькових підшипників $R_a = F_a = 0$ Н.

X , Y – коефіцієнти радіального та осьового навантаження відповідно, для визначення цих коефіцієнтів знаходимо відношення $\frac{R_a}{C_0} = \frac{0}{21600} = 0$ і

беремо параметр осьового навантаження $e = 0,26$.

V – коефіцієнт обертання, якщо обертається внутрішнє кільце $V = 1$;

K_σ – коефіцієнт безпеки, при легких поштовхах і короткочасних перевантаженнях до 125% $K_\sigma = 1,2$;

K_m – температурний коефіцієнт, якщо робоча температура опори $t < 100^\circ C$ $K_m = 1$.

$$\frac{R_a}{V \cdot R_r} = 0 < e = 0,26 \Rightarrow X = 1, Y = 0.$$

Розрахункове еквівалентне навантаження на підшипник

$$R = 1 \cdot 1 \cdot 5854,77 \cdot 1,2 \cdot 1 = 9425,72 \text{ Н.}$$

З урахуванням режиму навантаження протягом строку служби

$$R_E = 0,40 \cdot 9425,72 = 3770,28 \text{ Н.}$$

Розрахункова довговічність підшипника [2, с. 442]:

$$L = a_1 \cdot a_{23} \cdot \left(\frac{C}{R_E} \right)^P \text{ млн. об.,}$$

де a_1 – коефіцієнт, який враховується у тому випадку, коли треба мати підшипники підвищеної надійності, при 90%-й надійності $a_1 = 1$;

a_{23} – коефіцієнт, який враховує якість матеріалу деталей підшипника та умови експлуатації, за звичайних умов роботи серійних підшипників для кулькових, крім сферичних, $a_{23} = 0,7 \dots 0,8$;

C_r – базова динамічна вантажність;

p – показник степеня, для роликових підшипників $p = 3,33$.

$$L = 1 \cdot 0,7 \cdot \left(\frac{18400}{3770,28} \right)^{3,33} = 137,28 \text{ млн. об.}$$

Розрахункова довговічність підшипника, год.,

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{60 \cdot n},$$

де n – частота обертання рухомої обойми підшипника, згідно з розрахунками третього розділу $46,1 \text{ хв}^{-1}$.

$$L_h = \frac{10^6 \cdot 137,28}{60 \cdot 46,1} = 49631,23 \text{ год.}$$

Попередньо вибраний підшипник 3520 для опор вала має довговічність більшу від заданої потрібної.

$$49631,23 > 40000 \text{ год.}$$

2.5.5 Розрахунок шпонкових з'єднань

Виконаємо розрахунок для шпонкового з'єднання ступиці ведучого барабана і опорної шийки вала.

За діаметром вала $d = 120$ мм згідно зі стандартом вибираємо розміри з'єднання ширина шпонки $b = 32$ мм, висота $h = 18$ мм, глибина паза на валу $t_1 = 11$ мм у ступиці барабану $t_2 = 7,4$ мм.

Перевіряємо міцність шпонкового з'єднання на зминання за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot l_0 \cdot (h - t_1)} \leq [\sigma_{зм}],$$

де T – номінальний крутний момент; d – діаметр вала, мм;

l_0 – робоча довжина шпонки, для призматичної шпонки зі округленими кінцями $l_0 = l - b = 115 - 32 = 83$ мм;

t_1 – глибина паза на валу;

$[\sigma_{зм}]$ – допустиме напруження на валу, при посадках із гарантованим натягом та втулкою зі сталі $[\sigma_{зм}] = 160 \dots 180 \text{ МПа}$.

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 4248,48 \cdot 10^3}{150 \cdot 83 \cdot (18 - 11)} = 110 < [\sigma_{зм}] = 180 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо шпонкове з'єднання на зріз.

$$\tau_{зр} = \frac{F}{S} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot b \cdot l_0} \leq [\tau_{зр}],$$

де $[\tau_{зр}]$ – допустиме напруження зрізання,

$$[\tau_{зр}] = 0,6 \cdot [\sigma_{зм}] = 0,6 \cdot 180 = 108 \text{ МПа;}$$

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot 4248,48 \cdot 10^3}{120 \cdot 18 \cdot 83} = 53,69 < [\tau_{зр}] = 108 \text{ МПа.}$$

Розрахуємо шпонкове з'єднання вала барабана із зірочкою ланцюгової передачі.

За діаметром вала $d = 100$ мм згідно зі стандартом вибираємо розміри з'єднання ширина шпонки $b = 28$ мм, висота $h = 16$ мм, глибина паза на валу $t_1 = 10$ мм у ступиці зірочки $t_2 = 6,4$ мм.

Перевіряємо міцність шпонкового з'єднання на зминання за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 4248,48 \cdot 10^3}{100 \cdot 90 \cdot (16 - 10)} = 178 < [\sigma_{зм}] = 180 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо шпонкове з'єднання на зріз.

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot 4248,48 \cdot 10^3}{100 \cdot 16 \cdot 90} = 66,85 < [\tau_{зр}] = 108 \text{ МПа.}$$

Всі шпонкові з'єднання ведучого барабана привода тягового пристрою елеватора відповідають вимогам несучої здатності.

2.4.6 Розрахунок болтових з'єднань

Напруження у болтових з'єднаннях виникають після додавання робочого навантаження. Ненапружені болти працюють тільки на розтягання або стиск. Умова міцності болта

$$\frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot [\sigma_p] = P$$

звідки

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot [\sigma_p]}}$$

де P – сила, що діє уздовж осі болта, Н; d_1 – внутрішній діаметр різьблення, см; $[\sigma_p]$ – напруження, що допускається, при розтяганні (стиску), МПа.

Розрахуємо болтове з'єднання корпуса підшипника нижнього веденого вала з рамою нижньої секції, розривне зусилля, що діє у болтовому з'єднанні дорівнює максимальному зусиллю у тяговій стрічці **11550 Н**; допустиме напруження для болтів другої групи міцності зі сталі $[\sigma_p] = 90$ МПа. Ураховуючи те, що навантаження прикладене одночасно до чотирьох болтів, що закріплюють корпуси підшипників вала веденого барабана, сила, що діє вздовж осі одного болта з урахуванням коефіцієнта нерівномірності розподілу навантаження становить

$$P = 1,1 \cdot \frac{11550}{4} = 3114 \text{ Н}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 3114}{3,14 \cdot 90}} = 7,63 \text{ мм}$$

Для закріплення приймаємо болти по ГОСТ 7805-70.

РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка технологічного процесу виготовлення вала ведучого приводу

В основу розробки технологічних процесів покладені два принципи: технічний і економічний. Відповідно до технічного принципу проєктований технологічний процес повинен цілком забезпечувати виконання усіх вимог робочого креслення і технічних умов на виготовлення заданого виробу. Відповідно до економічного принципу виготовлення виробу повинно вестися з мінімальними витратами праці і витратами виробництва. Технологічний процес виготовлення виробів повинен виконуватися з найбільше повним використанням технічних можливостей засобів виробництва при найменших витратах часу і собівартості виробів. Необхідно розробити технологічний процес виготовлення валу ведучого барабану, виробництво - одиничне.

Вибір матеріалу. Деталі обертання, що передають обертальний момент в основному виготовляють із конструкційних і легованих сталей, що повинні мати високу міцність, гарною оброблюваністю. Цим вимогам найбільш повно відповідають сталі 35, 40, 45, 40X, 50X, 40Г2 і т.п., які у достатній мірі володіють вказаними властивостями і за певних умов їх використання економічно виправдане.

Леговані сталі в порівнянні з конструкційними застосовують рідше через їхній більш високу вартість та підвищену схильність до концентрації напружень, але у разі наявності корозійно активного середовища та

необхідності утворення пари тертя вибір низколегованої хромистої сталі буде цілком виправданий.

Відповідно до рекомендацій для виготовлення валу ведучого барабану вибираємо якісну конструкційну сталь 45 ГОСТ 1050-88, що містить 0,45% вуглецю.

Вибір заготовки. Для гладких і ступінчастих деталей обертання із невеликим перепадом діаметрів ступіней, виберемо сортовий круглий, гарячекатаний прокат нормальної точності ГОСТ 2590-88, категорії А, що призначений для холодної механічної обробки (точіння, фрезерування, тощо).

Попередня обробка заготовок полягає в доданні їм такого виду і стану, при котрих можливо виконання обробки на металорізних верстатах. Продуктивність механічної обробки деталей багатьом залежить від виду матеріалу, розмірів і конфігурації заготовки. Характер виконання попередніх операцій залежить від виду заготовки, та серійності виробництва.

Як правило заготовки деталей обертання одержують відрізанням від горячекатаних або холоднотянутих нормальних прутків і відразу ж піддають механічній обробці. Заготовки такого типу застосовують в основному при дрібносерійному й одиничному виробництві, а також при виготовленні деталей із невеликим числом ступіней і незначної різниці їхніх діаметрів.

У виробництві з досить великим масштабом випуску, а також при виготовленні деталей складної конфігурації. Ці методи (кування, штампування, періодичний прокат, обкатування, обтиснення, електровисадка) дозволяють одержувати заготовки за формою і розмірами найбільш близькі до готової деталі, що значно підвищує продуктивність механічної обробки. При цьому значно знижується металоємність, що характеризується коефіцієнтом використання металу.

Вибір найбільш раціонального способу одержання заготовок в кожному конкретному випадку визначається комплексно з обліком техніко-економічної доцільності.

Оскільки перепад діаметрів ділянок ведучого валу барабану досить не значний, то з цілю зниження витрат на виготовлення заготовки і деталі у цілому доцільно застосувати заготовку отриману із сортового круглого прокату.

Вибір баз. Основними базами більшості деталей обертання (валів, втулок) є поверхні їх опорних шийок. Однак використовувати їх у якості технологічних баз для обробки зовнішніх поверхонь, як правило, важко, особливо за умови збереження єдності баз, що дуже важливо для забезпечення високої точності деталі.

Тому при більшості операцій за технологічні бази приймають поверхні центрових отворів з обох торців заготовок, що дозволяє обробляти майже всі зовнішні поверхні валу ведучого барабану на єдиних базах з установкою його в центрах. У зв'язку з цим механічну обробку деталей обертання починають з операції підрізання торців і їхньої зацентровки.

Призначення припусків на обробку. Припуск на обробку поверхні деталей може бути призначений по відповідних довідкових таблицях, ГОСТ або на основі розрахунково-аналітичного методу.

ГОСТи і таблиці [18] дозволяють призначати припуски незалежно від технологічного процесу обробки деталі й умов його здійснення і тому в загальному випадку є завищеними, містять резерви зниження витрати матеріалу і трудомісткості матеріалу.

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків на обробку (РАМОП), розроблений проф. В.М. Кованом базується на аналізі чинників, що впливають на припуски попередніх і виконуваного переходів технологічного

процесу обробки поверхні. Значення припуску визначається методом диференційованого розрахунку по елементах, що складає припуск. РАМОП передбачає розрахунок припусків по всім послідовно виконуваних технологічних переходах обробки даної поверхні деталі (проміжні припуски), їхнє підсумовування для визначення загального припуску на обробку поверхні і розрахунок проміжних розмірів, що визначають положення поверхні, і розмірів заготовки. Розрахунковим розміром є мінімальний припуск на обробку, достатній для усунення на виконуваному переході погрішностей обробки і дефектів поверхневого шару, отриманих на попередньому переході, і компенсації погрішностей, що виникають на виконуваному переході.

Проміжні розміри, що визначають положення оброблюваної поверхні, і розміри заготовки розраховують із використанням мінімального припуску.

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків являє собою систему, що включає методики обґрунтованого розрахунку припусків, взаємозв'язок розрахункових припусків із граничними розмірами оброблюваної поверхні і нормативні матеріали.

Застосування РАМОП скорочує в середньому відхід металу в стружку в порівнянні з табличними значеннями, створює єдину систему визначення припусків на обробку і розміри деталі по технологічних переходах і заготовок, сприяє підвищенню культури виробництва.

Призначимо режими різання на зовнішній діаметр деталі 120к6 розрахунково-аналітичним методом, а на інші розміри - табличним.

Припуск на механічну обробку визначимо приймаючи наступну послідовність обробки: чорнове зовнішнє точіння; чистове зовнішнє точіння; шліфування. Загальний припуск на обробку включає операційні припуски

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3$$

де Z_3 – припуск на чорнове точіння 5,5 мм; Z_2 – припуск на чистове точіння $Z_2 = 3,0$ мм; Z_1 – припуск на шліфування, приймаємо $Z_1 = 0,6$ мм;

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3$$

Попередній технологічний процес. За результатами попередньо призначаємо зміст технологічного процесу обробки деталі.

