

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ПІДЙОМНІ УСТАНОВКИ

## КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
за освітньою програмою  
«Інжиніринг інтелектуальних  
електротехнічних та мехатронних комплексів»  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2022

Транспортні системи електромеханічних комплексів: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.В. Зайченко, В.А. Побігало, В.Г. Дубовик (1 файл: Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 136 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № від 2022 р.)  
за поданням Вченої ради Інституту енергозбереження та енергоменеджменту  
(протокол № від 2022 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ  
КОМПЛЕКСІВ  
ПІДЙОМНІ УСТАНОВКИ  
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Укладачі: *Зайченко Стефан Володимирович*, д-р техн. наук, проф.,  
*Побігало Віталій Анатоліович*, канд. техн. наук, доцент,  
*Дубовик Володимир Григорович*, старший викладач.

Відповідальний редактор *Мейта Олександр Вячеславович*, к.т.н., доцент  
Рецензент *Дерев'яно Денис Григорович*, к.т.н., доцент

Дане видання призначене для вивчення теоретичної частини курсу «Транспортні системи електромеханічних комплексів» для студентів спеціальності спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньо-професійної програми «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів». Видання включає основні теоретичні засади з теорії, методів і засобів вирішення транспортних задач підприємств паливно-енергетичного і муніципального комплексу.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

## Зміст

Вступ до предмету “ Транспортні системи електромеханічних комплексів ” .....	6
Розділ 1.....	18
Електровозний транспорт. ....	18
Тема 1.1. Рейкові шляхи і вагонетки.....	18
1.1.1.Верхня та нижня будова шляху. ....	18
1.1.2.Особливості укладання рейкових шляхів на закругленнях .....	23
1.2.1. Класифікація, основні елементи і вимоги до вагонеток .....	25
1.2.2.Основні характеристики рудничних вагонеток .....	28
1.2.3.Заходи щодо підвищення довговічності вагонеток .....	31
Тема 1.3. Локомотиви. ....	33
1.3.1. Класифікація електровозів .....	33
1.3.2. Конструкція електровоза, його основне устаткування й параметри .....	34
1.3.3. Повітровози, гіровози і спеціальні типи електровозів .....	38
1.3.4. Основи тягового розрахунку .....	40
1.3.5. Механізми реалізації сили тяги й гальмової сили .....	41
1.3.6. Статичні опори руху поїзда .....	45
1.3.7. Визначення ваги поїзда .....	47
Розділ 2.....	52
Транспортні засоби безперервної дії .....	52
Тема 2.1. Загальні відомості.....	52
2.1.1. Класифікація і основні групи гірничих транспортних машин .....	52
Класифікація транспортних машин .....	52
2.1.2.Продуктивність транспортних машин .....	55
Тема 2.2. Скребкові конвеєри .....	57
2.2.1.Область використання .....	57
2.2.2.Конструкція скребкового конвеєру.....	58
2.2.3.Визначення ширини жолоба. Визначення опору тягового органу та потужності двигуна.....	59
2.2.4.Динаміка ланцюгового приводу. Методи зменшення динамічних навантажень .....	62
Тема 2.3. Пластинчаті конвеєри .....	65
2.3.1. Загальні відомості .....	65
2.3.2. Класифікація пластинчастих конвеєрів .....	66
2.3.3. Конструкції основних елементів пластинчастого конвеєра .....	66

2.3.4. Розрахунок пластинчастих конвеєрів .....	68
2.3.4. Ескалатор .....	70
Тема 2.4. Стрічкові конвеєри .....	72
2.4.1. Загальні відомості та класифікація .....	72
2.4.2. Класифікація стрічкових конвеєрів.....	72
2.4.3. Основні елементи стрічкового конвеєра. Конвеєрна стрічка.....	74
2.4.3. Стави стрічкових конвеєрів .....	76
2.4.4. Приводи стрічкових конвеєрів .....	77
2.4.5. Завантажувальні, розвантажувальні, натяжні та очисні пристрої. ....	81
2.4.6. Розрахунок стрічкового конвеєра .....	83
2.4.7. Експлуатація стрічкового конвеєра .....	87
Тема 2.5. Гвинтові конвеєри та транспортуючі труби .....	88
2.5.1. Область використання гвинтових конвеєрів. Класифікація .....	88
2.5.2. Конструкція гвинтового конвеєра.....	90
2.5.3. Розрахунок гвинтового конвеєра.....	91
2.5.4. Транспортуючі труби .....	91
Розділ 3.....	93
Шахтні підйомні установки .....	93
Тема 3.1. Шахтні підйомні установки.....	93
3.1.1. Призначення підйомних установок.....	93
3.1.2. Класифікація підйомних установок .....	94
3.1.3. Конструкція підйомних установок.....	94
Конструкція підйомних установок.....	97
3.1.4. Підйомні посудини підйомних установок.....	99
3.1.5. Підйомні канати .....	101
3.1.6. Підйомні машини.....	104
Розділ 4.....	116
Транспортні системи та вантажопідйомні машини, що використовуються в нафтогазовій галузі .....	116
Тема 4.1 Трубопровідний транспорт.....	116
4.1.1. Нафтопроводи .....	116
4.1.2. Магістральний газопровід. Споруди.....	117
4.1.3. Визначення кількості і місця розташування насосних станцій.....	120
4.1.4. Розрахунок трубопроводу на міцність.....	122
Тема 4.1 Пневматичний і Гідравлічний транспорт.....	127

4.1.1. Пневматичний транспорт .....	127
4.1.2 Розрахунок пневматичних установок .....	131
4.1.3 Гідротранспорті установки .....	132
4.1.4. Розрахунок гідравлічних установок.....	134
Список використаних джерел.....	136

## Вступ до предмету “ Транспортні системи електромеханічних комплексів ”

### План:

1. Короткий огляд історії розвитку підйомно-транспортних машин.
2. Досягнення і головні тенденції розвитку підйомно-транспортної техніки.
3. Класифікація підйомно-транспортних машин.
4. Основні критерії вибору та оцінки транспортуючої машини.
5. Характеристика й властивості вантажів та вантажопотоків.

### Короткий огляд історії розвитку підйомно-транспортних машин.

*Зробимо короткий екскурс в історію.* Тезисами запишемо розвиток підйомно-транспортних машин:

1. 4000 р. тому - Стародавній Китай, Індія - застосування найпростіших вантажопідйомних пристроїв — *важелів і поліспаств* для підйому води з колодязів при зведенні споруджень, *ланцюгові насоси*, які є *прототипами скребкових конвеєрів*;

2. Месопотамія та Стародавній Єгипет – застосовування *багатоковшових й гвинтових водопідйомників* – які є попередниками *сучасних ковшових елеваторів і гвинтових конвеєрів*. (Так, відома вам піраміда Хеопса -27 ст. до н.е., яка споруджувалась з використанням перших вантажопідйомних механізмів, мала висоту 147 м і була складена з 2,5 млн. вапнякових блоків вагою від 2 (двох) до 30 (тридцяти) т., в будівництві залучено було 100 тис. чол.)

3. Перші транспортні засоби для полегшення ручної праці це *важелі, котки й похилі площини*. Прототипи сучасних стрілових кранів – це *важільні підйомники*, використовувались для підйому води. Прототип сучасного елеватора-*водопідйомні колеса, скребкові лотки у вигляді ковшових підйомників*.

4. 3 22 ст. до н. е. почали застосовувати найпростіші *коловороти* з ручним приводом.

5. 7 ст. до н.е. поява блоків.

6. 2 ст. до н.е. - *коловороти із черв'ячними, зубчастими передачами з ручним приводом*.

7. В XI—XII ст. (Середньовіччя) почався швидкий розвиток транспортних машин і розширилась сфера їх застосування. Поява перших прототипів кранів, які мали ручний привід. Ці крани виготовлялись з деревини і тільки для осей і крюків застосовувалася сталь.

8. 16-17 ст. спроба застосовувати скребкові та гвинтові конвеєри.

9. 1768 російський гідротехнік і механізатор К. Д. Фролов (1726— 1800) запустив грандіозну для того часу комплексну установку для підйому руди й видалення води із шахт, яка приводилась в дію тиском води.

10. В 1779 р. Фролов побудував напівавтоматичну установку для промивання й збагачення руди. (Її основою були вантажопідйомники безперервної дії-ковшові елеватори, які піднімали руду на висоту 45—68 м із продуктивністю до 10 т/ч.)

11. 1860 р.- перший кран з паровим двигуном.

12. 80-ті роки 19 ст. перший кран з паровим двигуном.

13. Епохальний винахід 19 ст. – пісковіз Олександра Лопатіна,( який мав всі головні риси сучасного *стрічкового конвеєра* : *привід, стрічку, привідний й натяжний барабан, раму, підтримуючі ролики* та ін.. Це був перший стрічковий конвеєр, який пересував золотовмісний пісок до машин, а відмитий пісок у відвал.)

14. Важливим видом транспорту являє собою *електровозна відкатка*. В 1980 році Ф.О.Піроцький здійснив першу у світі спробу руху електромоторного вагону.

### **Досягнення і головні тенденції розвитку підйомно-транспортної техніки.**

На сучасному етапі розвитку транспортних і підйомних машин:

- створені електро- і автотранспортувачі, різні навантажувальні машини для штучних і сипучих вантажів, що штабелюють та інші підйомні засоби, що дозволяють здійснити комплексну механізацію на багатьох ділянках машинобудівельної, гірничої і будівельної галузях.

- розроблено унікальні конструкції плавучих кранів великої вантажопідйомності,

- створені нові конструкції мостових електричних кранів загального призначення вантажопідйомністю 5—50 т з високими технічними показниками. Сучасний стрічковий конвеєр може бути довжиною 4500 м і транспортувати до

20 000 т/г породи.

**До основних тенденцій розвитку підйомно-транспортного машинобудування належать:**

створення машин безперевантажного транспорту від початкового до кінцевих пунктів по складній просторовій трасі великої довжини.

- створення якісно нових видів підйомно-транспортних машин і механізмів, а також широку модернізацію існуючих машин й установок

- підвищення вантажопідйомності й надійності машин при одночасному значному зниженні їх металоемності завдяки застосуванню нових кінематичних схем, методів розрахунку, використання раціональних полегшених профілів прокату, нових матеріалів (леговані сталі, легкі сплави й пластмаси), а також прогресивної технології машинобудування (нові методи термообробки, нанесення зміцнювальних покриттів та ін.);

- збільшення продуктивності устаткування завдяки застосуванню широкого регулювання швидкостей механізмів, автоматичного, напівавтоматичного й дистанційного керування, спеціальних захоплюючих й інших піднімальних агрегатів;
- поліпшення умов праці робітників завдяки застосуванню установок для охолодження й очищення повітря в кабінах та інших заходів;

### **Класифікація підйомно-транспортних машин.**

Серед великої різноманітності підйомно-транспортних засобів різного призначення сучасна технологія визначила дві головні окремі самостійні конструктивні групи машин і установок **за принципом їх дії: *Машини періодичної дії і Машини безперервної дії*** (рис. 1).

За допомогою схеми розглянемо класифікацію підйомно-транспортних машин.

А) *Машини періодичної дії* - це різноманітні:

вантажопідйомні крани і установки;

ліфти (підйомники);

засоби наземного транспорту: візки, навантажувачі, тягачі;

підвісні рельсові та канатні дороги; (Примітка: Хоча є також канатні дороги безперервної дії)

скрепери;

Принцип роботи машин періодичної дії: М.П.Д. характеризуються:

періодичність подачі вантажу

переміщення вантажу окремими порціями, що зумовлено вантажопідйомністю машини

загрузка і розгрузка відбувається при зупинці машини, лише інколи під час переміщення вантажа.

Цикл роботи М.п.д.: змінно зворотні рухи з зупинками (зупинка для підйому вантажа- рух з вантажем-зупинка для розвантаження- рух назад без вантажа).

Б) *Машини безперервної дії* (друга назва -*машини безперервного транспорту, транспортуючі машини*-переміщення вантажів по заданій трасі) це:

конвеєри різного типу;

установки пневматичного та гідравлічного транспорту;

Принцип роботи машин безперервної дії: М.Б.Д. характеризуються:

безперервність переміщення насипних та штучних вантажів по заданому шляху без зупинок для загрузки та розгрузки;

поєднання робочого та холостого руху робочих елементів

насипний вантаж знаходиться в робочих посудинах ( ковші, короби) на відстані один від одного;



Все це зумовлює для М.б.д високу продуктивність. (Наприклад, сучасний стрічковий конвеєр на відкритих розробках вугілля може транспортувати до 20000 т. за год. **вскришної** породи, що забезпечує загрузку ж/д вагонів в 1 хв.).

В) Допоміжні установки (обладнання) призначені для спільної роботи з транспортними машинами:

живильники;

ваги;

навантажувальні машини;

бункери;

затвори;

дозатори;

жолоби;

шляхові пристрої для зупинки і регулювання ходу вагонетки

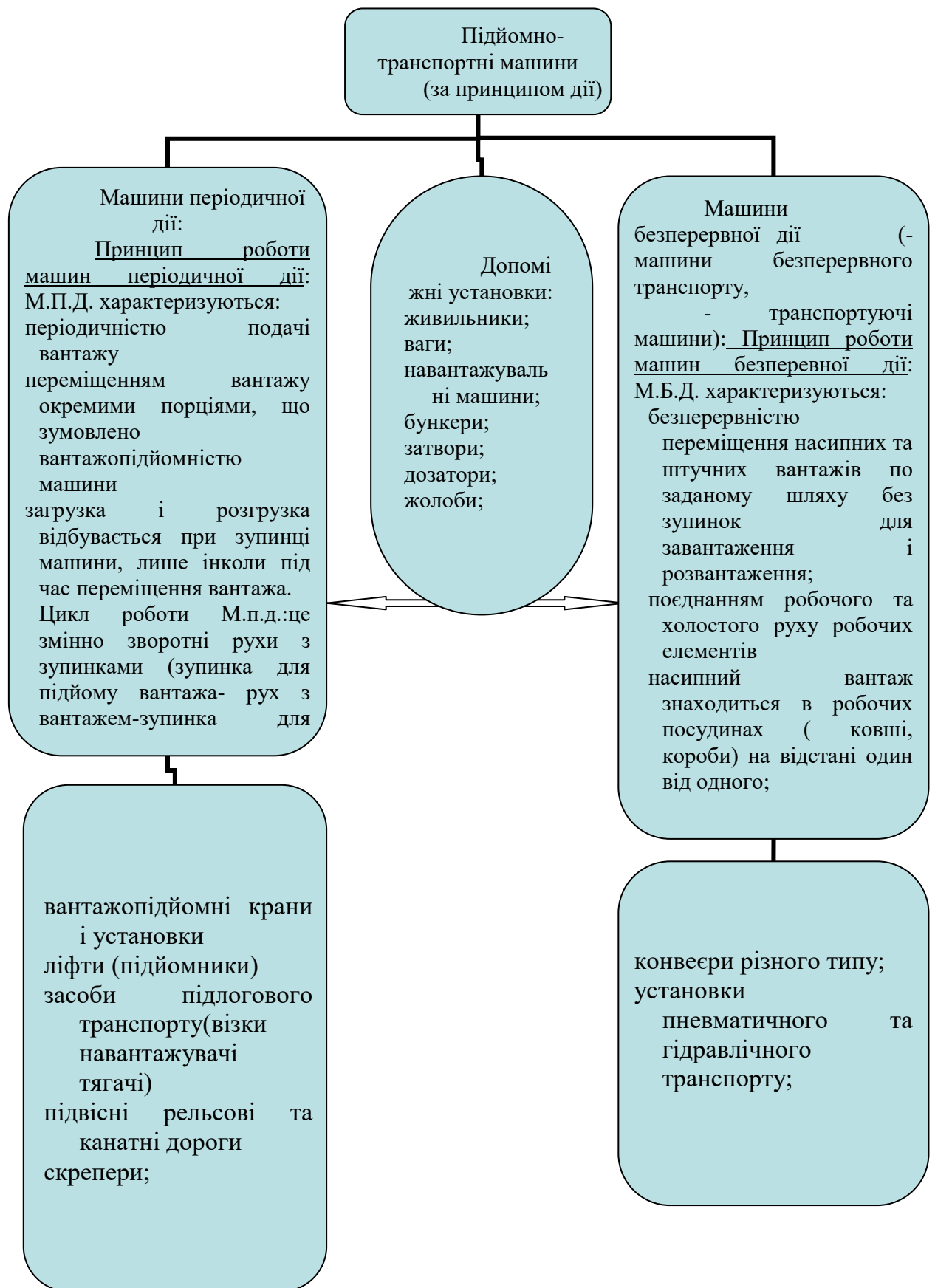


Рис. 1 Класифікація ПТМ

Поряд із транспортними машинами безперервної дії – конвеєрами різних типів (стрічковими, скребковими, пластинчастими, ковшовими, гвинтовими, інерційними), гідро- і пневмотранспортними установками, самопливними установками, кільцевими канатними дорогами – на підприємствах широко використовуються й транспортні машини періодичної дії в якості самостійних або допоміжних транспортних засобів.