Таблиця 3.1 – Технологічна схема

№	Найменування і короткий зміст операції. Технологічні бази.	Обладнання
005	Відрізання заготовки від прутка Пилка сегментна 710 ГОСТ 4047-82 Лінійка 1-1000 ГОСТ 425-75	Відрізати заготовку від прутка
010	Фрезерування торців заготовки. Торцева фреза 2235-0105 ГОСТ 4675-71; глибина різання $t = 3$ мм; подача 0,15 мм/зуб; швидкість різання 42 м/хв. Режими різання призначені для легованої сталі. Технологічними базами служать поверхні шийок втулки. Мета операції забезпечення паралельності торців. Контроль операції здійснюється лінійкою типу 1-500 ГОСТ 425-75.	Фрезерно- центрувальни й верстат МР- 78.
015	Токарна. Чорнове зовнішнє точіння в оправці поверхонь шийок втулки з припуском 3 мм на сторону. Прохідний різець із твердого сплаву ВК8 правий 2100-0109, ГОСТ 9795-84. Глибина різання $t = 3$ мм, подача 0,71 мм/об, швидкість різання для чорнового точіння вуглецевої сталі групи міцності 350 – 380 МПа з подачею 0,71 мм/об складає 58 м/хв. Технологічними базами служать поверхні центрових отворів оправки. Контроль якості робиться штангенциркулем. Технологічними базами служать поверхні опорних шийок заготовки. Контроль якості робиться штангенциркулем типу ШЦ 1-160-0,1 ГОСТ 166-90.	Токарно- гвинторізний верстат 1К163 Патрон ГОСТ 2675-80
020	Токарна. Чистове зовнішнє точіння в оправці поверхонь шийок втулки з припуском 0,6 мм на діаметр. Прохідний різець із твердого сплаву Т15К10 правий 2100-0209 ГОСТ 18882-73. Глибина різання $t = 1,2$ мм, подача 0,58 мм/об, швидкість різання для чистового	Токарно- гвинторізний верстат 1К163 Центри ГОСТ 8742-75

	точіння легованої сталі групи міцності 350 – 380 МПа з подачею 0,58 мм/об складає 100 м/хв. Технологічними базами служать поверхні центрових отворів оправки. Контроль якості робиться штангенциркулем.	
025	Свердлильна. Свердління отворів і нарізання різьби для стопорних болтів торцевої шайби. Свердла 1025-010, ГОСТ 886-85, метчик М12 ГОСТ 9740-81. Глибина різання $t = 0,2$ мм, подача 0,2 мм/об, швидкість різання для свердління легованої сталі групи міцності 550 – 680 МПа з подачею 0,2 мм/об складає 57 м/хв., для розгортання 65 м/хв. Технологічними базами служать поверхні торця заготовки та зовнішніх опорних шийок. Контроль якості робиться штангенциркулем.	Вертикаль-но-свердли-льний верстат 2Г175
030	Фрезерування шпонкових пазів 32x11x144 та 118x10x110. Фрези кінцеві 2100-0032, 2100-0028 ГОСТ 4675-86 Базами служать опорні поверхні шийок вала. Контроль якості робиться штангенциркулем.	Вертикаль-но-фрезерний верстат 6А13П
035	Термічна. Нагрів і гартування зовнішніх опорних шийок втулки струмом високої частоти з охолодженням у масляній ванні, h 1,0...1,5 мм, HRC 40...45. Контроль операції здійснюється твердоміром Роквела ТК-2	Установка для нагріву СВЧ К512АЕ
040	Шліфувальна. Шліфування зовнішніх опорних шийок втулки в оправці під номінальний розмір. Круг ПП 500x32x35; 15А50 СМ-10К – дрібнозернистий, зернистість 50/40 – для чистового і 40/28 – для остаточного шліфування ГОСТ 2424-83. Глибина різання при обробці заготовки поверхня якої зміцнена в результаті термообробки $t = 0,3$ мм; подача	Круглошліфувальний верстат 3У10В Центри ГОСТ 8742-75

	0,51 мм/хв; швидкість обертання кола 35 м/с; швидкість обертання заготовки 60 м/хв. Технологічними базами служать поверхні центрових отворів оправки. Післяопераційний контроль якості робиться мікрометром типу МК 100-125 ГОСТ 6507-78	
045	Слюсарна Зачищення неопрацьованих поверхонь вала, видалення задирок, гострих крайок.	Верстак слюсарний 2238
050	Контроль остаточний. Зробити загальний контроль якості партії на контрольному столі за допомогою граничних калібрів – прохідної і непрохідної скоб для відповідних шийок вала по ГОСТ10905-86.	Стіл ВТК Плита повірочна ГОСТ 20149-89

Визначення проміжних припусків і проміжних розмірів при обробці
+ 0.025

поверхні вала діаметром Ø120k6(+ 0.003)

Операція	Квалі-тет	Допуск, мм	Елементи припуску, мкм				Проміжні розміри, мм		Проміжні припуски, мм	
			Ra	T	ρ	ε	Dmax	Dmin	Zmax	Zmin
Заготовка поковка	Б	1,3	100	150	520	125	127,6	127,1		
Токарна										
чорнова	h12	0,3	60	60	360	125	122,1	121,7	3,5	3,44
чистова	h12	0,12	20	30	280	125	120,6	120,5	1,5	1,2
Шліфувальна	k6	0,025	1,25	20	200	125	120	120	0,6	0,53

Елементи припусків R_z і T призначаємо у залежності від методу обробки поверхонь заготовки і заготовки прокату.

Розрахунковий і мінімальний припуск на чорнову обробку поверхні визначаємо по формулі:

$$2z_{min} = 2 \cdot \left(R_z + T + \sqrt{\rho_0^2 + \varepsilon_y^2} \right),$$

де Rz – глибина поверхневого дефектного шару, мкм;

T – середня висота мікронервностей, мкм; ρ_0 – просторові відхилення в розташуванні оброблюваної поверхні щодо базових поверхонь заготовки, мкм;

ε_y – погрішність базування деталі, мкм, відповідно до рекомендацій $\varepsilon_y = 125$ мкм.

Просторові відхилення в розташуванні оброблюваної поверхні щодо базових поверхонь знаходимо із залежності

$$\rho_0 = \sqrt{\rho_{ост}^2 + \rho_{ц}^2},$$

де $\rho_{ост} = \Delta y \cdot L_k$ (при консольному закріпленні), де Δy – розмір питомого відхилення розташування, $\Delta y = 0,07$ визначаємо по табл.3.19, [19];

L_k – довжина консольної частини $L_k = 180$ мм.

$$\rho_{ост} = \Delta y \cdot L_k = 0,07 \cdot 180 = 21 \text{ мкм.}$$

$\rho_{ц}$ – розмір відхилення розташування заготовки при centruванні,

$$\rho_{ц} = 0,25 \cdot \sqrt{\delta_3^2 + 1} \text{ мкм,}$$

де δ_3 – допуск на діаметр базової поверхні, мм, $\delta_3 = 1,3$ мм.

$$\rho_{ц} = 0,25 \cdot \sqrt{1,3^2 + 1} = 0,41 \text{ мм.}$$

Сумарне відхилення розташування визначаємо по формулі (2):

$$\rho_0 = \sqrt{\rho_{ост}^2 + \rho_{ц}^2} = \sqrt{21^2 + 410^2} = 410,5 \text{ мкм.}$$

Тоді мінімальний припуск на чорнову обробку визначаємо по формулі (1):

$$2z_{min} = 2 \cdot \left(Rz + T + \sqrt{\rho_0^2 + \varepsilon_y^2} \right) = 2 \cdot \left(100 + 150 + \sqrt{410,5^2 + 125^2} \right) = 1358$$

мкм.

Максимальний припуск на чорнову обробку поверхні деталі визначаємо по формулі:

$$2z_{max} = 2z_{min} + D_n + D_m,$$

де D_n – допуск на розмір для прокату, $D_n = 1,3$ мм,

D_m – допуск на розмір для токарської чорнової операції, $D_m = 0,3$ мм.

Підставивши значення одержимо:

$$2z_{max} = 2z_{min} + D_n + D_m = 1358 + 1300 - 300 = 2358 \text{ мкм.}$$

Розмір залишкового сумарного розташування заготовки після виконання чорнової обробки поверхні визначаємо по формулі:

$$\rho_{ост} = K_y \cdot \rho_0,$$

де K_y – коефіцієнт уточнення, $K_y=0,06$;

Тоді

$$\rho_{ост} = K_y \cdot \rho_0 = 0,06 \cdot 410,5 = 24,6$$

Розмір погрішності установки при чистовій обробці поверхні заготовки:

$$\rho_y = K_y \cdot \varepsilon_y = 0,06 \cdot 125 = 7,5$$

При наступній обробці поверхні деталі погрішності установки через малість її розміри в розрахунок не приймаємо.

Розрахункові мінімальні і максимальний припуски на чистову обробку поверхні деталі визначимо по формулах:

$$2z_{min} = 2 \cdot \left(Rz + T + \sqrt{\rho_0^2 + \varepsilon_y^2} \right) = 2 \cdot \left(60 + 60 + \sqrt{24,6^2 + 7,55^2} \right) = 29,3$$

МКМ.

$$2z_{max} = 2 \cdot z_{min} + D_n + D_m = 2 \cdot 29,3 + 300 - 120 = 94,9 \text{ МКМ.}$$

Розрахункові мінімальні і максимальний припуски на шліфувальну обробку поверхні деталі складуть:

$$2z_{min} = 2 \cdot \left(Rz + T + \sqrt{\rho_0^2 + \varepsilon_y^2} \right) = 2 \cdot (10 + 20) = 60 \text{ МКМ.}$$

$$2z_{max} = 2z_{min} + D_n + D_m = 2 \cdot (60 + 120 - 70) = 220 \text{ МКМ.}$$

Проміжні розрахункові розміри по оброблюваних поверхнях визначають по формулі:

$$D_{min2} = D_{min1} + 2z_{min}$$

для чистової токарної обробки:

$$D_{min1} = D_{min1} + 2z_{min}$$

$$D_{тіп1} = D_{тіп1} + 2z_{тіп1} = 119,8 + 0,7 = 120,5 \text{ мм;}$$

$$D_{min} = D_{min1} + 2$$

для чорнової токарської обробки:

$$D_{min} = D_{min2} + 2z_{min}$$

$$D_{тіп1} = D_{тіп1} + 2z_{тіп1} = 125,3 + 4,7 = 130 \text{ мм;}$$

Проміжні розміри визначаємо методом додавання значень припусків по максимальних і мінімальних значеннях, дію починаючи з розмірів деталі.

Визначення режимів різання.

Для виконання операцій точіння застосовуємо токарний верстат 16K20. Глибина різання t , при чорновому точінні і відсутності обмежень потужності

устаткування, жорсткості системи ВПД приймається рівної припуску на обробку: при чистовому точінні припуск зрізається за два і більш проходи.

На кожному наступному проході варто призначати меншу глибину різання, чим на попередньому.

Призначимо подачу.

Для верстата 16K20 приймаємо $S = 0,52$ мм/об.

Швидкість різання v , м/хв.

При зовнішньому подовжньому і поперечному точінні швидкість різання розраховуємо по емпіричній формулі:

$$v = \frac{C_v \cdot K_v}{T \cdot m \cdot t \cdot x \cdot S_y}$$

де T – стійкість інструмента, $T = 60$ хв.; коефіцієнт C_v і показників ступеня знаходимо; $C_v = 340$; $x = 0,3$; $S_y = 0,52$; $m = 0,20$; $t = 3$ мм; K_v – коефіцієнт, є узагальненням коефіцієнтів, що враховують вплив матеріалу заготовки: $K_{mv} = 1$, стан поверхні $K_{nv} = 0,9$ табл.5 [3], матеріалу інструмента $K_{uv} = 1,0$.

Тоді
$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 0,9$$

Швидкість різання дорівнює:

$$v = \frac{C_v \cdot K_v}{T \cdot m \cdot t \cdot x \cdot S_y} = \frac{340 \cdot 0,9}{60 \cdot 0,2 \cdot 3 \cdot 0,3 \cdot 0,52} = 56,7 \text{ м/хв.}$$

Приймаємо табличне значення швидкості різання 58 м/хв., яке відповідає стандартному значенню кількості обертів верстата 16K20.

Сила різання

Силу різання прийнято розкладати на складові сили по осях координат верстата (тангенціальну P_z , радіальну P_y і осьову P_x).