До транспортних засобів періодичної дії, які отримали велике застосування належать : локомотивне відкочування, підземний автомобільний транспорт, навантажувальні машини різних типів, навантажувально-постачальні машини, перекидачі, штовхачі, канатно-скреперні установки, а як допоміжне устаткування локомотивного відкочування - компенсатори висоти, підвагонні ланцюги, до випробувальні гірки й ін.

*Транспортні засоби поділяють за ознаками:*

*1) За призначенням:*

- транспортні засоби
- допоміжне транспортне обладнання

*2) За принципом роботи в часі:*

- машини безперервної дії (вантаж прибуває до місця призначення безперервним потоком)
- машини періодичної дії

*3) За способом переміщення вантажів:*

- в сосудах (вагонетки, автомобілі)
- в середовищі (вода, повітря)
- переміщення на вантажонесучих органах (стрічки, ковші), відносно яких вантаж нерухомий.

*4) За конструктивною ознакою:*

- основне обладнання:

*А) конвеєри (стрічкові, тощо)*

*Б) пневматичні і гідравлічні установки, підвісні канатні дороги, скреперні установки, локомотивний і автомобільний транспорт*

- допоміжне обладнання

*А) бункерні затвори, живильники; ваги; навантажувальні машини; дозатори; жолоби; шляхові пристрої для зупинки і регулювання ходу вагонетки*

Переміщення вантажів на підприємствах виконується засобами промислового транспорту. Промисловий транспорт на підприємствах за територіальною ознакою поділяють на:

2. *Зовнішній транспорт* (залізничний, водний, автомобільний, повітряний та конвеєрний (більш економічний) транспорт; Призначення: доставка на підприємство сировини, палива та вивезення готової продукції та відходів.

3. *Внутрішньозаводський (внутрішній) транспорт* включає в себе:

а) міжцеховий транспорт вантажів; ( На сучасних підприємствах з масовим виробництвом це Т.м.б.д.- конвеєри. На підприємствах серійного виробництва це- візки і тягачі різного типу, місцевий ж/д та автомоб. транспорт

б) внутрішньоцеховий транспорт вантажів- призначений для міжопераційного переміщення вантажів-виробів при поточному методі виробництва. Це- *конвеєри, які об'єднують міжцехові та внутрішньоцехові функції, а на підприємствах з невеликим вантажопотоком- возики та вантажопідйомні крани.*

### **Основні критерії вибору та оцінки транспортуючої машини.**

Через велике розмаїття транспортуючих машин, для вирішення одного й того ж транспортного завдання можуть бути обрані різні типи машин. Вибір машини, що найбільш повно відповідає вимогам й умовам даного конкретного випадку, - досить *важливий і відповідальний етап розробки проекту механізації транспорту підприємства* й вимагає від проектанта не тільки спеціальних знань конструктивних й експлуатаційних властивостей транспортуючих машин, але й детального знайомства з організацією виробництва, уміння виконати техніко-економічне порівняння можливих варіантів рішення.

### Основні критерії вибору та оцінки транспортуючих машин

До основних критеріїв вибору та оцінки типів транспортуючих машин, за допомогою яких може бути оптимально механізований заданий транспортний процес, належать:

1. Продуктивність
2. Напрямок та довжина транспортування
3. Кут нахилу до горизонту
4. Надійність
5. Економічність
6. Безпека та відповідність всім технічним вимогам виробництва
7. Завантаження і розвантаження

Розглянемо детальніше деякі критерії.

*Надійність* оцінюють коефіцієнтом готовності:

$K_T = t_{\text{від}} : (t_{\text{від}} + t_{\text{в}})$ , де  $t_{\text{від}}$  - наробка на відказаний час роботи,  $t_{\text{в}}$ -час відновлення (середній час для ліквідації відказів)

*Економічність* - при проектуванні транспорту економічність оцінюють по величині річних витрат.  $P = C + U \cdot Y \{ \text{гр.} \}$ , де  $C$ - річні експлуатаційні витрати;

У- капітальні витрати; Я - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних витрат.

### **Характеристика й властивості вантажів та вантажопотоків.**

Для вибору типу й розрахунку транспортуючих машин дуже важливо знати характеристику вантажів, які підлягають транспортуванню. Рід вантажів і їх фізико-механічні властивості є одними з головних факторів, що визначають тип і конструкцію машин і її елементів.

Вантажі поділяють на:

поштучні;

насіпні;

**Поштучні вантажі** – одиничні вантажі, які транспортуються поштучно. Це машини, кріплення, вантажі в ящиках і контейнерах і також люди, від яких вимагається забезпечення безпеки та зручностей. Поштучні вантажі поділяють на :*безпосередньо поштучні* (одиничні вироби, деталі та вузли машин: цегла, труби, балки) та на *тарні* (розміри та вид тари вантажів визначені держстандартами). Поштучні вантажі характеризуються габаритами, формою, масою, іноді особливими властивостями – вогнебезпечністю та ін..

**Насіпні вантажі** це різні масові навалювальні шматкові, зернисті, порошкоподібні й пилоподібні матеріали, які зберігаються і транспортуються навалом. Наприклад: руда, вугілля, торф, щебінь, гравій, обпилки, формувальна земля, пісок, цемент і т.п.

Основний вантажопотік складають насіпні вантажі. Тому детальніше зупинимось на властивостях насіпних вантажів.

Насіпні вантажі характеризуються:

розміром і формою часток,

кускуватістю,

насіпною масою,

щільністю,

вологістю,

кутом природного скосу,

стиральною здатністю (абразивністю),

корозійністю,

липкістю,

отруйністю,

вибухонебезпечністю, здатністю самозайматися, злежуватися, змерзатися.

Кожна із цих властивостей повинна враховуватися при виборі типу й параметрів машини. Розглянемо детальніше декілька властивостей.

*Розмір матеріалу* визначається його гранулометричним складом і характеризується лінійними розмірами шматків вантажу по трьох взаємно перпендикулярних напрямках, з яких найбільший умовно називають довжиною шматка  $a$ .

**Залежно від однорідності складу насипні вантажі поділяють на:**

**рядові; при  $a_{\max}/a_{\min} \geq 2,5$**

**сортовані; при  $a_{\max}/a_{\min} < 2,5$**

**Критерієм для поділу є співвідношення між максимальним і мінімальним розмірами шматків вантажу. Рядові вантажі характеризуються максимальним розміром шматка, сортовані - середнім.**

**В залежності від розміру  $a$  типового шматка насипні вантажі підрозділяють на пилоподібні ( $a < 0,05$  мм), порошкоподібні (0,05-0,5), зернисті (0,5-10), дрібношматкові (10-60), середньошматкові (60-160) і великошматкові ( $a > 160$ ).**

Розмір матеріалу впливає на вибір параметрів (розміри, міцність) конструктивних елементів транспортних машин, які взаємодіють з вантажем. Наприклад, пилоподібні й порошкоподібні вантажі вимагають застосування транспортних засобів спеціального виконання, які запобігають розпиленню й пов'язані із цим втрати вантажу при транспортуванні. (І навпаки, великі шматки . . .

Кускуватість розраховується за формулою  $d = d_{\min} + d_{\max} : 2$  ( $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$  - найменший і найбільший розмір кусків)

Наступна властивість, яку ми розглянемо: *Насипна щільність*  $\rho$  це маса одиниці об'єму насипаного матеріалу. Насипна щільність завжди менше щільності  $\rho'$  матеріалу в цілому масиві. Співвідношення між ними визначається **коефіцієнтом розпушення матеріалу**  $k_{\text{роз}} = \rho'/\rho$ . Залежно від насипної щільності вантажі підрозділяють на *легкі* ( $\rho < 0,6$ ), *середні* ( $0,6 \leq \rho \leq 1,6$ ) і *важкі* ( $\rho > 1,6$ ).

*Для м'яких порід (земля, глина):  $K_{\text{роз}} = 1,1-1,3$ ;*

*Для скельних порід середньої міцності (вугілля, сланець):  $K_{\text{роз}} = 1,4-1,6$ ;*

*Для міцних скельних порід:  $K_{\text{роз}} = 1,5-1,8$ .*

Наступна властивість вантажу - **кут природного скосу** - це кут нахилу поверхні матеріалу, що лежить на нерухомій площині до горизонту. Вантаж, вільно насипаний на горизонтальну площину, утворить штабель конусної форми. Його значення залежать від сил зчеплення між собою часточок вантажу.

У процесі транспортування насипного вантажу відбувається його струшування, у результаті чого кут природного скосу зменшується. Тому розрізняють кути природного скосу в спокої  $\phi'$  (рис. 2, а) і в русі  $\phi$  (рис. 2, б).

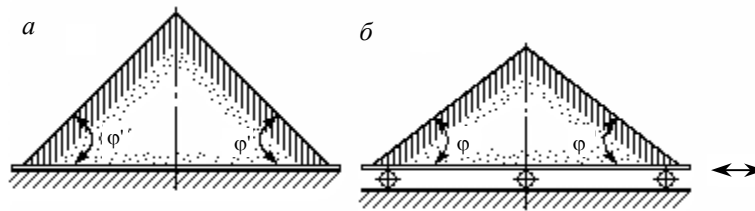


Рис. 2. Кут природного скосу вантажу: *a* – у спокої; *б* – у русі

**Кут під час руху завжди менший кута природного скосу і залежить від властивостей вантажу і типу транспортного засобу.**

*Абразивність* – властивість вантажів стирати дотичні з ними поверхні конструктивних елементів транспортуючих машин в процесі їхнього завантаження, розвантаження й транспортування

*Вологість* і пов'язана з нею *липкість* деяких вантажів серйозно ускладнює їхнє транспортування, розвантаження з бункерів, вимагають застосування спеціальних очисних пристроїв, покриття поверхонь конструктивних елементів машин і бункерів, що контактують із вантажем, матеріалами, що знижують ефект когезії та абгезії.

*Схильність до злежування й самозаймання* - властивості, характерні деяким видам сипучих вантажів, наприклад окремим сортам вугілля.

*Злежуваність* характеризується втратою рухливості часток матеріалу при тривалому зберіганні його в штабелях складів і бункерах. Злежуваність ускладнює транспортування вугілля зі складу, порушує його нормальний вихід з бункерів. Для боротьби зі злежуваністю застосовують різного роду розпушувачі (механічні, пневматичні, вібраційні).

*Самозаймистість*. При тривалому зберіганні вугілля у штабелях внаслідок інтенсивного окислювання на повітрі відбувається нагрівання вугілля з наступним утворенням вогнищ самозаймання. Для вугілля, схильного до самозаймання, обмежують висоту штабеля, здійснюють контроль їхньої температури.

*Переходимо до вантажопотоків.*

***Вантажопотік* - це кількість вантажу (маса в тоннах або обсяг у кубічних метрах), яку переміщують за одиницю часу по певній трасі. Розрізняють масовий та об'ємний вантажопотік. Основним вантажопотоком в гірничому транспорті є вантажопотік корисних копалин. Допоміжним є вантажопотік матеріалів, обладнання, людей.**

*Складовими ланцюгами в гірничому транспорті є: (конспект)*

*А) підземний транспорт: магістральний (від дільничних виробок до шахтних стволів) та дільничний (від очисних і підготовчих вибоїв, по мережі дільничних виробок);*

Б) транспортна поверхня – в шахтних будівлях, на навантажувальних комплексах і складах;

В) зовнішній транспорт - транспорт від шахти до споживача;

На кар'єрах основним вантажопотоком є вантажопотік вскришних порід і сировини. Допоміжним є вантажопотік матеріалів, обладнання, людей.

Складові ланцюги кар'єрного транспорту:

А) внутрішньо-карєрний транспорт - транспорт від екскаваторів до похилих виїзних траншей;

Б) підйомний (траншейний транспорт)- транспорт із на поверхню;

В) транспорт на поверхні кар'єра;

Г) зовнішній транспорт

Звичайно на гірських підприємствах використовують поняття добового, змінного й погодинного вантажопотоку.

Від вантажопотоку залежить вибір продуктивності (масової або об'ємної) транспортних установок.

**Продуктивність транспортних установок – це маса або обсяг вантажу, який переміщує транспортна установка за одиницю часу (звичайно 1 ч). Годинна продуктивність транспортної установки  $Q$  є її основним параметром.**

**Розрізняють теоретичну, технічну й експлуатаційну продуктивність транспортних машин.**

Теоретична продуктивність  $Q_T$  – максимальна розрахункова продуктивність машини без обліку впливу на неї експлуатаційних й організаційних факторів. Цей параметр використовується при проектуванні нових транспортних машин.

Технічна продуктивність  $Q_{\text{техн}}$  – максимальна продуктивність машини в конкретних умовах експлуатації без обліку впливу на неї організаційних факторів (зупинок машини по організаційно-технічними причинах).

Експлуатаційна продуктивність  $Q_e$  – середньогодинна продуктивність машини в конкретних умовах експлуатації з урахуванням впливу на неї експлуатаційних й організаційних факторів.

Співвідношення між цими продуктивностями в реальних умовах визначається нерівністю  $Q_T > Q_{\text{техн}} > Q_e$ .

Таким чином, технічна продуктивність відображає можливу максимальну продуктивність транспортної машини в умовах ідеальної організації праці й виробництва, а експлуатаційна - фактичну продуктивність машини, яку вона розвиває в конкретних умовах експлуатації.



Часто використовують поняття *паспортної продуктивності*, під якою розуміють технічну продуктивність в умовах експлуатації, сформульованих у технічному завданні на її виготовлення. Значення цієї продуктивності зазначено в технічному паспорті машини. Варто пам'ятати, що паспортна продуктивність машини практично завжди відрізняється від її технічної продуктивності.

Вибирають транспортні установки по максимальному годинному вантажопотоку, який називають розрахунковим  $Q_p$ , дотримуючись умови

$$Q_{\text{техн}} \geq Q_p. \quad (1.1)$$

У реальних умовах гірських підприємств вантажопотоки істотно змінюються в часі, відхиляючись як у більшу, так й у меншу сторону від середнього значення. Ступінь нерівномірності вантажопотоку характеризується коефіцієнтом нерівномірності, який являє собою відношення максимального вантажопотоку до його середнього значення:(запишемо нерівність)

$$k_n = Q_{\text{в.мах}}/Q_{\text{в.ср}}. \quad (1.2)$$

Науково обґрунтовані значення  $k_n$  утримуються в нормах технологічного проектування гірських підприємств.

Середньогодинний вантажопотік можна визначити з рівняння:

$$Q_{\text{в.зм}} = A_{\text{зм}}/(t_{\text{зм}} - t_{\text{п}}), \quad (1.3)$$

де  $A_{\text{см}}$  – змінне завдання технологічній ділянці, на якому встановлена транспортна машина, т;  $t_{\text{см}}$  – тривалість зміни, ч;  $t_{\text{п}}$  – планові перерви в роботі транспортної установки протягом зміни, год.

Тоді відповідно до рівняння (1.2)

$$Q_p = Q_{\text{в.мах}} = k_n A_{\text{зм}}/(t_{\text{зм}} - t_{\text{п}}). \quad (1.4)$$

Виразення  $t_{\text{зм}} - t_{\text{п}}$  називають *машинним часом роботи транспортної установки*  $t_m$ .

Якщо транспортна машина встановлена безпосередньо за технологічним апаратом (наприклад живильник установлений під дробаркою), то розрахунковий вантажопотік, що надходить на неї, є рівним паспортній продуктивності технологічного апарата.

**Рекомендована література:** [7, 10, 11,12,14].

## Розділ 1

### Електровозний транспорт.

#### Тема 1.1. Рейкові шляхи і вагонетки.

##### План

##### I. Рейкові шляхи

- 1.1.1. Верхня та нижня будова шляху.
- 1.1.2. Особливості укладання рейкових шляхів на закругленнях.

##### II. Вагонетки

- 1.1.3. Класифікація, основні елементи і вимоги до вагонеток.
- 1.1.4. Основні характеристики рудничних вагонеток.
- 1.1.5. Заходи щодо підвищення довговічності вагонеток.

#### Рейкові шляхи

##### 1.1.1. Верхня та нижня будова шляху.

Основними засобами транспорту на підприємствах вугільної промисловості по виробкам є конвеєрний і рейковий транспорт.

Рейковий транспорт може починатися безпосередньо у забою, і в такому випадку цей вид транспорту більшою своєю частиною використовується далі, до підйому. Транспорт по рейковим шляхам в транспортуючих сосудах при кутах нахилу виробітки від 0-30 градусів називають - **відкочуванням.**

Рейковий шлях складається із двох основних частин: нижньої (основи) і верхньої будов.