Силу різання визначають по формулі:

$$P_{z, y, x} = 10 \cdot C_p \cdot f \cdot S_y \cdot v \cdot K_p \cdot \pi$$

де f – довжина леза різця, $f = 5$ мм; C_p і показники x , y , n , $C_p = 225$, $x = 0,15$, $y = 0,45$, $n = 0,02$; K_p – поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання, визначається як твір коефіцієнтів $K_p = 0,93$.

Підставивши значення одержимо

$$P_{z, y, x} = 10 \cdot 225 \cdot 5 \cdot 0,52 \cdot 58 \cdot 0,93 \cdot 0,02 = 6311 \text{ Н}$$

Потужність різання визначаємо по формулі:

$$N = \frac{P_z}{10,20 \cdot 60}$$

Підставивши значення одержимо:

$$N = \frac{6311}{10,20 \cdot 60} = 10,3 \text{ кВт.}$$

Визначення основного (технологічного) часу

$$t_0 = \frac{L \cdot i}{n \cdot S},$$

$$L = l = l_{вр} = l_{пер}$$

i - число проходів різця.

При прохідному різці $\phi = 45^\circ$, $l_{вр} = l_{пер} = 11 \text{ мм}$; а при куті різання $\phi = 90^\circ$, $l_{вр} = l_{пер} = 4 \text{ мм}$.

Для поверхні (1) $t_{01} = 80 + 8/230 \cdot 0.52 = 1.22 \text{ хв.}$

Для поверхні (2) $t_{02} = 220 + 4/230 \cdot 0.52 = 0.77 \text{ хв.}$

Для поверхні (3) $t_{03} = 120 + 4/230 \cdot 0.52 = 0.26 \text{ хв.}$

Для поверхні (4) $t_{01} = 35 + 8/230 \cdot 0.52 = 0,35 \text{ хв.}$

Для поверхні (5) $t_{01} = 720 + 8/230 \cdot 0.52 = 2,25 \text{ хв.}$

Основний час на операцію обточки по діаметру - чорновий.

$$t_0 = t_{01} + t_{02} + t_{03} + t_{04} + t_{05} = 5,36 \text{ хв.}$$

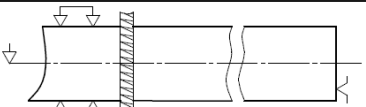
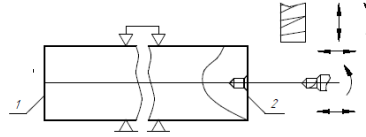
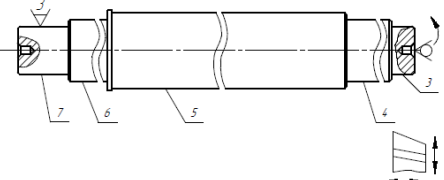
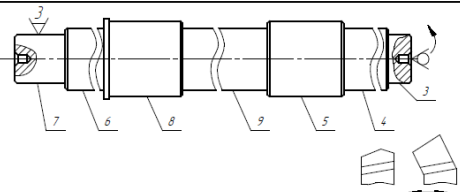
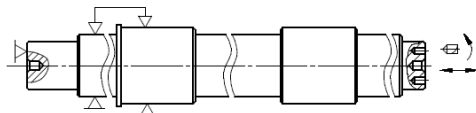
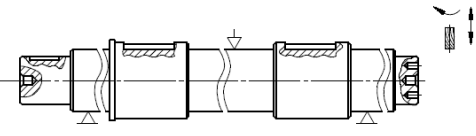
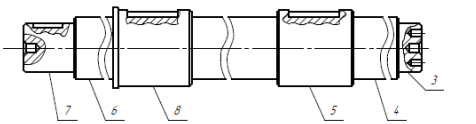
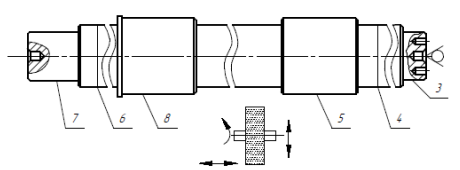
Визначаємо $T_{шт}$, на виконання операції:

$$T_{шт} = t_{оп} + t_{доп}$$

$$t_{оп} = t_0 + (30 \dots 50)\% t_0 = 5,36 + 2,62 = 7,98 \text{ хв.}$$

t допоміжне включає: (технічного обслуговування + t фізичні потреби. $t_{доп} = (5 \dots 8)\% t_{оп}$,

$$T_{шт} = 7,98 + 0,64 = 8,62 \text{ хв.}$$

Операція, зміст		Верстат та обладнання	Інструмент	
			Різальний	Вимірний
05 Фрезерно-відрізна Відрізати заготовку від прутка		Фрезерно-відрізний верстат 8866 Лещата самоцентруючі ГОСТ 2675-80	Пилка сегментна 310 ГОСТ 4047-82	Лінійка 1-1000 ГОСТ 425-75
010 Фрезерно-центрувальна Фрезерувати і центрувати торці 1 та 2		Фрезерно-центрувальний верстат МР-78 Зажим спеціальний	Фреза циліндрична 310 ГОСТ 4047-82 Сверло центрувальне 2317-01 ГОСТ 14034-74	Лінійка 1-1000 ГОСТ 425-75
015 Токарна Точити поверхні 5,4,3 з переустановом 6,7 з припуском 3 мм на сторону начарно		Токарно-гвинтарізний верстат ІК163 Патрон трикулачковий ГОСТ 2675-80, центр ГОСТ 8742-75	Різець прорізний 2100-0209 правий ГОСТ 9795-84	Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1 ГОСТ 166-90
020 Токарна Точити поверхні 3,4,5 з переустановом 6,7,8 з припуском 0,6мм на начисто, точити фаски, підрізати торці, точити поверхню 9		Токарно-гвинтарізний верстат ІК163 Патрон трикулачковий ГОСТ 2675-80, центр ГОСТ 8742-75	Різець прорізний 2100-0209 правий ГОСТ 18877-85 Різець підрізний 2201-0109 ГОСТ 2379-85	Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1 ГОСТ 166-90
025 Свердлильна Свердлили два отвори у торці 2 деталі, розгарнути, нарізати різьбу М12		Вертикально-сверлильний верстат 2Г175 Зажим спеціальний	Свердло 1025-010 ГОСТ 886-85 Метчик М12 ГОСТ 9740-81	Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1 ГОСТ 166-90
030 Фрезерна Вфрезерувати шпоначні пази 32х11х144 та 28 х10х110		Вертикально-фрезерний верстат 6А1317 Пристосування спеціальне на столі верстата	Фрези кінцеві 2100-0032 2100-0028 ГОСТ 4675-86	Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1 ГОСТ 166-90
035 Термічна Поверхні 3,4,5,6,7,8 гартувати HRC40..45		Установка гартування СВ4 К 512АЕ Твердомір конусний по Роквеллу ТК-2		Конус Роквелла
040 Шлифувальна Шлифувати поверхні 3, 4, 5, 6, 7, 8 під розмір по кресленню		Круглошлифувальний верстат 3 У10 В Центра ГОСТ 8742-85	Круг П17500х32х35 15А50СМ-10К ГОСТ 2424-83	Мікрометр МК 100-125 ГОСТ 16501-88
045 Слюсарна Запиляти гострі кромки, очистити окалину		Верстак слюсарний 2268 Тиски 140 ГОСТ 4045-75	Напильник	
050 Контрольна Технічний контроль якості вала		Стіл ВТК Плита пафрочна ГОСТ 20149-89		Граничні калібри скоби ГОСТ 10905-86