До нижньої будови відносять: земляне полотно зі штучними спорудженнями (мостами, шляхопроводами, акведуками), а для підземних шляхів - ґрунт виробітки з відповідними поздовжніми й поперечними ухилами й водовідливними канавками.

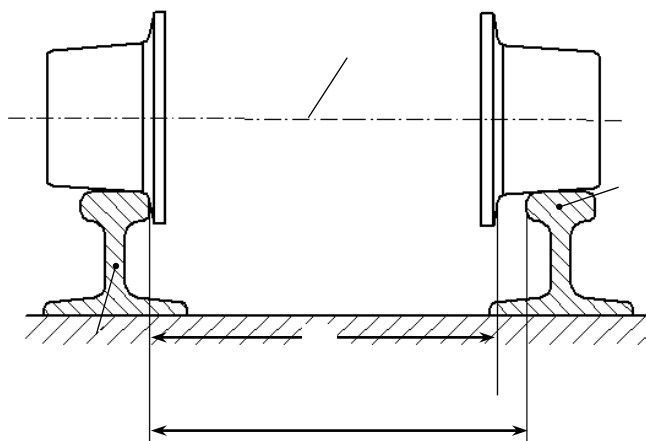


Рис. 1.1. Схема взаємодії ходової частини рухливого состава  
с рейковим шляхом

1, 3 - рейки; 2 - колісна пара або напівскат

Верхня будова - це баластний шар, шпали, рейки, рейкові скріплення й різне шляхове встаткування.

Розташування рейкового шляху в просторі визначається **трасою, планом і профілем**.

**Траса** - вісь шляху, нанесена на карту (на план виробітку) або розбита на місцевості за допомогою реперів.

**План шляху** - проекція траси на горизонтальну площину.

**Профіль колії** - проекція розгорнутої (не перекрученої по довжині) траси на вертикальну площину.

Рейкові шляхи, що представляють собою дві нитки скріплених між собою рейок (рис. 1.1), характеризуються шириною рейкової колії  $S_p$ , що виміряється відстанню між внутрішніми поверхнями головок рейок.

Колісна колія  $S_k$  - відстань між зовнішніми (працюючими) краями реборд коліс рухомого складу (локомотивів і вагонеток). Зв'язок між рейковою й колісною колією наступна:

$$S_p = S_k + x,$$

де  $x$  - гра колії, що забезпечує центрування колісних пар (або напівскатів) у русі й можливість, що запобігає, розклинення реборд коліс між головками рейок, для підземних рейкових шляхів  $x = 10$  мм.

Що стосується ширини рейкової колії, то вона для вугільних шахт може бути 600 й 900 мм, для рудників – 750 мм. На поверхні, у кар'єрах, частіше використовується нормальна колія  $S_p = 1524$  мм. Колія менше 1524 мм називається вузькою колією. Допуски на колію для підземних рейкових шляхів –  $2 + 4$  мм.

Для рудникового рейкового транспорту застосовують рейки з різними лінійними масами: 18, 24, 33 кг/м і більше. Вибір типу рейки визначається величиною навантаження на колісну пару від рухомого складу й ступенем відповідальності рейкового шляху. Останнім часом застосовують, як правило, важкі рейки. (стволові двори, квершлагги і групові штреки 33 кг/м, відкатні виробітки 24, вентиляційні штреки 18)

Рейки з'єднуються зі шпалами за допомогою **костилів**, які забивають у шпалу і які прижимають своєю головкою підшву рейки. Для розподілу тиску рейки використовують **плоскі і клинчасті підкладки**. Клинчасті підкладки центрування коліс зменшують знос рейок і коліс.

З'єднують рейки за допомогою **механічних кріплень і зварювання**. Для запобігання втрати контакту застосовують **мідні пластини**.

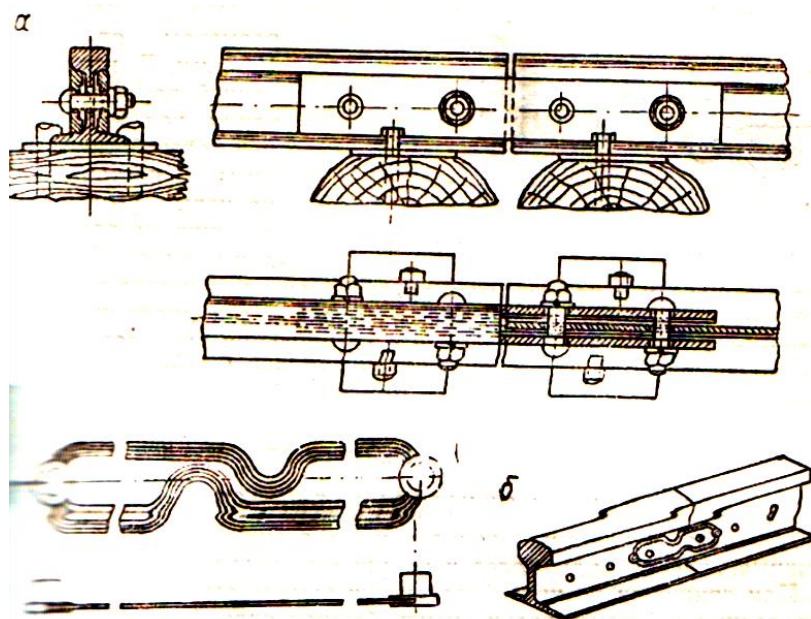
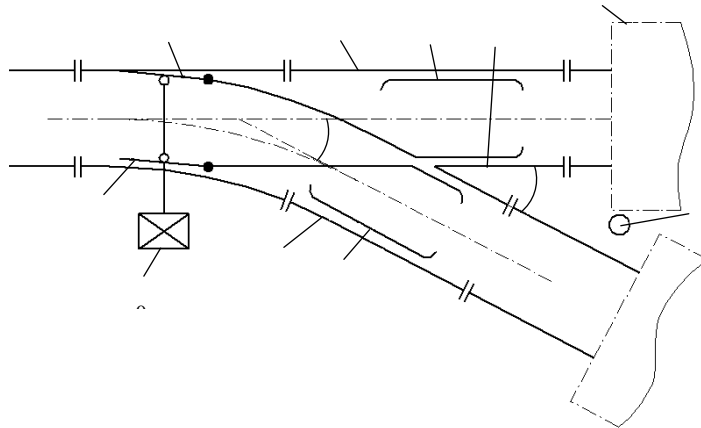


Рис. 176. Соединение рельсов:  
а—соединение на сближенных шпалах; б—контактная пластина

Рис. 1.2. З'єднання рейок: а - з'єднання на зближених шпалах;  
б – контактна пластина

**Баластовий шар** призначений для розподілу тиску від шпал на можливо більшу площу нижньої будови, для утворення під шпалою пружної подушки, для попередження відносного зсуву шпал, дренажу води й створення постійного ухилу на ділянках рейкового шляху.



с. 1.3. Схема стрілкового переводу

1, 2 - пір'я; 3, 9 - рамні рейки; 4, 8 - контррейки; 5 - хрестовина; 6 - габарит  
наближення рухливого состава; 7 - граничний стовпчик;  
10 – перевідний механізм

Для формування баластового шару використають **щепені з вивержених порід фракції 20-40 мм і дроблений гравій фракції 3-20 мм. Товщина баластного шару дорівнює 0.1 – 0.2 м, ширина баластної призми на 20 – 40 см більша довжини шпал.**

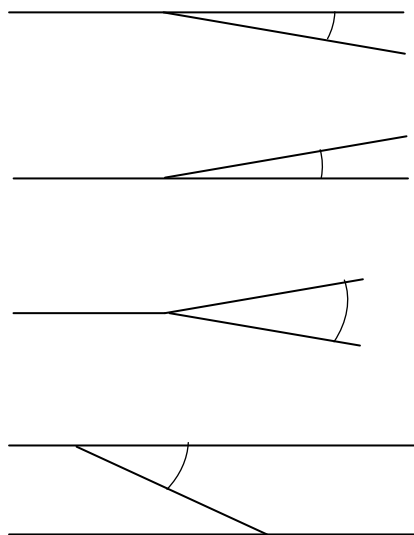


Рис.1.4. Схеми пристроїв для  
перекладу рухливого состава на  
інший шлях:  
а, б, в – правий, лівий й  
симетричний стрілочні  
переклади; з – з'їзд (правий)

Шпали призначені для закріплення на них рейок і передачі тиску від рейок на баластовий шар. Застосовують **шпали дерев'яні** (попередньо просочені антисептиком), **металеві й з попередньо напруженого бетону**, в яких використовують болтові з'єднання.

Для переведення окремих вагонеток з одного шляху на інший застосовують **плити й поворотні кола**, а для переведення поїздів (складів) використовують **стрілкові переводи або з'їзди** (рис. 1.3), які характеризуються маркою хрестовини М:

$$M = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

де  $\alpha$ - кут між осями збіжних колій.

Застосовують хрестовини марки  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{1}{5}$ ,  $\frac{1}{2}$  і  $\frac{1}{3}$ . Іноді хрестовина позначається за кутом осердя хрестовини. Чим більше кут хрестовини, тим важче пересування по переведенню складів.

Залежно від напрямку відгалуження бокових колій розрізняють **праві, ліві й симетричні стрілкові переводи** (рис. 1.4 а, б, в). Для з'єднання паралельних шляхів застосовують **з'їзди** (рис. 1.4, з).

Для стрілок використовують наступні перевідні механізми:

- ручні індивідуальні;
- ручні групові;
- с дистанційним керуванням (з електродвигуном або електромагнітом).

*Механізм приводу переводу з електричним двигуном* (рис. 1.5) потужністю 0.25 кВт складається з:

- електродвигуна,
- зубчастої передачі,

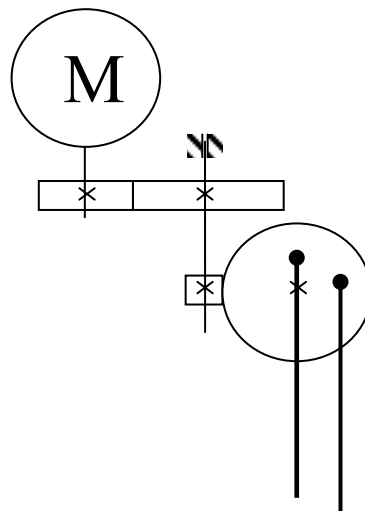


Рис. 1.5. Механізм приводу з електричним двигуном

- черв'ячної передачі з фрикційним з'єднанням черв'ячного колеса (що дозволяє запобігти руйнуванню механізму при попаданні між пером стрілки і рамною рейкою предметів),
- автоматичного перемикача, який перемикає двигун у кінцевих положеннях, головного валу з хрестовиною.

Механізм приводу переводу з електричним двигуном

Однією з трудомістких робіт з експлуатації рейкового шляху є очистка шляхів і водовідвідних канавок від штибу. Тому для очистки шахтних шляхів розроблений ряд машин для їх очищення.

### 1.1.2. Особливості укладання рейкових шляхів на закругленнях

На закругленнях рейкові шляхи укладають із перевищенням зовнішньої рейки над внутрішньою і з розширенням колії.

Укладання зовнішньої нитки з перевищенням (рис. 1.6) забезпечують проходження рівнодіючої сили ваги й відцентрової сили через вісь симетрії шляху й вагонетки. Завдяки цьому виключається схід рухомого складу з рейок на закругленнях шляху.

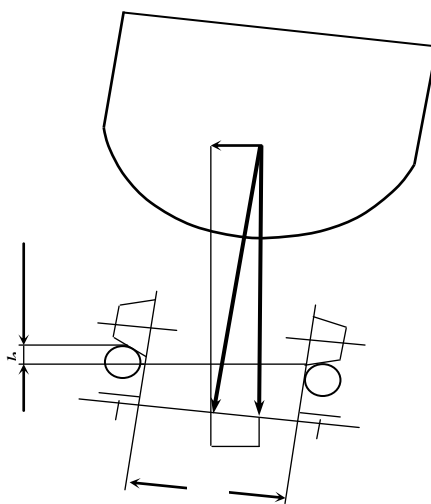


Рис. 1.6. Розрахункова схема до визначення перевищення зовнішньої рейки над внутрішньою

$$P_e = \frac{G_0 v^2}{gR} \quad ; \quad G_0 = \Delta h : (S_p \cos \beta)$$

З розрахункової схеми (рис. 1.6) знаходимо перевищення (у міліметрах) зовнішньої рейки над внутрішнім  $\Delta h$ , мм:

$$\Delta h = 100 \frac{v^2}{R/S_p}$$

де  $v$  – швидкість руху рухомого состава (вагонетки), м/с;  $R$  – радіус криволінійної ділянки, м;  $S_p$  – рейкова колія, м.

Розширення рейкової колії на закругленні (рис. 1.7) виробляється за рахунок зрушення усередину кривої внутрішньої рейки з умови вписування реборд коліс рухливого состава при заданій твердій базі  $B$  у рейкову колію на ділянці закруглення шляху.

Величина розширення (у міліметрах):

$$\Delta S_p = \frac{3000}{(R/B)^3}$$

Аналізуючи формулу, можна зробити висновок чим більша довжина бази вагонетки тим більше розширення рейок ми отримаємо.

Розгін розширення й перевищення зовнішньої рейки над внутрішнім здійснюють поступово на ділянках, що примикають до кривої по обидва боки, довжина яких (у метрах)

$$L_p = (1/3 - 1/10)\Delta h$$

Радіус закруглення для підземних рейкових шляхів  $R = (7 \div 10) B$ .

$$R = (7 \dots 10) B$$

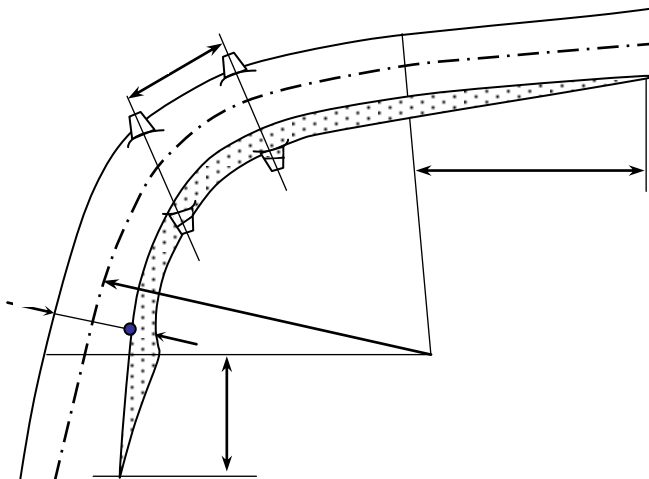


Рис. 1.7 Схема рейкового шляху на закругленнях

**Рекомендована література: [7, 9, 14].**



## II. Вагонетки

### 1.2.1. Класифікація, основні елементи і вимоги до вагонеток

Рудникові (шахтні) вагонетки розрізняються за наступними ознаками:

- за призначенням – вантажні, людські (пасажирські), спеціальні (допоміжні);
- за вантажопідйомністю (або місткості кузова) – малої (до 1 т або 1,25 м<sup>3</sup>), середньої (1-2 т або 1,25-2,8 м<sup>3</sup>); великий (більше 2 т або 2,8 м<sup>3</sup>);
- за типом кузова й способом його розвантаження – із глухим неперекидним, із саморозвантажним (перекидним, з відкидними бортом, торцевою стінкою, днищами або донним розвантаженням);
- за формою поперечного перерізу кузова – із прямокутним (рис. 1.8, а), трапецеїдальним (рис. 1.8, б), анзеновським (рис. 1.8, в), напівкруглим (рис. 1.8, г), прямокутним з утопленими колесами (рис. 1.8, д);
- за шириною колії;

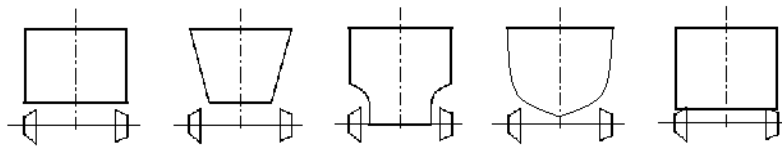


Рис. 1.8 Форми перетинів шахтних вагонеток

- за типом зчіпок – із крюковими обертовими, штирьовими обертовими, автоматичними (замикання автоматичне, розмикання вручну за допомогою тяги);
- за пристроєм ходової частини – з колісними парами й напівскатами.

Найбільше поширення одержали в гірській промисловості вагонетки із **глухим кузовом і напівкруглим днищем** (61 % у рудній й 96 % у вугільній промисловості), завдяки високій надійності при експлуатації у важких умовах гірничого виробництва.

Вагонетка складається (рис. 1.9, 1.10) з наступних основних елементів: а) кузова; рами (є безрамні вагонетки із самонесучим кузовом); напівскатів (вісь із двома вільно обертовими на ній колісьми) або колісних пар (вісь із жорстко закріпленими на ній колесами); підвагонного упору (для взаємодії з кулаками штовхача, підвагонного ланцюга або компенсатора висоти); двох буферів; двох зчіпних приладів.

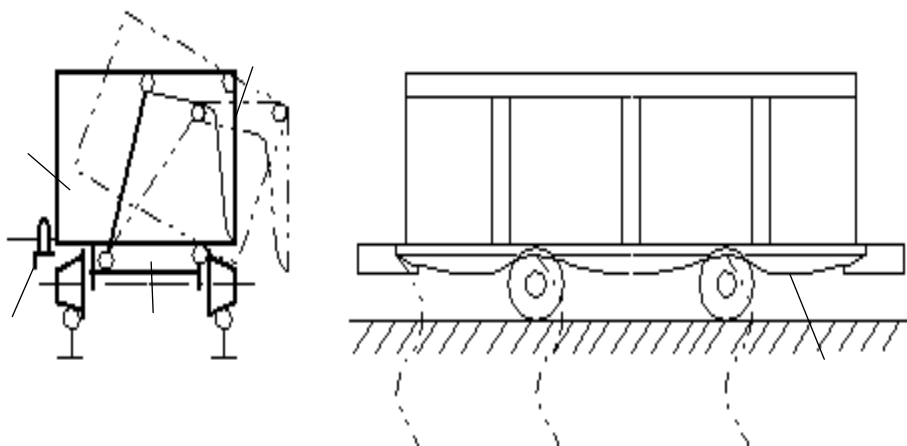


Рис. 1.9 Вагонетки з перекидним кузовом (а) і з відкидними днищами (б)

1 - рама; 2 - розвантажувальна шина; 3 - ролик; 4 - кузов; 5 - відкидний борт;

Рама вагонетки, до якої кріпиться кузов, скати, буфера і зчіпні прибори, сприймає не тільки тягове зусилля але й значні поштовхи, повинна бути особливо міцною і жорсткою.

**Скати** – складаються з осі і двох коліс. Застосовується конструкція двох типів – з віссю, яка обертається з закріпленою на рамі буксах, і з жорстко закріпленою віссю і колесами які обертаються.

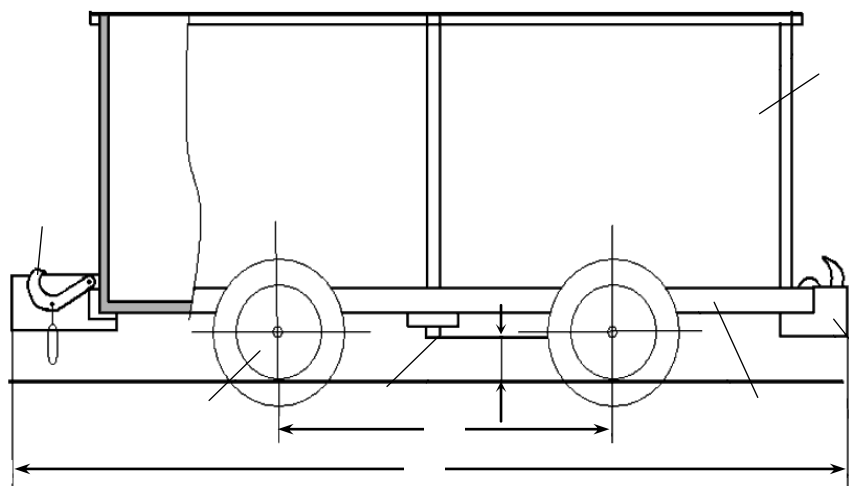


Рис. 1.10 Шахтна (руднична) вагонетка із глухим кузовом  
1 - зчіпний прилад; 2 - кузов; 3 - буфер; 4 - рама; 5 - підвагонний упор;  
6 – колісна пара або напівскат

Буфери, сприймають удари при зіткненні вагонеток друг з другом і зменшують небезпеку ручного зчеплення, кріпляться на рамі вагонеток. Розрізнять буфера:

За конструкцією:

- Парні або розрізні;(більш зручне кріплення приладу зчіплення);
- Одинарні або суцільні;(роблять раму більш жорсткою);

За принципом дії:

- Жорсткі
- Еластичні (амортизують удари за допомогою пружин, резинових підкладок або дерев'яних брусів.)

Зчіпний прилад служить для з'єднання вагонеток у склади і передання тягового зусилля.

Вимоги до зчіпних приладів:

- Висока міцність (6 ти кратний запас для вантажних вагонеток і 13 кратний для людських);
- Зручність швидкого зчіплювання і розчіплювання;
- Надійність проти самочинного відчіплювання;
- Можливість перевертання вагонетки без розчіплювання;

Розрізняють за принципом дії:

- Ручні;(простота і легкість конструкції)
- Автоматичні; (відсутність ручного зчіплювання)

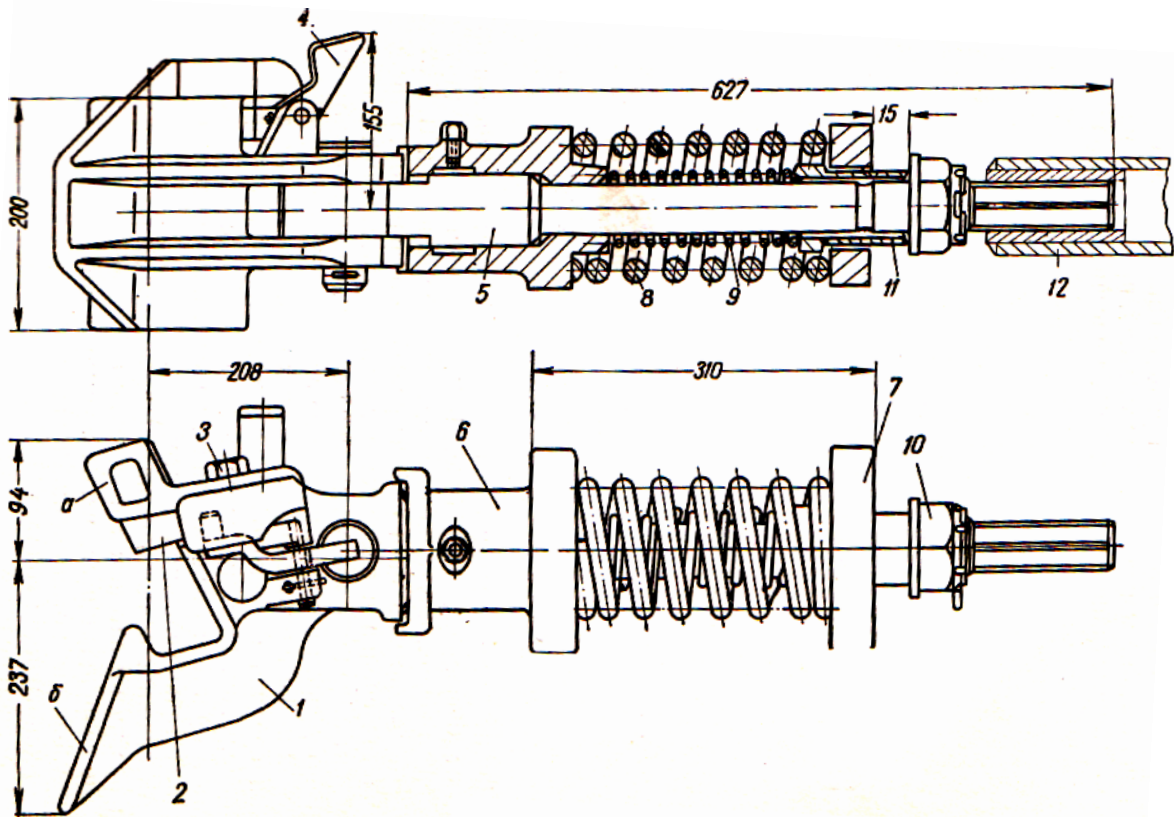


Рис. 1.11. Автозчеп (за конструкцією подібний залізничному автозчепу)

**До рудничних вагонеток пред'являються наступні вимоги:**

- безпека зчіпки й розчеплення вагонеток на кінцевих станціях;
- мінімальні розміри й маса при заданій місткості кузова;
- міцність і твердість конструкції, достатня для сприйняття всіх навантажень (постійне навантаження – власна вага й вага переміщуваного вантажу, сила тяги при усталеному русі; короточасні навантаження – відцентрова сила на закругленні рейкового шляху, сила інерції при несталому русі – розгонці й гальмуванні, удари кулака штовхача в підвагонний упор, удари на стиках рейок);
- стійкість вагонетки при будь-якому розташуванні вантажу в кузові, плані й профілі рейкового шляху;
- малі опори руху;
- легке й повне розвантаження кузова при розвантаженні вагонетки;
- низькі експлуатаційні витрати.

### **1.2.2. Основні характеристики рудничних вагонеток**

Основні конструктивні й експлуатаційні характеристики, що визначають рівень показника якості рудничної вагонетки як масового засобу рудничного транспорту, наступні:

1. *Місткість кузова  $V$*  (у кубічних метрах). Приймається з ряду (кращих чисел) 1; 1,4; 2; 2,8; 4; 5; 6; 10 м<sup>3</sup>.

2. *Вантажопідйомність  $G$*  (у тоннах). Цей показник є похідним від місткості кузова:

$$G = V\gamma,$$

де  $\gamma$  – насипна щільність вантажу, що транспортує, т/м<sup>3</sup>.

3. *Коефіцієнт опору руху вагонетки* (мал. 1.12). Визначається як відношення сумарного опору руху  $W$  (у ньютонках), що виникає при русі з рівномірною швидкістю по прямолінійному горизонтальному шляху, до повної ваги вагонетки, т. е.

$$w = \frac{W}{gG_B} 10^{-3}, \quad (3)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $G_B$  – маса вагонетки, т; для порожньої вагонетки  $G_B = G_0$ , а для навантаженої  $G_B = G_0 + G$ ;  $G_0$  – маса порожньої вагонетки, т.

Розрахункове значення коефіцієнта опору руху вагонетки може бути знайдене в такий спосіб. Крутий момент, необхідний для кочення наведеного колеса по рейках (у кілоньютонках на метр),

$$M_k = gG_b \left( r + f \frac{d}{2} \right) K_p,$$

де  $r$  – коефіцієнт (плече) тертя катання, м;  $f$  – коефіцієнт тертя в підшипниках (буксах) колісних пар;  $d$  – діаметр цапфи осі колісної пари, м;  $K_p$  – коефіцієнт тертя реборд коліс об головки рейок,  $K_p > 1$ .

Сумарний опір руху

$$W = \frac{2M_k}{D_k} 10^3,$$

де  $D_k$  – діаметр колеса, м.

Звідси відповідно до формули (3)

$$w = 2D_k^{-1} K_p \left( r + f \frac{d}{2} \right).$$

Значення дуже важливого експлуатаційного показника  $w'$ , визначальну енергоємність транспортування вантажів, залежно від типу підшипників, стану їхнього змащення, умов експлуатації, завантаженості вагонетки транспортує грузом, що, змінюється в досить широких межах:  $w' = 0,005 \div 0,012$ .

При розрахунку й виводі параметрів локомотивного відкочування часто зручніше користуватися не коефіцієнтом опору руху, а питомим опором руху. Його фізичний зміст - зусилля (у ньютонках), яких необхідно прикласти для переміщення по горизонталі з постійною швидкістю один кілоньютон состава.

Питомий опір руху (у ньютонках на кілоньютон)

$$w_0 = 1000 w'.$$

Таким чином, якщо  $w'$  – величина відносна (безрозмірна), то  $w_0$  – розмірний показник, чисельне значення якого в 1000 разів перевищує показник  $w'$ .

Використання показника  $w_0$  замість  $w'$  пов'язане з тим, що сила тяги, необхідна для пересування состава, на кілька порядків менше його ваги, тому обчислення істотно спрощуються.

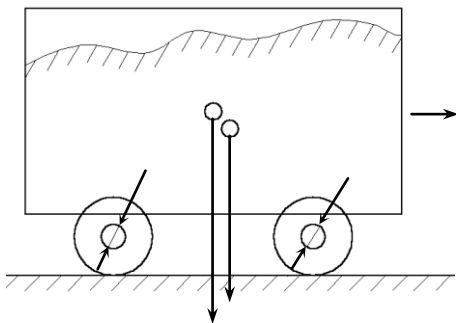


Рис.1.12. Розрахункова схема визначення коефіцієнту опору руху вагонетки

Розрізняють наступні показники  $w'$  (або  $w_0$ ): для навантаженої вагонетки при усталеному русі  $w'_r$  ( $w_{0r}$ ), порожньої вагонетки при усталеному русі  $w'_x$  ( $w_{0x}$ ), навантаженої вагонетки при її рушанні з місця  $w'_{r,n}$  ( $w_{0r,n}$ ), порожньої вагонетки при її рушанні з місця  $w'_{x,n}$  ( $w_{0x,n}$ ). Ясно, що  $w'_r > w'$ , а  $w'_r < w'_x$ . Для цього, ходова частина вагонетки повинна бути спроектована так, щоб мінімальні опори були

при переміщенні навантаженого состава. Чим менше коефіцієнт опору руху  $w'$  або питомий опір руху  $w_0$ , тим більше зробленої є вагонетка.

4. *Коефіцієнт тари.* Показує ефективність конструкції транспортного засобу, використовуваного для перевезення вантажу,

$$K_T = G_0 / G.$$

Звичайно для вугільних вагонеток  $K_T = 0,45 \div 0,7$ , а для рудничних  $K_T = 0,4 \div 0,6$ .

Чим менше значення коефіцієнта тари, тим більше досконала вагонетка (звичайно, за умови виконання всіх інших пропонованих до неї вимог).

5. *Коефіцієнт використання габаритних розмірів*

$$K_r = V / V_0,$$

де  $V_0$  – габаритний обсяг (прямокутна призма, у яку вписана вся вагонетка),  $m^3$ .

6. *Питома місткість* (у кубічних метрах на тонну)

$$q_v = V / G_0.$$

7. *Лінійна місткість* (у кубічних метрах на метр ) *павнав*

$$q_L = V / l_b,$$

де  $l_b$  – довжина вагонетки по зчіпках, м.

8. *Коефіцієнт поперечної (бічної) стійкості* (мал. 1.13)

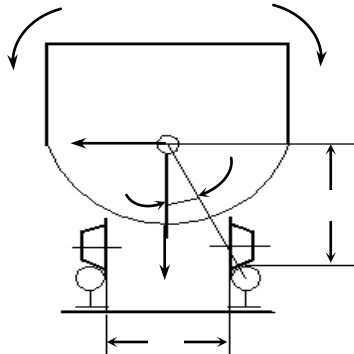


Рис. 1.13. Розрахункова схема До визначення коефіцієнту бокової стійкості

$$K_6 = \frac{M_b}{M_o} \geq 1,2,$$

де  $M_b$ ,  $M_o$  – моменти що відновлює й перекидає вагонетку в поперечному напрямку щодо її поздовжньої осі,  $kH \cdot m$ ,

$$M_b = gG \frac{S_p}{2}; M_o = \frac{G_b v^2}{R} h_0;$$

$v$  – швидкість руху вагонетки,  $m/s$ ;  $R$  – радіус закруглення рейкового шляху,  $m$ ;  $h_0$  – перевищення центра маси вагонетки над головками рейок,  $m$ .

Поперечна стійкість рудничних вагонеток звичайно забезпечується при куті стійкості (мал. 1.13)  $\alpha \geq 22^\circ$ .

9. Коефіцієнт поздовжньої стійкості (мал. 1.14)

$$K_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{в}}}{M_{\text{о}}} \geq 1,2;$$

$$M_{\text{в}} = gG_0 \frac{B}{2}; M_{\text{о}} = P_{\text{и.в}} h_0 + gG_1 a + P_{\text{и.г}} h_{\text{г}},$$

де  $P_{\text{и.в}}$ ,  $P_{\text{и.г}}$  – сили інерції порожньої вагонетки й кузова, що перебуває наприкінці, вантажу масою  $G_2$ ;  $l$  – видалення центра маси вантажу від найближчої осі колісної пари,  $m$ ;  $h_{\text{г}}$  – перевищення центра маси вантажу над головками рейок,  $m$ .