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації ківшового елеватора для транспортування інертних компонентів бетонних сумішей на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з роботою механічного обладнання, електроприводів та транспортуванням сипких матеріалів.

До основних небезпечних виробничих факторів належать:

- рухомі частини машин і механізмів;
- обертання приводних барабанів, валів та муфт;
- можливість затягування одягу або частин тіла у рухомі елементи;
- падіння матеріалу під час завантаження або розвантаження;
- небезпека ураження електричним струмом;
- можливість руйнування тягового органу або ківшів;
- підвищена запиленість робочої зони.

До шкідливих виробничих факторів належать:

- виробничий шум;
- вібрації від роботи приводу та транспортуючого обладнання;
- пил цементу, піску та інших інертних матеріалів;
- несприятливий мікроклімат виробничих приміщень;
- фізичне перевантаження під час технічного обслуговування обладнання.

Особливу небезпеку становить цементний пил, який негативно впливає на органи дихання, шкіру та слизові оболонки працівників. Для зменшення запиленості передбачаються герметизація транспортуючих вузлів, використання аспіраційних систем та засобів індивідуального захисту.

Рівень шуму та вібрацій, що виникають під час роботи елеватора, не повинен перевищувати допустимі значення, встановлені нормативними документами. Для цього використовують амортизуючі опори, гумові прокладки та балансування обертових елементів.

4.2 Забезпечення виробничої безпеки під час експлуатації ківшового елеватора

Безпечна експлуатація ківшового елеватора забезпечується виконанням організаційних та технічних заходів, спрямованих на попередження травматизму та аварійних ситуацій.

Перед введенням обладнання в експлуатацію необхідно:

- перевірити справність електрообладнання;
- виконати перевірку заземлення;
- перевірити стан тягового органу, ківшів та захисних огорожень;
- переконатися у справності систем контролю та блокування.

Усі рухомі елементи елеватора повинні бути закриті захисними кожухами та огороженнями. Особлива увага приділяється захисту приводних механізмів, ланцюгових передач, муфт та барабанів.

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу елеватор оснащується:

- аварійними вимикачами;
- системою контролю швидкості стрічки;
- датчиками сходження стрічки;
- пристроями захисту від перевантаження;
- блокуванням пуску при відкритих люках та дверцятах.

Технічне обслуговування та ремонт обладнання дозволяється виконувати лише після повної зупинки елеватора та відключення електроживлення. На пускових пристроях повинні встановлюватися попереджувальні таблички «Не вмикати –працюють люди».

Працівники, які обслуговують обладнання, повинні проходити:

- інструктаж з охорони праці;
- навчання безпечним методам роботи;
- перевірку знань правил техніки безпеки;
- медичні огляди відповідно до чинного законодавства.

Під час роботи персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту:

- спецодяг;
- захисне взуття;
- рукавиці;
- захисні окуляри;
- респіратори для захисту від пилу.

4.3 Забезпечення пожежної безпеки об'єкта

Пожежна безпека виробничих приміщень забезпечується відповідно до вимог:

- ДБН В.1.1-7:2016;
- НАПБ А.01.001-2014;
- ДСТУ EN 13501.

Основними причинами виникнення пожеж на підприємствах будівельної галузі можуть бути:

- коротке замикання електрообладнання;
- перегрів електродвигунів;
- накопичення пилу;
- порушення правил експлуатації електроустановок;
- використання несправного обладнання.

Для забезпечення пожежної безпеки передбачаються:

- справна система заземлення;
- використання автоматичних вимикачів;
- регулярне очищення обладнання від пилу;
- наявність первинних засобів пожежогасіння;
- вільний доступ до евакуаційних виходів.

Виробничі приміщення повинні бути забезпечені:

- порошковими та вуглекислотними вогнегасниками;
- пожежними щитами;
- системою оповіщення про пожежу;
- планами евакуації персоналу.

Куріння та використання відкритого вогню у виробничих приміщеннях забороняється.

4.4 Дії персоналу при аварійних ситуаціях

У разі виникнення аварійної ситуації працівники повинні негайно:

1. Зупинити роботу обладнання аварійним вимикачем.
2. Відключити електроживлення.
3. Повідомити відповідальну особу або керівника зміни.
4. Вивести людей із небезпечної зони.
5. У разі необхідності викликати аварійні служби.

При виникненні пожежі необхідно:

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

У випадку травмування працівника необхідно:

- надати домедичну допомогу;
- викликати медичних працівників;
- забезпечити безпечні умови до прибуття медичної допомоги.

Робота обладнання після аварії дозволяється лише після усунення несправностей та проведення повторної перевірки технічного стану елеватора.

4.5 Заходи з охорони навколишнього середовища

Під час експлуатації ківшового елеватора необхідно забезпечити мінімальний негативний вплив на навколишнє середовище.

Основними джерелами забруднення є:

- пилові викиди;
- виробничий шум;
- відходи мастильних матеріалів;
- зношені елементи обладнання.

Для зменшення запиленості використовуються:

- герметичні кожухи;
- аспіраційні системи;
- пиловловлювальні установки;
- регулярне очищення обладнання.

З метою зниження шуму та вібрацій застосовуються:

- гумові амортизатори;
- шумоізоляційні матеріали;
- балансування обертових частин.

Відпрацьовані мастильні матеріали та зношені деталі повинні збиратися у спеціальні контейнери та передаватися на утилізацію відповідно до екологічних вимог.