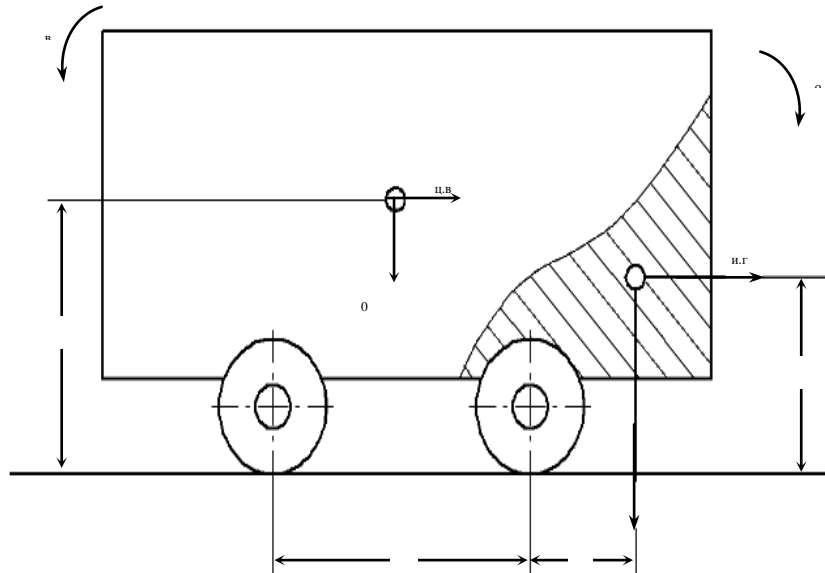


Рис.1.14. Розрахункова схема до визначення повздовжньої стійкості

### 1.2.3. Заходи щодо підвищення довговічності вагонеток

Вагонетки є масовим транспортним устаткуванням на гірському підприємстві, тому досить актуальні способи підвищення довговічності вагонеток, що дозволяє істотно знизити експлуатаційні витрати на рудничному транспорті й знизити собівартість видобутку корисної копалини.

До заходів щодо підвищення довговічності рудничних вагонеток, реалізованим при їхньому проектуванні, виготовленні й експлуатації, можна віднести:

• прогнозування й облік всіх можливих нормальних експлуатаційних навантажень на конструктивні елементи вагонетки;

- виготовлення кузова з низьколегованих сталей (лігатура: мідь, хром, марганець, нікель);
- гаряче оцинковування кузовів;
- фарбування, лакове покриття;
- виготовлення кузова зі склопластику;
- виготовлення кузова з алюмінієвих сплавів (вдається знизити коефіцієнт тари до 0,17).

На підприємствах довговічність вагонеток й їхня експлуатація при нормативних значеннях коефіцієнтів опору руху забезпечується при регулярній ревізії стану ходової частини (на іспитових гірках), змащенню підшипників колісних пар і напівскатів, очищенню внутрішньої поверхні кузовів від налиплого вантажу, неухильному дотриманні правил експлуатації.



## Тема 1.3. Локомотиви.

### План

- 1.2.1. Класифікація.
- 1.2.2. Конструкція електровоза, його основне устаткування й параметри
- 1.2.3. Повітровози, гіровози і спеціальні типи електровозів.
- 1.2.4. Основи тягового розрахунку потягу. Рівняння руху поїзда
- 1.2.5. Механізми реалізації сили тяги й гальмової сили
- 1.2.6. Статичні опори руху поїзда
- 1.2.7. Визначення маси поїзда. Визначення кількості вагонеток по умові зчеплення з рейками.

Локомотивний транспорт є основним при транспортуванні вантажів на відносно великій відстані по головним горизонтальним або похилим виробіткам (кут нахилу до 3 градусів)

Локомотивний транспорт завжди здійснюється складом вагонеток, які разом з локомотивом утворюють поїзд (склад).

### 1.3.1. Класифікація електровозів

Електровози можна класифікувати за наступними ознаками.

1. За способом живлення – контактні, індукційно-високочастотні, акумуляторні, акумуляторно-контактні, контактено-кабельні.
2. За родом струму – постійного і змінного струму.
3. За зчпною вагою – легкі (до 5г кН), середні (від 5 до 10г кН), важкі (більше 10г кН).
4. За призначенням – магістральні, маневровоскладальні.
5. За шириною колії.
6. За конструктивним виконанням кузова – рамні (колісні пари встановлені на рамі) і візкові.
7. За конструктивним виконанням ходової частини – з індивідуальним приводом на кожну колісну пару (основний тип локомотивів) і із груповим приводом (від одного тягового двигуна через коробку передач).
8. За способом керування – з безпосередньої (контроллерной) і непрямой (контакторной) системами керування тяговими двигунами.
9. За способом гальмування – з механічним; з механічним й електричним реостатним; механічним, електричним реостатним й електромагнітним гальмуванням.

10. За типом привода механічних гальм – з ручним, пневматичним і гідравлічним приводами.

Крім того, електровози розділяють по розташуванню кабіни(одностороннє, двохстороннє і центральне), конструкції рами, буферів, зчіпок і ін..

Найбільше поширення одержали контактні й акумуляторні електровози, що працюють на постійному струмі

### 1.3.2. Конструкція електровоза, його основне устаткування й параметри

Найпростіший електровоз рамної конструкції (рис. 1.15) складається з наступних елементів: рами з кабіною; двох колісних пар з їхнім ресорним підвішуванням до рами; тягових передач; колодкових гальм із системою привода з кабіни машиніста (може бути дві кабіни з різних сторін

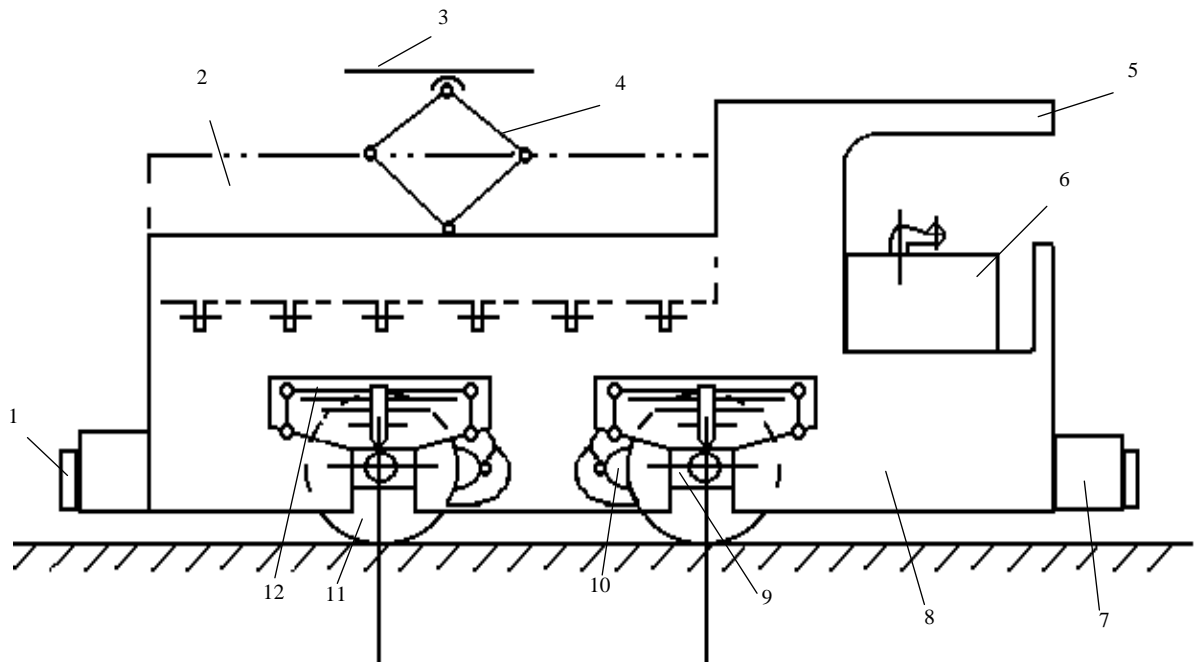


Рис.1.15 Конструктивна схема шахтного (рудничного) електровоза

1 - буфер; 2 - батарейний ящик (для акумуляторного електровоза); 3,4 - контактне проведення й струмознімач (для контактного електровоза); 5 - кабіна машиніста; 6 - контролер або контактор; 7 - рама; 8 - кузов; 9 - буксу; 10 - механічна гальмова система; 11 - колісна пара; 12 - ресорне підвішування кузова

електровоза); буферів зі зчіпними пристроями; пісочниць для підсипання піску на рейки при русанні локомотива з місця (під кожне колесо); струмознімача (пантографа) для контактного електровоза й змінної акумуляторної батареї для акумуляторного електровоза;

установлюваної на роликах рами електровоза; пускорегулюючу апаратуру й освітлювальної арматур у вибухобезпечному виконанні.

Рама електровоза виготовляється у двох виконаннях, залежно від цього може бути зовнішньої й внутрішньої (стосовно коліс). Товщина бічних і торцевих стінок рами вибирається з умови забезпечення заданої зчіпної ваги - для контактних електровозів і з умови забезпечення міцності - для акумуляторних.

Буфери можуть бути тверді, напівтверді й еластичні.

Кожна колісна пара складається з осі, двох колісних центрів і надягнутих на них (при гарячій посадці) сталевих бандажів зовнішнім діаметром 680 або 760 мм.

Підшипники колісних пар розміщені в буксах, які пружно пов'язані з рамою через систему ресорного підвішування (рис. 1.16).

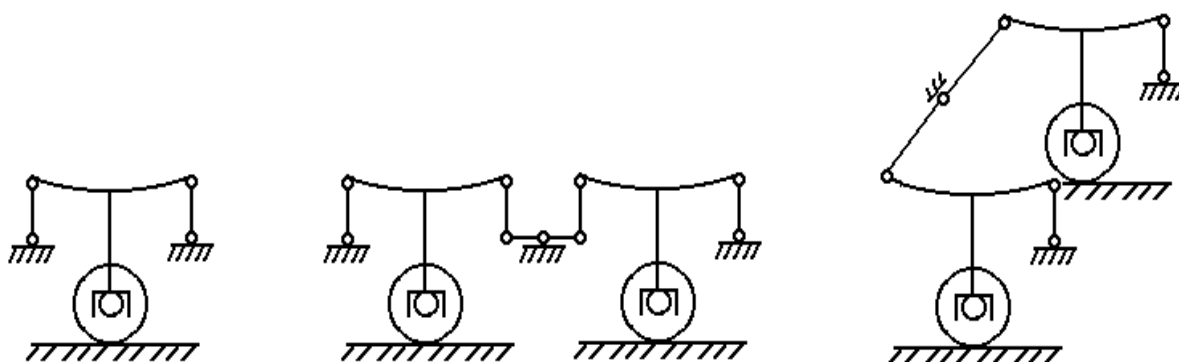


Рис.1.16. Варіанти підвіски кузова за допомогою одиночних ресор (а), поздовжніх (б) і поперечних (в) балансирів

Ресорна підвіска рами (рис. 1.16) може бути індивідуальна, балансирна - з поздовжніми й поперечними балансирами. Ресори виконують зі спіральних або листових пружин.

Найпоширеніший тип тягової передачі з індивідуальним приводом виконується за схемою так називаної трамвайної підвіски двигуна. У цьому випадку двигун, жорстко з'єднаний з редуктором, з боку двигуна за допомогою спіральних пружин, опирається на кронштейни рами, а тихохідний вал редуктора є одночасно віссю колісної пари. При цьому в якості тягових

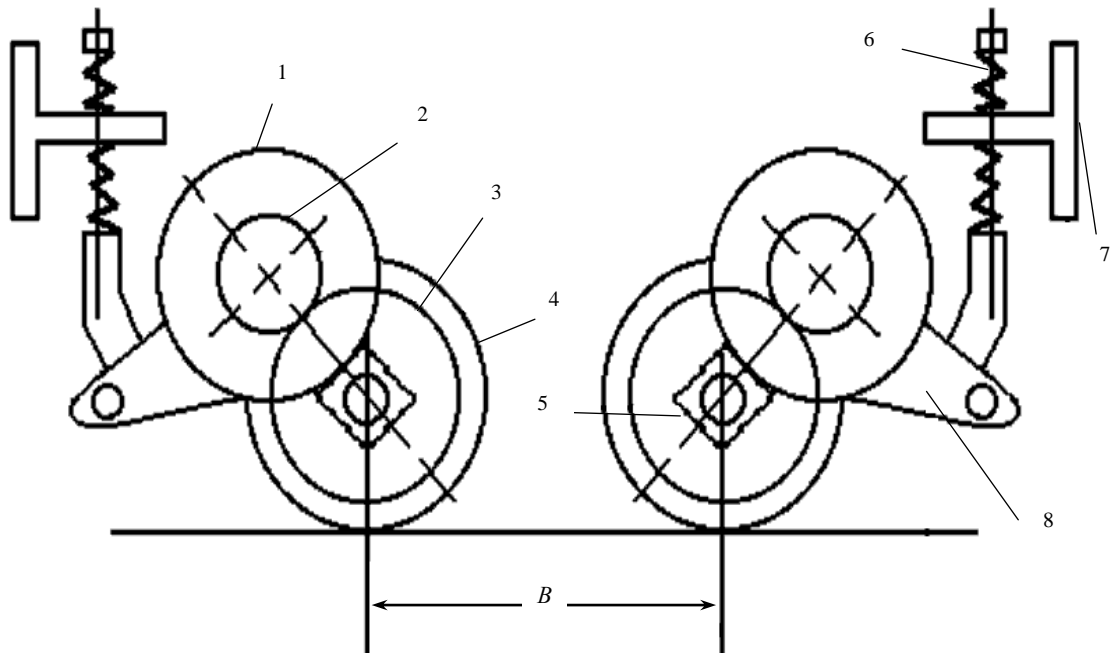


Рис.1.17. Тягові передачі електровоза з тихохідним двигуном  
 1 - двигун; 2 - шестірня; 3 - зубчасте колесо; 4 - колісна пара; 5 - моторно-осьовий підшипник; 6 - пружинна підвіска двигуна; 7 - рама; 8 - носовий приплив двигуна

використають тихохідні (рис.1.17) або швидкохідні (рис.1.18) двигуни.

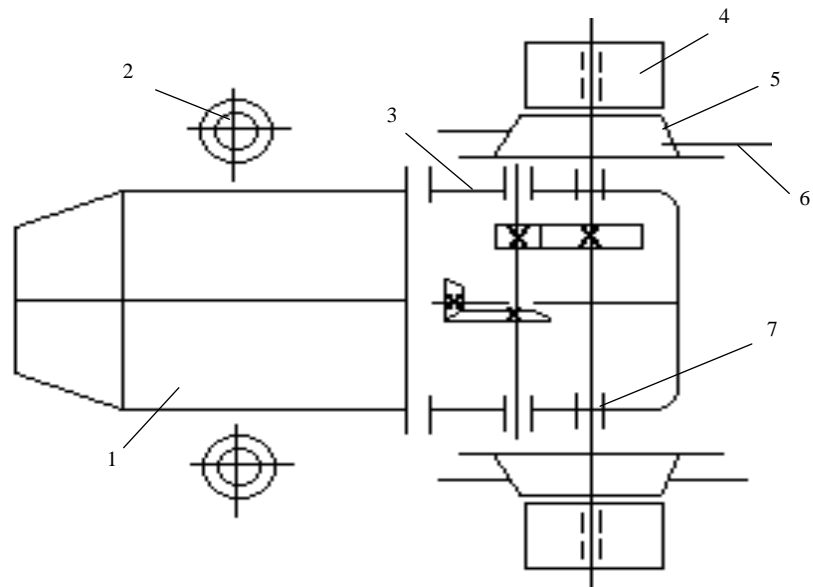


Рис.1.18. Тягова передача зі швидкохідним електродвигуном  
 1 - двигун; 2 - пружинна підвіска; 3 - двоступінчастий редуктор;  
 4 - букси; 5 - колісна пара; 6 - рейковий шлях; 7 - осьовий підшипник

Розташування тягових двигунів щодо осей колісних пар (відстань між ними – тверда база  $B$  електровоза) може бути зовнішнє, послідовне й внутрішнє (рис. 1.19).

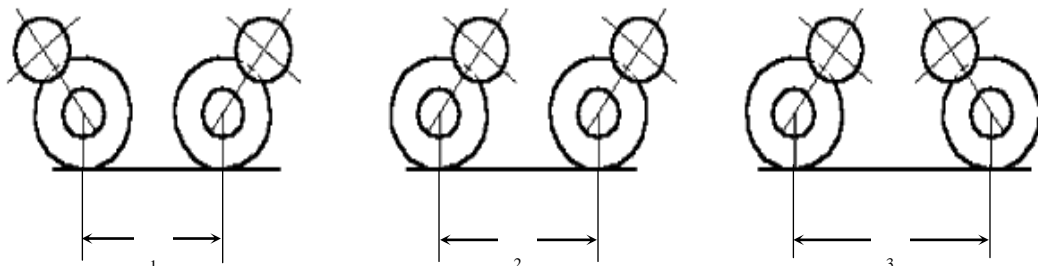


Рис. 1.19. Схема розташування тягових передач електровоза:  $a$  – зовнішнє;

Мінімальна тверда база  $B_1$  відповідає зовнішньому розташуванню тягових двигунів, максимальна  $B_3$  – внутрішньому. У цьому випадку маневреність електровоза зі збільшенням твердої бази зменшується, а стійкість - збільшується. Тому розташування тягових двигунів визначає важливі експлуатаційні можливості й недоліки електровозів, що повинне враховуватися при виборі конструкції локомотива відповідно до умов його експлуатації (станом шляхового господарства, радіусами рейкових шляхів, гірничо-технічними й іншими умовами).

У цей час магістральні контактні електровози випускаються зі зчіпними вагами 7, 10, 14, 28g кН, а акумуляторні – 10, 14, 20g кН. Швидкість руху звичайно не більше 20 км/ч. Напруга контактної мережі 250 й 500 В, а на виході акумуляторної батареї від 40 до 160 В. Акумуляторні батареї лужні, залізно-нікелеві, рідше - свинцеві.

Частота обертання якоря тягових швидкохідних електродвигунів від 900 до 1100 об/хв.

### **1.3.3. Повітровози, гіровози і спеціальні типи електровозів**

Повітровози (Пневмовози) і гіровози ставляться до локомотивів з убутним запасом енергії. У першому випадку необхідно періодично міняти балони зі стисненим повітрям, а в другому – на спеціальній станції робити розкручування маховика для повідомлення йому додаткової кінетичної енергії.

Колісні пари пневмовоза (рис. 1.20) приводяться в обертання за допомогою кривошипно-шатунних механізмів із взаємним кутовим зсувом кривошипів із правої й лівої сторони локомотива. Привод кожного кривошипно-шатунного механізму здійснюється від силових циліндрів високого й низького тиску. Площі поршнів циліндрів обернено пропорційні тиску повітря в них: діаметр циліндра високого тиску менше діаметра циліндра низького тиску.

Циліндр високого тиску живиться від знімних балонів стисненого повітря через редуційний клапан, що знижує тиск із  $(175-225)10^5$  до  $16 \cdot 10^5$  Па. Повітря проходить через повітропідігрівник (повітря підігрівається при русі локомотива зустрічним потоком рудничного повітря). Вихлоп циліндра високого тиску (тиск повітря близько  $6 \cdot 10^5$  Па) через повітропідігрівник низького тиску направляється в циліндр низького тиску, з якого, після здійснення роботи, викидається в атмосферу.

Зчіпні ваги повітровози 8 до 10g кН, швидкість їхнього руху 3-4 км/ч, що розвиває ними сила тяги близько 7,5 кН, а сумарна потужність, що розвиває двома пневмоциліндрами, 30-40 л.с.

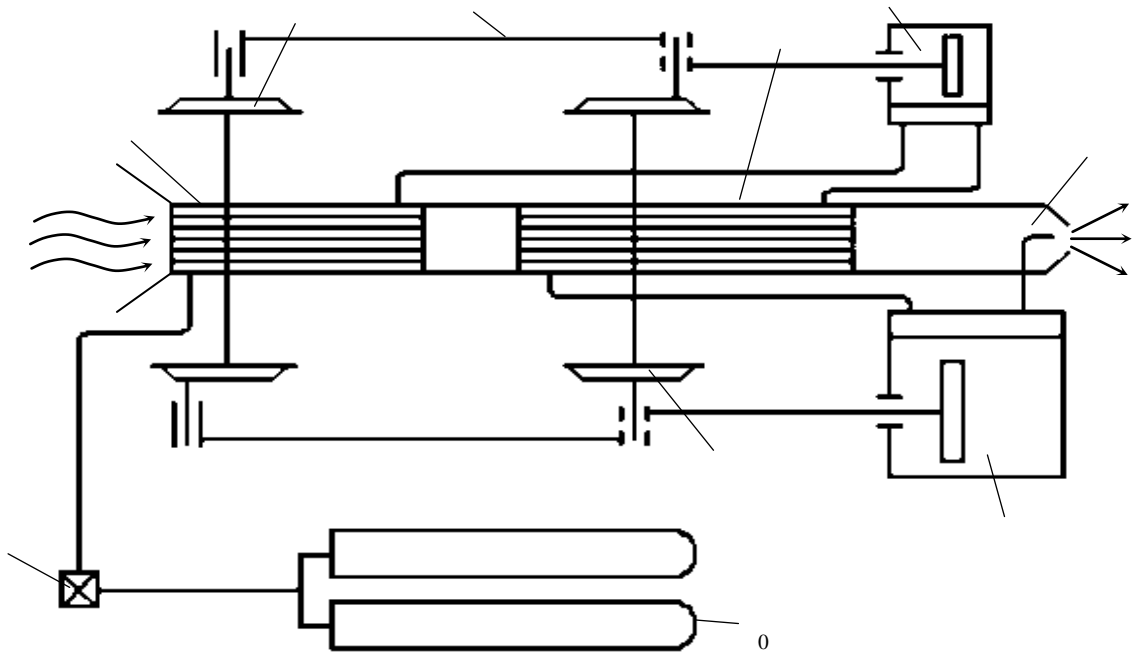


Рис.1.20. Принципова схема повітровозу

1 - пристрій для зниження тиску стисненого повітря, що надходить зі змінних балонів 10; 2, 5 - повітрянагрівачі високого й низького тиску; 3, 9 - колісні пари; 4 - шатун; 6, 8 - циліндри високого й низького тиску із золотниковими пристроями; 7 - вихлоп пневмосистеми локомотива

Джерелом енергії гировоза є розміщений на вертикальній осі маховик, що через коробку передач пов'язаний з колісними парами локомотива. Параметри випробуваного гировоза: діаметр маховика 940 мм, початкова частота його обертання після розкручування 3000 про/хв, що розвиває потужність 30 л.с. при швидкості руху локомотива від 3 до 12 км/ч. Зчіпна вага гировоза близько 57 кН. Час зарядки (розкручування маховика) 12 хв при тиску стисненого повітря в мережі (4,9-5,9)  $10^5$  Па (5-6 атм).

Крім розглянутих типів локомотивів, існують розробки в області створення альтернативних локомотивів на електричній тязі. До них можна віднести рудничні електровози з гідроприводом - сполучення нерегульованого електродвигуна й регульованої гідропередачі об'ємного типу з гідродвигунами. За такою схемою виконуються як контактні, так й акумуляторні електровози.

Відомі результати випробування конденсаторного електровоза. Тяговий двигун - однофазна електрична машина із двома обмотками статора й короткозамкненим ротором. Одна з обмоток приєднується до мережі безпосередньо, а інша - через конденсатор, що забезпечує необхідне зрушення фаз для реалізації крутного моменту на валу тягового двигуна.

Відомо також технічне рішення, що забезпечує безконтактну передачу енергії від живильного кабелю до електродвигуна (безконтактний високочастотний електровоз). Частота струму 3000 Гц. На електровозі є випрямлячі, що харчують двигуни постійного струму.

### 1.3.4. Основи тягового розрахунку

#### Рівняння руху поїзда

Рух поїзда (локомотива із причепленим до нього складом), як і всякого матеріального тіла, може бути описано диференціальним рівнянням

$$F - \Sigma W_0 = K_I \cdot 10^3 \frac{P+Q}{g} \frac{dv}{dt},$$

де  $F$  – сила тяги, що розвивається локомотивом, Н;  $\Sigma W_0$  – сумарні статичні опори руху поїзда, Н;  $P$  – вага (зчїпна вага) локомотива, кН;  $Q$  – вага причїпної частини поїзда (состава), кН;  $K_I$  – коефіцієнт, що враховує інерцію обертових мас поїзда;  $dv/dt$  – прискорення руху поїзда, м/с<sup>2</sup>.

Коефіцієнт інерції  $K_I$ :

$$K_I = 1 + \frac{PK_{\text{л}} + QK_{\text{в}}}{P+Q},$$

де  $K_{\text{л}}$ ,  $K_{\text{в}}$  – коефіцієнти, що враховують інерцію обертових мас локомотива й вагонеток; звичайно  $K_{\text{л}} = 0,036 \div 0,04$ ;  $K_{\text{в}} = 0,03 \div 0,04$ .

Для поїзда  $K_{\text{п}} = 1,06 \div 1,08$ .

Диференціальне рівняння називається основним рівнянням руху поїзда, воно дозволяє знайти необхідну величину сили тяги при різних режимах роботи локомотива як тягового агрегату.

I. Сила тяги при несталому режимі роботи в період пуску (рушання поїзда з місця)

$$F = \Sigma W + K_I \cdot 10^3 \frac{P+Q}{g} \frac{dv}{dt},$$

де  $\Sigma W$  – статичні опори руху,  $\Sigma W_0 = \Sigma W$ ; у цьому режимі  $dv/dt > 0$ .

II. При рівномірному русі  $dv/dt = 0$ , а рівняння руху поїзда

$$F = \Sigma W,$$

т.б. необхідна сила тяги чисельно дорівнює сумарним статичним опорам руху.

III. При гальмуванні поїзда, коли тягові двигуни виключені й  $F = 0$ , до сил природного опору руху  $\Sigma W$  додається штучний опір – гальмова сила  $B$ . Тоді  $\Sigma W_0 = \Sigma W + B$ . У цьому випадку рівняння руху поїзда прийме вид

$$-(\Sigma W + B) = K_I \cdot 10^3 \frac{P+Q}{g} \frac{dv}{dt},$$

у якому  $dv/dt < 0$ .

IV. При вільному вибігу, коли гальмування поїзда здійснюється тільки за рахунок природних опорів руху  $\Sigma W$ , тобто  $B = 0$  ( $\Sigma W_0 = \Sigma W$ ), рівняння руху поїзда

$$-\Sigma W = K_I \cdot 10^3 \frac{P+Q}{g} \frac{dv}{dt}.$$



Режим вільного вибігу може бути реалізований, коли  $\Sigma W > 0$ , тому що тільки в цьому випадку  $dv/dt < 0$ , тобто поїзд буде рухатися із і рано або пізно зупиниться без штучного його підгалмування. Якщо ж  $\Sigma W < 0$ , то після вимикання двигунів локомотива ( $F = 0$ ) поїзд почне рухатися із прискоренням, що зовсім неприпустимо. У цьому випадку повинне бути застосоване штучне гальмування (3-й режим).

Для того, щоб використовувати отримані рівняння при практичних розрахунках локомотивного відкочування, повинні бути виявлені механізми реалізації сили тяги  $F$  і гальмової сили  $B$ , а також знайдена залежність, що визначає величину статичних опорів руху поїзда  $\Sigma W$ .

### 1.3.5. Механізми реалізації сили тяги й гальмової сили

При русі поїзда із включеними двигунами локомотива сила тяги  $F$  може бути отримана тільки за рахунок роботи тягових двигунів. При цьому внутрішні сили тяги реалізуються в зовнішню (стосовно поїзда) силу тяги  $F$  через взаємодію з рейками колісних пар локомотива.

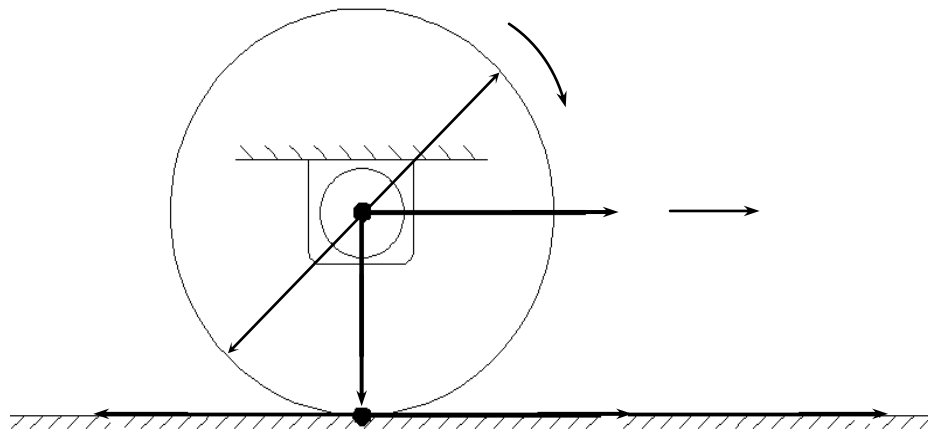


Рис.1.21. Розрахункова схема до визначення тягового зусилля, що розвивається локомотивом

Внутрішньої стосовно поїзда силою тяги є крутний момент  $M$  (у ньютон-метрах), що розвивається двигуном (через редуктор) на провідних колісних парах, і який може бути реалізований (рис. 1.21) тільки у вигляді пари сил (у ньютонах)

$$F = 2M / D_k,$$

де  $D_k$  – діаметр колеса, м.

Сили  $F$  прикладені у двох крапках: до колеса (наведеному) у місці його контакту з рейкою й до підшипників колісної пари.

Перша сила  $F$  урівноважена силою зчеплення  $F_{зч}$  колеса з рейкою, що є реактивною силою, що виникає оскільки діє сила  $F$ . Друга сила  $F$  (прикладена до підшипника) залишається неуврівноваженою, а тому викликає кочення колеса (колісної пари) по рейках і, отже, поступальний рух локомотива й з'єднаного з ним состава. Ця сила  $F$  і є силою тяги.

Таким чином, реалізація внутрішнього крутного моменту  $M$  у зовнішню силу тяги  $F$  можлива лише при наявності зовнішньої сили  $F_{зч}$  зчеплення коліс із рейками, якщо  $F = F_{зч}$ .

Але з іншого боку,  $F_{зч}$  не може бути безмежною, а обмежена коефіцієнтом зчеплення ведучих коліс локомотива з рейками  $\mu$  і зусиллям  $P$  притиснення ведучих коліс локомотива до рейок, тобто

$$F_{зч\max} = 1000P\mu.$$

Звідси й максимально можлива сила тяги  $F_{\max}$  також обмежена  $F_{зч}$ , тому що  $F = F_{зч}$ . Тоді з умови зчеплення коліс локомотива з рейками

$$F_{\max} = 1000P\mu.$$

З іншого боку, сила тяги  $F$  обмежена потужністю тягових двигунів  $N$  (у кіловатах), тому з умови використання повної потужності тягових двигунів максимально можлива сила тяги

$$F'_{\max} = 3,6 \frac{N}{v} \eta_{т.п},$$

де  $v$  – швидкість руху поїзда, км/год;  $\eta_{т.п}$  – КПД тягової передачі.

Якщо сила тяги при використанні повної потужності тягових двигунів менше сили тяги з умови зчеплення, тобто  $F'_{\max} < F_{\max}$ , то локомотив називають недомотореним, якщо  $F'_{\max} > F_{\max}$ , те локомотив називають перемотореним.

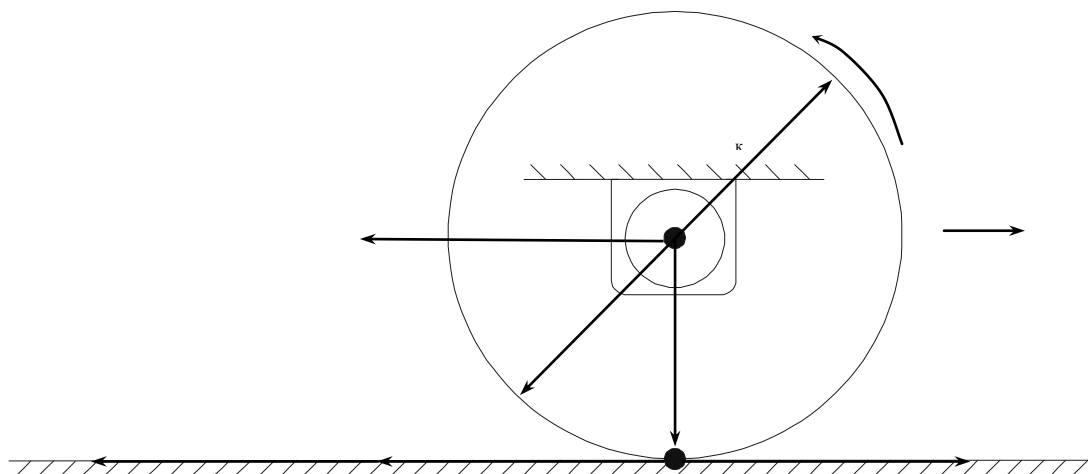


Рис.1.22. Розрахункова схема до визначення гальмівного моменту, що розвивається локомотивом

Сучасні локомотиви звичайно перемоторені. Це викликано прагненням збільшити середнеходові швидкості руху поїздів (за рахунок швидкого розгону) і забезпечити роботу тягових двигунів без перегріву. Однак при використанні перемоторених локомотивів не виключене буксування колісних пар, супроводжуване зношуванням бандажів коліс і рейок.

При гальмуванні поїзда до його гальмових колісних пар (вони ж – ведучі) прикладається гальмовий момент  $M_r$  за рахунок тягових двигунів при електричному

або електродинамічному гальмуванні противотоком і використання гальмових колодок при механічному гальмуванні.