Підприємство повинно дотримуватися вимог природоохоронного законодавства та забезпечувати раціональне використання енергетичних і матеріальних ресурсів.

4.6 Розрахунок заземлення

Захисне заземлення застосовується для запобігання ураженню людини електричним струмом у разі дотику до металевих неструмоведучих частин електрообладнання, які внаслідок пошкодження ізоляції можуть опинитися під напругою.

Принцип дії захисного заземлення полягає у створенні електричного з'єднання між металевими частинами обладнання та землею через провідник із малим опором. Завдяки цьому струм замикання проходить переважно через

заземлювальний контур, а не через тіло людини, що дозволяє знизити його значення до безпечного рівня.

До елементів обладнання, які підлягають обов'язковому заземленню, належать:

- корпуси електродвигунів;
- трансформатори;
- освітлювальні установки;
- металеві корпуси пересувного електрообладнання;
- каркаси електричних щитів, пультів та шаф керування;
- металеві конструкції розподільчих пристроїв.

Основним елементом системи захисного заземлення є заземлювач. За способом виконання заземлювачі поділяються на природні та штучні.

До природних заземлювачів можуть належати:

- металеві трубопроводи, прокладені в ґрунті, за винятком трубопроводів для горючих речовин і газів;
- обсадні труби;
- металеві та залізобетонні конструкції будівель, що контактують із ґрунтом;
- металеві елементи гідротехнічних споруд.

Штучні заземлювачі зазвичай виконуються у вигляді вертикальних і горизонтальних електродів. Як вертикальні електроди застосовують сталеві стержні діаметром 10–48 мм та довжиною 1–2,5 м або кутову сталь товщиною не менше 4 мм і довжиною 2,5–3 м. Після монтажу верхня частина електрода повинна розташовуватись на глибині приблизно 0,6–0,7 м від поверхні землі.

Використання круглих сталевих електродів має низку переваг:

- можливість механізованого монтажу;
- менші витрати металу;
- забезпечення необхідної глибини заглиблення;
- менша залежність характеристик заземлення від сезонних змін температури ґрунту.

Для з'єднання вертикальних електродів між собою використовують горизонтальні заземлювачі у вигляді сталеві стрічки товщиною не менше 4 мм або круглої сталі діаметром від 10 мм.

Монтаж заземлювального контуру здійснюється у попередньо підготовленій траншеї глибиною 0,7–0,8 м. Вертикальні електроди занурюють у ґрунт механізованим способом за допомогою спеціального обладнання.

Для пересувних електроустановок використовують інвентарні стержневі заземлювачі діаметром близько 15 мм і довжиною 1180, 1500 або 2000 мм. Глибина їх занурення в ґрунт становить відповідно 580, 900 та 1400 мм.

Заземлювальні стержні виготовляють зі сталі марки 35 відповідно до ГОСТ 1050-85. Вони повинні мати антикорозійне покриття та забезпечувати багаторазове використання без деформацій і пошкоджень.

Після зміни місця встановлення або джерела живлення пересувної електроустановки необхідно повторно перевіряти:

- опір заземлювального пристрою;
- цілісність провідників;
- надійність контактних з'єднань.

Розрахунок заземлювального пристрою передбачає визначення необхідної кількості вертикальних і горизонтальних електродів залежно від:

- допустимого опору заземлення;
- питомого опору ґрунту;
- геометричних параметрів електродів;
- схеми розміщення заземлювача.

Відповідно до вимог ПУЕ допустиме значення опору заземлювального пристрою для розроблюваного обладнання не повинно перевищувати 4 Ом.

Визначимо питомий опір ґрунту за формулою

$$\rho = \rho_0 \cdot \psi,$$

де ψ – коефіцієнт сезонності для електродів довжиною до 3 м і III кліматичної зони, $\psi = 1,5$;

ρ_0 – питомий опір ґрунту, для глини приймаємо $\rho_0 = 100$ Ом;

Тоді за формулою одержимо

$$\rho = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом.}$$

Опір розтіканню струму для вертикального електрода із круглої сталі визначимо за формулою

$$R_{\theta} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_{\theta}} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_{\theta}}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot t_{\theta} + l_{\theta}}{4 \cdot t_{\theta} - l_{\theta}} \right),$$

де d – діаметр електрода, приймаємо $d = 0,025$ м;

l_{θ} – довжина вертикального електрода, приймаємо $l_{\theta} = 2,5$ м;

t_{θ} – глибина занурення електрода, приймаємо при $l = 2,5$ м $t_{\theta} = 2,0$ м.

$$R_{\theta} = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,025} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,65 + 2,5}{4 \cdot 1,65 - 2,5} \right) = 54,25 \text{ Ом}$$

Схема установки одиночного електрода наведена на рисунку 4.1.

Опір розтіканню струму горизонтального електрода із стрічкової сталі

$$R_{\epsilon} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_{\epsilon}} \cdot \ln \frac{l_{\epsilon}^2}{b \cdot t_{\epsilon}}$$

$$n = \frac{R_{\epsilon}}{R_n \times h_{\epsilon}},$$

$$n = \frac{54.25}{10 \times 1} = 5.4 \approx 5$$

n – визначення кількості електродів;

де l_{Γ} – довжина горизонтального електрода, визначається як добуток кількості n вертикальних електродів на відстань l_0 між ними, при

$$l_0 = 2 \cdot l_{\epsilon} = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ м},$$

тоді у разі використання 10 вертикальних електродів

$$l_{\epsilon} = l_0 \cdot n = 5 \cdot 5 = 25 \text{ м};$$

b – ширина сталеві стрічки, приймаємо $b = 0,05 \text{ м}$;

t_{ϵ} – глибина занурювання горизонтального електрода.

$$R_2 = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 25} \cdot \ln \frac{25^2}{0,025 \cdot 0,6} = 10 \text{ Ом}.$$

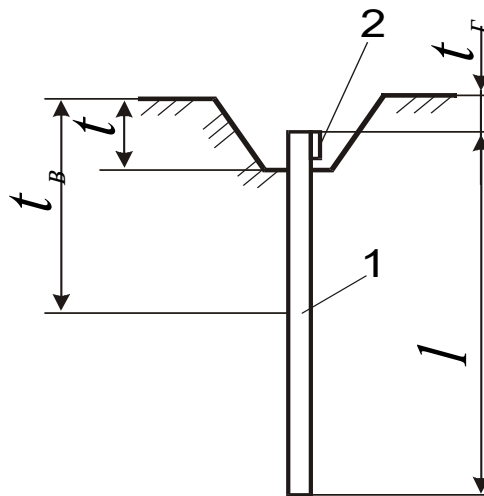


Рисунок 4.1 – Схема розташування одиночного електрода:

1 – горизонтальний електрод, 2 – вертикальний електрод

Опір групового заземлюючого пристрою

$$R = \frac{R_{\epsilon} \cdot R_{\epsilon}}{R_{\epsilon} \cdot \eta_{\Gamma} + R_2 \cdot \eta_{\epsilon} \cdot n},$$

де η_{Γ} – коефіцієнт використання горизонтального електрода, при кількості вертикальних електродів $n = 5$ штук, їх рядному розташуванні та відношенні відстані між ними до їх довжини $\frac{l_0}{l_{\epsilon}} = 2$, приймаємо $\eta_{\epsilon} = 0,75$;

η_e – коефіцієнт використання вертикального електрода, при кількості вертикальних електродів $n = 5$ штук, їх рядному розташуванні та відношенні відстані між ними до їх довжини $\frac{l_0}{l_e} = 2$, приймаємо $\eta_e = 0,81$;

Тоді визначаємо опір групового заземлюючого пристрою

$$R = \frac{54,2 \cdot 10}{54,2 \cdot 0,75 + 10 \cdot 0,81 \cdot 5} = 6,6 \text{ Ом}$$

Розрахункова величина опору заземлюючого пристрою не перевищує необхідної величини $6,6 < 10,0$. На основі цього можна зробити висновок, що прийнята конструкція заземлюючого пристрою забезпечує необхідний рівень електробезпеки

ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі виконано аналіз конструкцій і принципів роботи сучасних ківшових елеваторів, що застосовуються для вертикального транспортування сипких та інертних матеріалів у будівельній промисловості.

Проаналізовано умови транспортування інертних компонентів бетонних сумішей, зокрема піску, щебеню та гравію, а також визначено основні вимоги до транспортуючого обладнання з урахуванням абразивності матеріалів, продуктивності та надійності роботи.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано вибір стрічкового ківшового елеватора як найбільш ефективного засобу вертикального транспортування інертних компонентів бетонних сумішей.

У роботі визначено основні конструктивні параметри елеватора, виконано розрахунок продуктивності, тягового органу, ківшів і приводу. Проведені розрахунки підтвердили працездатність та ефективність запропонованої конструкції.

Розроблено конструкцію основних вузлів елеватора, описано принцип роботи обладнання та особливості його експлуатації у складі технологічних ліній виробництва бетонних сумішей.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та заходам із захисту навколишнього середовища під час експлуатації транспортуючого обладнання.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні, модернізації та експлуатації ківшових елеваторів на підприємствах будівельної індустрії та бетонозмішувальних установках.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

- 1 Співаковський О. О. Підйомно-транспортні машини : підручник / О. О. Співаковський, В. К. Дьячков. – Київ : Вища школа, 2004. – 520 с.
- 2 Вантажно-транспортуючі машини і засоби в поліграфії : навч. посіб. для здобувачів освітнього ступеня бакалавра спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» усіх форм навчання / Т. І. Веретільник, Ю. П. Мамонов, Л. Д. Мисник, Р. Б. Капітан, Б. В. Мисник ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2018. – 91 с.
- 3 Гевко Б. М. Транспортуючі машини : навчальний посібник / Б. М. Гевко. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 356 с.
- 4 Дереза О. О. Машини безперервного транспорту : навчальний посібник / О. О. Дереза. – Мелітополь : Таврійський державний агротехнологічний університет, 2016. – 108 с. – Режим доступу: <https://www.tsatu.edu.ua/tm/wp-content/uploads/sites/14/posibnyk> (дата звернення: 15.05.2026).
- 5 Mott R. L. Machine Elements in Mechanical Design / R. L. Mott. – 6th ed. – Boston : Pearson Education, 2018. – 912 p.
- 6 Kulwiec R. A. Materials Handling Handbook / R. A. Kulwiec. – New York : Wiley, 1985. – 1152 p.
- 7 ISO 5048:1989. Continuous mechanical handling equipment — Belt conveyors with carrying idlers — Calculation of operating power and tensile forces. – Geneva : International Organization for Standardization, 1989.
- 8 ДСТУ ISO 12100:2014 Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Оцінка ризику та зниження ризику. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 74 с.
- 9 ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – Київ : Мінрегіон України, 2017. – 41 с.
- 10 ПУЕ Правила улаштування електроустановок. – Харків : Форт, 2017. – 760 с.
- 11 Машинобудівельний завод «Бетонмаш» — установка СБ-240-V Режим доступу: <http://betonmash.com/betanosmesitelnoe-oborudovanie/ustanovka-dlya-proizvodstva-suhih-stroitelnyh-smesey-sb-240v-0?language=uk> (дата звернення: 15.05.2026).
- 12 Кредмаш — асфальтозмішувальні установки КДМ206 Режим доступу: https://kredmash.com/uploads/files/2020_150%D0%BB%D0%B5%D1%82_%D1%83%D0%BA%D1%80.pdf (дата звернення: 15.05.2026).
- 13 Волков Д. П. Будівельні машини : підручник / Д. П. Волков, В. Я. Крижанівський. – Київ : Вища школа, 2006. – 463 с.

- 14 Кузьмін О. В. Машины для виробництва будівельних матеріалів : навчальний посібник / О. В. Кузьмін. – Львів : Новий Світ-2000, 2012. – 288 с.
- 15 Машины безперервного транспорту : підручник / за ред. В. С. Бондаренка. – Київ : Каравела, 2010. – 496 с.
- 16 Бондаренко В. М. Підйомно-транспортні машини : навчальний посібник / В. М. Бондаренко. – Харків : ХНАДУ, 2015. – 312 с.
- 17 ГОСТ 2036-77 Ківші елеваторів. Типи, основні параметри та розміри. – Чинний стандарт, використовується як довідковий нормативний документ.
- 18 ГОСТ 22644-77 Барабани приводні та натяжні елеваторів. Технічні умови. – Чинний стандарт, використовується як довідковий нормативний документ.
- 19 ГОСТ 1050-85 Технічні умови. – Чинний стандарт, використовується як довідковий нормативний документ.
- 20 Нікітін Є. О. Обладнання підприємств будівельної індустрії : навчальний посібник / Є. О. Нікітін. – Київ : Кондор, 2014. – 390 с.