Внутрішній (стосовно поїзда) гальмовий момент  $M_T$  також реалізується у вигляді пари сил  $B$ , одна йз яких прикладена до рейок, а друга – до підшипників колісних пар, а виходить, і до рами локомотива й до всього поїзда.

Як і сила тяги  $F$ , гальмова сила  $B$  обмежена максимально можливим значенням сили зчеплення  $F_{зч\ max}$  коліс локомотива з рейками, тобто завжди

$$B = F_{зч},$$

а максимально можливе значення гальмової сили за умовою зчеплення

$$B_{\max} = 1000P\mu.$$

Для умов рудника розрахункове значення коефіцієнта зчеплення коліс із рейками  $\mu = 0,10 \div 0,28$ .

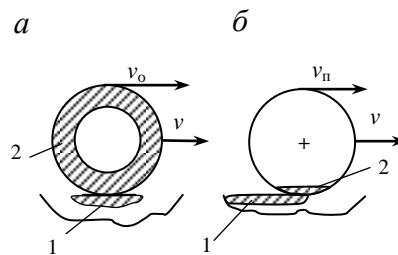


Рис. 1.23. Режимы буксования (а) и юза (б) колес локомотива с характерными картинками износа головок рельсов (1) и бандажей колес (2)

Спроба перевищення сили тяги, обумовленої зчепленням коліс із рейками, приводить до буксування коліс, при якому коефіцієнт зчеплення  $\mu$  знижується приблизно на 30 %, а тому знижується й реалізована сила тяги  $F$ .

Характер стирання бандажа й рейки при буксуванні показаний на рис .

Спроба перевищення гальмової сили, обумовленої також зчепленням коліс із рейками, приводить до так званого юза – руху необертювих коліс по рейках ковзанням. При цьому граничне значення гальмової сили знижується. Крім того,

інтенсивно й, саме головне, нерівномірно зношуються бандажі коліс, а також рейки .

Шляхи підвищення сили тяги по зчепленню й гальмовій силі наступні.

Для збільшення сили тяги поки знайдений тільки один спосіб – підмагнічування ведучих коліс шляхом установки котушки, що намагнічує, усередині колеса. У результаті виникнення

магнітного поля в системі колесо – рейка колесо додатково притискається до рейки, тому до зчпної ваги  $P$  додається ще сила магнітного притиснення  $P_M$ . У цьому випадку

$$F_{\max} = 1000(P + P_M)\mu .$$

Для збільшення гальмової сили можуть застосовуватися спеціальні гальмові вагонетки, обладнані колодковими гальмами, і електромагнітні рейкові гальма, установлені на локомотиві (електровозі).

У першому випадку

$$B_{\max} = 1000(P + g\Sigma G_T)\mu ,$$

де  $\Sigma G_T$  – загальна маса гальмових вагонеток, т.

У другому випадку

$$B_{\max} = 1000P\mu + nP_M f ,$$

де  $P_M$  – сила натискання одного черевика з електромагнітним приводом на рейку, Н;  $n$  – число одночасно включених черевиків;  $f$  – коефіцієнт тертя між черевиком і рейкою,  $f = 0,09 \div 0,15$ .

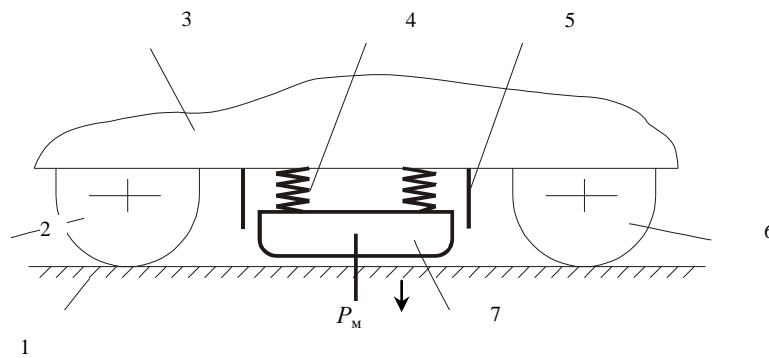


Рис. 1.24. Збільшення гальмової сили за допомогою підвісного електромагнітного черевика

1 - рейка; 2, 6 - колісні пари; 3 - рама; 4 - пружинна підвіска черевика 7; 5 - напрямні

Електромагнітне рейкове гальмо (рис. 1.24) складається із двох черевиків, кінематично зв'язаних поперечками й підвішених на пружинах між колісними парами електровоза. При включенні електромагнітів черевики, переборюючи опір пружин, притискаються до рейок і забезпечують додаткову гальмову силу.

### 1.3.6. Статичні опори руху поїзда

При русі поїзда в сталому режимі (з постійною швидкістю) на довільній ділянці шляху відповідно до його профілю на поїзд (рис.1.25, *a*) діють наступні сили: вага поїзда  $(P + Q)$ ; синусоїдальна складова ваги  $(P + Q)\sin\beta$ , де  $\beta$  – кут нахилу рейкового шляху на розглянутій ділянці й сила опору руху, викликана тертям катання коліс по рейках і в буксах колісних пар. Відповідно до відомого закону Кулона  $(P + Q)\sin\beta = (P + Q)w'\cos\beta$ , де  $W'$  – коефіцієнт опору руху рухливого состава.

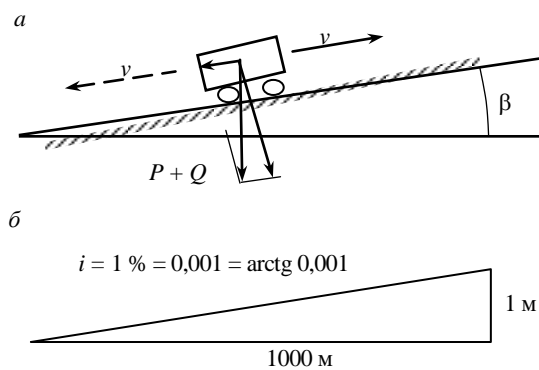


Рис. 1.25 Схема до визначення статичних опорів руху поїзда на прямолінійній ділянці шляху (*a*) зі співвідношенням ухилів рейкового шляху, обмірюваних у промилле, відносних і кутових одиницях (*б*)

Таким чином, при русі поїзда на прямолінійній ділянці шляху статичні опори руху поїзда

$$\Sigma W = (P + Q) \times (w' \cos\beta \pm \sin\beta), \quad (4)$$

де  $P$  і  $Q$  вимірюються в ньютонках, а  $\Sigma W$  – у ньютонках.

При русі поїзда на підйом синусоїдальна складова ваги поїзда повинна бути переборена, тому в рівнянні стоїть знак «+»; при русі поїзда під ухил синусоїдальна складова сприяє руху, компенсуючи сили опору від тертя катання й у буксах колісних пар. У цьому випадку в рівнянні  $\sin\beta$  варто брати зі знаком «-».

Кути нахилу  $\beta$  рейкових шляхів малі (рис. 1.25, *б*), тому в рівнянні (4) приймають  $\cos\beta \cong 1$ , а  $\sin\beta \cong \text{tg}\beta$ ; при малих кутах  $\beta$  чисельні значення цих тригонометричних функцій з точністю до четвертого знака після коми однакові.

Тангенс кута  $\beta$  нахилу рейкового шляху до обрїю називають ухилом шляху,  $i' = \text{tg}\beta$ .

Таким чином, статичні опори руху поїзда можуть мати вигляд

$$\Sigma W = 1000(P + Q)(w' \pm i') ,$$

де  $w'$  – коефіцієнт опору руху поїзда (у відносних одиницях);  $i'$  – ухил рейкового шляху (у відносних одиницях).

Крім кутових (градуси, радіани) і відносних одиниць для чисельної оцінки й виміру ухилів використовують і інші показники: ухил шляхи у відсотках  $i\%$  і в проміллі  $i\text{‰}$ . Співвідношення цих показників з величиною ухилу у відносних одиницях (рис. 1.25, б) наступні:

$$i\% = 100i'; \quad i\text{‰} = 1000i'.$$

Останній показник найбільш зручний, тому що він адекватний питомому коефіцієнту опору руху  $w$ , вимірюваному в ньютон на кілоньютон. Цими показниками ми будемо користуватися надалі. Позначимо  $i\text{‰}$  через  $i$  (для простоти), тоді статичні опори руху по прямолінійній трасі в остаточному варіанті

$$\Sigma W = (P + Q)(w \pm i) .$$

У плані рейкові шляхи мають, як правило, значне число криволінійних ділянок, на яких статичні опори руху зростають за рахунок тертя реборд коліс об внутрішні крайки головок рейок. Тому при проході поїздом криволінійних ділянок рейкового шляху статичні опори (мал.1.26)

$$\Sigma W = (P + Q)(w \pm i + \alpha w_{\text{кр}}) ,$$

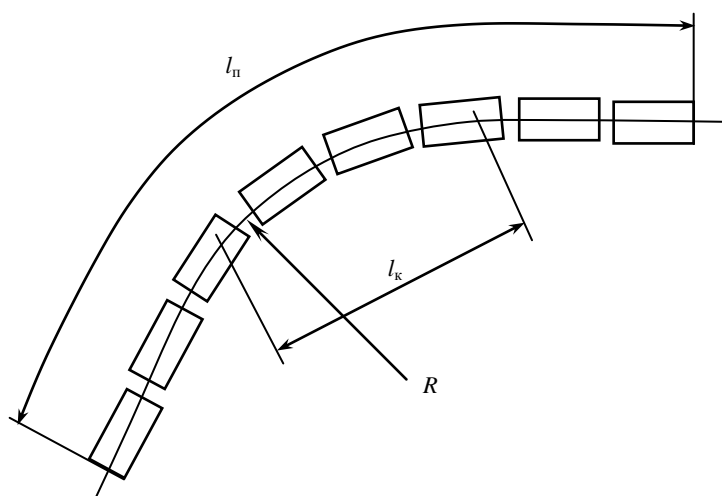


Рис.1.26. Схема до визначення додаткових опорів руху поїзда на криволінійній ділянці рейкового шляху

де  $\alpha$  – відношення довжини  $l_к$  криволінійної ділянки до довжини  $l_п$  поїзда,  $\alpha = l_к/l_п$ ;  $w_{\text{кр}}$  – питомий опір руху, викликаний тертям (ковзанням) реборд коліс об рейки, Н/кН,

$$w_{\text{кр}} \cong K \frac{35}{\sqrt{R}} ;$$

$K$  – коефіцієнт, що враховує спосіб укладання рейкового шляху на закругленні; якщо він

покладений з перевищенням зовнішнього радіуса над внутрішнім,  $K = 1$ , якщо – ні,  $K = 1,5$ ;  $R$  – радіус закруглення рейкового шляху, м.

### 1.3.7. Визначення ваги поїзда

#### Розв'язувані завдання

Основним параметром, що визначається при розрахунку локомотивної (електровозної) відкочування, є вага поїзда.

Відповідно до розглянутого вище теорією руху поїзда його вага обмежена трьома умовами:

- зчепленням ведучих коліс локомотива з рейками при силовому режимі;
- потужністю тягових двигунів локомотива;
- зчепленням ведучих коліс локомотива з рейками при гальмовому режимі.

Визначення ваги поїзда з умови зчеплення

Найбільш складний випадок обмеження тягових можливостей локомотива за умовою зчеплення ведучих коліс із рейками - рух навантаженого поїзда на переважному підйомі при виконанні, наприклад, маневрових операцій.

Думаючи в рівнянні руху в період пуску  $F = F_{\max} = P\mu$  (повне використання сили тяги локомотива за умовами зчеплення);  $w = w_{п.гр}$  (питомий опір руху навантаженої вагонетки при пуску);  $a = a_{п}$ ;  $i = i_{ср}$  (середній ухил, ‰);  $w_{кр} = 0$  (прямолінійний шлях у плані);  $Q = Q_{гр}$  (вага навантаженого состава), одержимо вихідне рівняння

$$1000P\mu = (P + Q_{гр})(w_{п.гр} + i_{ср} + 111a_{п}).$$

Звідси знаходимо максимально можливий за умовами зчеплення вага навантаженого состава по заданій вазі  $P$  локомотива:

$$Q_{гр} = \frac{1000P\mu}{w_{п.гр} + i_{ср} + 111a_{п}} - P.$$

Аналогічним образом визначається мінімальна вага локомотива для заданої ваги складу:

$$P = \frac{Q_{гр}}{1000\mu(w_{п.гр} + i_{ср} + 111a_{п})^{-1} - 1}.$$

Значення коефіцієнта зчеплення коліс із рейками при пуску  $\mu = 0,24$  (з підсипанням піску під колеса з пісочниць).

Прискорення при пуску  $a_{п} = 0,03 \div 0,05$  м/с<sup>2</sup>.

При наявності затяжних ухилів, що перевершують  $i_{ср}$ , замість останнього в розрахункових формулах підставляється значення керівного підйому.

Визначення ваги поїзда з умови гальмування

Відповідно до діючих правил безпеки (ПБ) гальмовий шлях поїзда на переважному ухилі не повинен перевищувати  $l_T = 40$  м під час перевезення вантажів і  $l_T = 20$  м під час перевезення людей.

Рівняння рух поїзда для цього режиму при  $w_{кр} = 0$ ,  $i = i_{cp}$

$$O = (P + Q_{гр})(w_{гр} - i_{cp} - a_T) + B,$$

де  $a_T$  – гальмове сповільнення, м/с<sup>2</sup>,

$$a_T = \frac{v_T^2}{2l_T} \cong \frac{v_{дл}^2}{2l_T};$$

$v_T$  – швидкість руху поїзда перед його загальмуванням, м/с;  $l_T$  – нормативний гальмовий шлях, м.

Приймаємо  $v_T \cong v_{дл}$ ; значення  $v_{дл}$  береться по тяговій характеристиці.

Гальмова сила, що розвивається локомотивом, обладнаним механічними колодковими гальмами,

$$B = N\varphi \leq 1000P\mu,$$

де  $N$  – сила натискання гальмових колодок, Н;  $\varphi$  – коефіцієнт тертя колодок об бандажі коліс,  $\varphi = 0,18 \div 0,20$ .

Найбільша (гранично припустима) сила натискання колодок

$$N = 1000P \frac{\mu}{\varphi} = 1000P\delta,$$

де  $\delta$  – коефіцієнт натискання гальмових колодок,  $\delta = \mu/\varphi$ ; для шахтних локомотивів приймають  $\delta = 0,6 \div 0,8$ .

Звідси максимально можлива розрахункова гальмова сила

$$B = 1000P\delta\varphi,$$

Вирішуючи спільно рівняння (9) і (10) відносно  $Q_{гр}$ , знайдемо максимально можливу вагу состава з умови гальмування поїзда:

$$Q_{гр} = \frac{1000P\delta\varphi}{55 \frac{v_T}{l_T} + i_{cp} - w_{гр}} - P,$$

а також мінімальна вага локомотива із цієї ж умови:

$$P = \frac{Q_{гр}}{1000\delta\varphi \left( \frac{55v_T}{l_T} + i_{cp} - w_{гр} \right)^{-1} - 1}.$$



### Визначення ваги поїзда по потужності тягових двигунів

Тягові двигуни електровозів, як і всі електродвигуни, допускають короткочасне перевантаження. Тому визначення ваги поїзда виробляється для тривалого режиму роботи електродвигунів. Такому режиму відповідає період усталеного руху поїзда зі сталою швидкістю як у вантажному, так і в порожньому напрямках.

Для полегшення рішення завдання розрахунковий ухил шляхи приймають рівним ухилу рівного опору, якому відповідає сила тяги при устояному режимі

$$F_{уст} = (P + Q_{гр})(w_{гр} - i_{р.с}) = (P + Q_{пор})(w_{пор} + i_{р.с}).$$

Щоб тягові двигуни не перегрівалися, необхідне виконання наступної умови: потрібна для руху поїзда сила тяги при сталому режимі  $F_{уст}$  не повинна перевищувати силу тяги, що розвивається тяговими двигунами при тривалому режимі –  $F_{дл}$ . Оскільки для сучасних тягових двигунів сила тяги пропорційна (у першому наближенні) силі струму в обмотках двигуна, тривала сила тяги може бути визначена як середньоквадратичне значення сили тяги. Справедливість цієї умови підтверджується тим, що кількість теплоти, виділюваної обмотками двигуна, пропорційно квадрату струму, що проходить через ці обмотки.

Таким чином, для забезпечення роботи тягових двигунів без перегріву повинне виконуватися наступна умова:

$$F_{дл} \geq \alpha \sqrt{\frac{F_1^2 t_1^2 + F_2^2 t_2^2 + \dots}{T_{дв} + \theta}} = \alpha \sqrt{\sum (F_i^2 t_i^2) \frac{1}{T_{дв} + \theta}},$$

де  $F_i = F_1, F_2, \dots$  – тягові зусилля, що розвиваються двигунами локомотива в періоди часу, хв,  $t_i = t_1, t_2, \dots$  при проходженні ділянок рейкового шляху  $L_1, L_2, \dots$  з ухилами  $i_1, i_2, \dots$  (мал.31, а);  $T_{дв}$  – час руху поїзда на всій ділянці рейкового шляху (між кінцевими пунктами й часом на навантаження (розвантаження) вагонеток), хв; ( $\theta$  – сумарна тривалість маневрових операцій, хв; ( $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує включення тягових двигунів для виконання маневрових операцій локомотивом.

Час руху поїзда в одному напрямку

$$T_{дв} = \frac{60L}{v_{ср.х}},$$

де  $L$  – довжина відкочування, км;  $v_{ср.х}$  – середнеходова швидкість руху поїзда, км/ч.

Параметри  $\alpha$  і  $\theta$  вибираються в такий спосіб:  $\alpha = 1,15 \div 1,4$  (менші значення приймають для більшої довжини відкочування);  $\theta = 30 \div 40$  хв при використанні вагонеток із глухим кузовом і  $\theta = 15 \div 20$  хв для вагонеток з відкидними днищами, що не вимагають розвантаження в перекидачах.

Среднеходова швидкість  $v_{ср.х} = (0,75 \div 0,9)v_{дл}$ , де  $v_{дл}$  – тривала швидкість, що розвивається локомотивом, км/ч. Менші значення коефіцієнта приймаються при обмеженій довжині відкочування.

Якщо для розрахунку приймається ухил рівного опору  $i_{p.c}$ , те формула (7) істотно спрощується ( $F_1 = F_2 = \dots = F_{уст}$ ):

$$F_{дл} = \alpha \sqrt{F_{уст}^2 \frac{T_{дв}}{T_{дв} + \theta}}.$$

Відношення  $\frac{T_{дв}}{T_{дв} + \theta} = \tau$  називається відносною тривалістю руху.

Таким чином, тривала й розрахункова сили тяги при усталеному русі зв'язані співвідношенням

$$F_{дл} = \alpha \sqrt{\tau} F_{уст} = \alpha \sqrt{\tau} (P + Q_{гр})(w_{гр} - i_{p.c}).$$

Звідси знаходимо максимально можливу вагу навантаженого (аналогічно й для порожнього) состава по заданій вазі локомотива з умови обмеження по потужності тягових двигунів (по припустимому нагріванню):

$$Q_{гр} = \frac{F_{дл}}{\alpha \sqrt{\tau} (w_{гр} - i_{p.c})} - P,$$

а також мінімальна вага локомотива по заданій вазі состава:

$$P = \frac{F_{дл}}{\alpha \sqrt{\tau} (w_{гр} - i_{p.c})} - Q_{гр}.$$

Крім того, параметри  $v_{дл}$  (для визначення  $v_{ср.х}$  і  $T_{дв}$ ) і  $F_{дл}$  беруться по тяговій характеристиці двигунів локомотива стосовно до тривалого режиму. Характеристика являє собою залежність від струмів якоря параметрів  $F$  і  $v$  для годинного й тривалого режимів для повного  $U$  (тягові двигуни включені паралельно) і половинної напруги  $0,5U$  (тягові двигуни включені послідовно), де  $U$  – напруга контактної мережі або на клеммах акумуляторної батареї.

### Вибір ваги состава, локомотива і числа вагонеток у складі

При заданому типі електровоза (і його зчіпній вазі  $P$ ) після визначення максимально можливої ваги состава  $Q_{гр}$  по трьох умовах, вибирається мінімальне значення  $Q_{гр \min}$ , що і береться в основу подальшого проектування локомотивного відкочування.

При заданій вазі состава  $Q_{гр}$  після визначення мінімально необхідної ваги локомотива  $P$  по трьох умовах з них вибирається максимальне значення  $P_{\max}$ , по якому підбирається тип локомотива.

По величині  $Q_{гр \min}$  визначається необхідне число вагонеток у складі:

$$z = \frac{Q_{гр \min}}{g(G + G_0)}.$$

Необхідне число робочих електровозів

$$z_s = n_n / n_b,$$

де  $n_{\text{н}}$ ,  $n_{\text{в}}$  – необхідне й можливе число рейсів у зміну,

$$n_{\text{п}} = n_{\text{гр}} + n_{\text{л}};$$

***Рекомендована література: [7, 8, 9]***

## Розділ 2

### Транспортні засоби безперервної дії

#### Тема 2.1. Загальні відомості

##### План

2.1.1. Класифікація і основні групи гірничих транспортних машин.

2.1.2. Продуктивність транспортних машин.

##### 2.1.1. Класифікація і основні групи гірничих транспортних машин

Згадаємо першу лекцію де ми розглянули поділ транспортних машин на машини періодичної дії і машини безперервної дії.

- машини періодичної дії – підйомно-транспортними (крани, ліфти, локомотивний, скреперний транспорт)
- машини безперервної дії - конвеєри різного типу; установки пневматичного та гідравлічного транспорту

Основними засобами транспорту на підприємствах вугільної промисловості по виробіткам є рейковий транспорт (який ми вже з вами розглянули) і конвеєрний (який входить до групи машини безперервної дії) (і який ми з вами зараз розглянемо).

##### Класифікація транспортних машин

Транспортні машини поділяються

1. За способом передачі вантажу рухомої сили:

- а) машини, які діють за допомогою механічного приводу (наприклад від електродвигуна);
- б) самопливні (гравітаційні) пристрої, в яких вантаж транспортується під дією сили тяжіння;
- в) пристрої пневматичного і гідравлічного транспорту, в яких рухомою силою є потік повітря і струмінь води;
- д) конвеєри для переміщення сипучих феромагнітних вантажів в рухомому магнітному полі;

2. За характером прикладення рухомої сили та конструкції транспортуючі машини поділяють на машини:

а) які мають **тяговий елемент** (стрічку, ланцюг, канат, штангу) для передачі рухомої сили:

- конвеєри стрічкові;
- конвеєри пластинчаті;

- конвеєри скребкові;
- конвеєри скребково-ковшові;
- конвеєри люлечні;
- конвеєри візкові;
- конвеєри підвісні;
- конвеєри штангові;
- конвеєри крокуючі;
- ескалатори та елеватори - ковшові, полочні;

**Характерна особливість машин з тяговим елементом:** рух вантажу разом з *тяговим елементом* на робочій гілці.

*б) без тягового елемента:*

- гвинтові конвеєри;
- коливаючі конвеєри;
- роликові конвеєри;
- обертаючі транспортуючі труби;

**Характерна особливість машин без тягового елемента:** поступальний рух вантажу при обертальному та коливальному русі робочих елементів машини;

**За напрямком й трасою переміщення вантажів транспортуючі машини розділяють на три основні групи.**

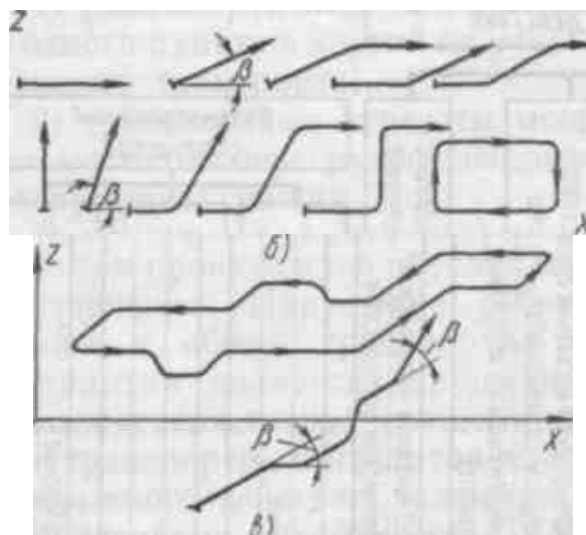


Рис. 2.1. Схеми трас переміщення вантажів транспортуючими машинами:

*а* — вертикально-замкнутими (у вертикальній площині);

*б* — горизонтально-замкнутими (у горизонтальній площині);

*в*- просторовими

Сучасне прагнення мати найбільш ефективний транспорт без перевантажень від початкового до кінцевого пунктів, обумовило помітне поширення машин третьої групи. Якщо, наприклад, скребкові й пластинчасті конвеєри виконувалися із трасою, розташованою тільки в одній вертикальній площині, то тепер їх роблять просторовими.

**За характером руху вантажонесучого (робочого) елемента машини (стрічки, настилу, підвіски, візка) розрізняють :**

- конвеєри з безперервним і періодичним (пульсуючим) рухами. вантажонесучий (робочий) елемент може мати поступальні, зворотно-поступальні, обертальні й коливальні (різної форми) рухи.

За характером переміщення вантажу транспортуючі машини можна розділити на наступні основні групи:

а) переміщення на несучому елементі, що безупинно рухається, у вигляді суцільної стрічки або полотна (настилу). До цієї групи належать: стрічкові, пластинчасті й ланцюгонесучі конвеєри;

б) переміщення в робочих елементах, які безупинно рухаються, у вигляді ковшів, коробів, підвісок, платформ-візків і т. д., які знаходяться на певній відстані один від одного. До цієї групи належать ковшові, підвісні, візкові й коліскові конвеєри, ескалатори й елеватори всіх типів;

в) волочіння вантажу по нерухливому жолобі або трубі безупинно рухаються скребками. До цієї групи належать скребкові конвеєри із суцільними (прямокутними або круглими) і контурними скребками;

г) волочіння (проштовхування) вантажу по нерухливій жолобу відбувається гвинтовими лопатами, які Бракуються (гвинтові конвеєри);

д) пересипання й поздовжнє переміщення в обертівій трубі-барабані, гладкої або із гвинтовими лопатами (обертіві транспортні труби);

е) ковзання вантажу за допомогою сил інерції або переміщення мікрокидками по коливаючому жолобу або трубі (коливні інерційні й вібраційні конвеєри);

ж) переміщення вантажу на своїх колесах або на візках по шляхам, які укладені у підлогу приміщення поза конструкцією конвеєра (вантажотягнучі штангові конвеєри);

з) поступальний перенос вантажів на окремі строго фіксовані ділянки по довжині (крокуючі конвеєри);

і) переміщення вантажів у закритій трубі безперервним потоком у зваженому стані в струмені повітря, що рухається, або окремими порціями під дією струменя повітря (установки пневматичного транспорту, пневмопошта);

к) переміщення вантажу в жолобі або в трубі під дією струменя води (установки гідравлічного транспорту).

**За призначенням й положенням на виробничому майданчику розрізняють транспортуючі машини:**

стаціонарні, переставні ( які переставляються по мірі зміни місць виробітку в шахті або кар'єрі), переносні й пересувні. Переносні й пересувні конвеєри належать до навантажувальних машин.

Даний короткий класифікаційний розбір транспортуючих машин показує їх виняткову різноманітність по всіх основних ознаках.

### 2.1.2. Продуктивність транспортних машин

Кількість вантажу, яка пересувається транспортними пристроями за одиницю часу, називають їхньою продуктивністю.

Для машин, що видають вантаж безперервним потоком (рис. 2.2, а, б), продуктивність дорівнює кількості матеріалу, що проходить через даний перетин за одиницю часу,

$$Q = 3600vF\rho, \text{ м/год.}, \quad (2.1)$$

або

$$V = 3600vF, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.2)$$

де  $v$ —швидкість руху матеріалу,  $\text{м/сек}$ ;

$F$  — площа поперечного перерізу потоку матеріалу,  $\text{м}^2$

$\rho$  — насипна щільність матеріалу,  $\text{т/м}^3$ .

Продуктивність транспортуючої машини можна виразити також через **погонне навантаження**  $q$  ( $\text{кг/м}$ ) на робочому органі (стрічці, жолобі)

$$Q = \frac{3600qv}{1000} = 3,6qv, \text{ т/год} \quad (2.3)$$

Якщо відома годинна продуктивність і швидкість руху матеріалу, то звідси можна визначити погонне навантаження

$$q = \frac{Q}{3,6v}, \text{ кг/м.} \quad (2.4)$$

При переміщенні насипних вантажів у ковшах (рис. 2.2, з) з кількістю вантажу в посудині  $I$  (л) і відстанню (кроком) між ними  $a$  (м)

$$q = \frac{i}{a} \gamma = \frac{i_0 \psi \rho}{a}, \text{ кг/м,}$$

де  $i_0$ — ємність посудини, л;

$\psi$  - коефіцієнт заповнення

Якщо переміщують штучні вантажі вагою  $G$  (кг) кожний (рис. 2.2, в) або порціями по  $z$  (шт.), тоді

$$q = \frac{G}{a}, \text{ кг/м}$$

ИЛИ

$$q = \frac{Gz}{a}, \text{ кг/м.}$$

(2.6)

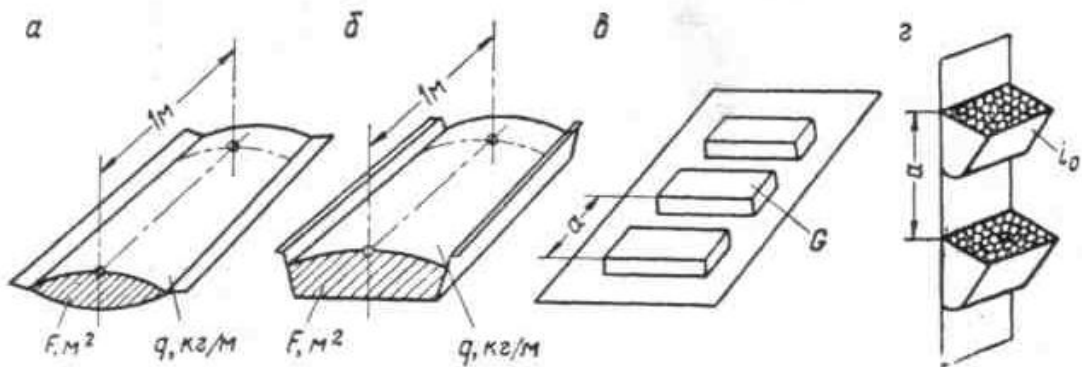


Рис. 2.2. Схеми до визначення продуктивності транспортних пристроїв безперервної дії

*Рекомендована література: [7, 9]*



## Тема 2.2. Скребкові конвеєри

### План

- 2.2.1. Область використання та класифікація.
- 2.2.2. Конструкція скребкового конвеєру.
- 2.2.3. Визначення ширини жолоба. Визначення опору тягового органу та потужності двигуна.
- 2.2.4. Динаміка ланцюгового приводу. Методи зменшення динамічних навантажень.

### 2.2.1. Область використання

Скребкові конвеєри відносять до транспортуючих машин, у яких вантаж за допомогою скребків переміщається волоком (волочінням) по жолобу або трубі найчастіше прямокутного або круглого перетину.

Головною ознакою, по якій в основному розділяють скребкові конвеєри на різні конструктивні типи, варто вважати *форму й висоту скребка*. За цією ознакою розрізняють конвеєри із суцільними й контурними (фігурними) скребками. Суцільні скребки бувають *високі і низькі*; висота **високих скребоків** приблизно дорівнює висоті жолоба й у кілька разів більше висоти тягового ланцюга; **висота низьких скребоків** близька до висоти ланцюга й значно (в 3-6 разів) менше висоти ринви.

Також розділяють:

- За родом приводу – з електричним, пневматичним, електрогідравлічним приводом;
- По розташуванню навантаженої і холостої гілки тягового ланцюга: одна над другою, в одній площині, під кутом одної до іншої;
- За кількістю приводів одно приводні, багато приводні;
- По кількості ланцюгів одно - , двох та трьох ланцюгові
- За характером виконуваних операцій: агрегатні, доставочні і гальмівні;
- За способом пересування – розбірні і пересувні (жорсткі і що згибаються).
- За характером руху скребоків: реверсивні і не реверсивні.

Окремий конструктивний різновид являють собою трубчасті скребкові конвеєри із круглими (або, іноді, прямокутними) суцільними скребками. Їхня відмінна риса - широка універсальність конфігурації траси переміщення вантажу.

**Застосовують** Скребкові конвеєри основних типів із суцільними й контурними скребками для транспортування різних пилоподібних, зернистих і кускових добре сипучих матеріалів.

Скребкові конвеєри **не слід застосовувати** для транспортування крихких, сильно вологих і липких вантажів: крихких вантажів дробляться скребками, вологі і липкі - прилипають до скребків і погано розвантажуються, різко зменшується продуктивність конвеєра.

Велике поширення одержали скребкові конвеєри у вугільних шахтах, на збагачувальних фабриках, підприємствах хімічної й харчової промисловості. Конвеєри з низькими скребками в різноманітних конструктивних модифікаціях є основними агрегатами для підземного транспортування вугілля по лаві.

#### **Переваги скребкових конвеєрів:**

- простота конструкції;
- легка можливість здійснення проміжного завантаження й розвантаження (скрізь, крім вертикальних ділянок траси);
- великий кут нахилу транспортування 30-40 градусів;
- можливість застосування вибухонавалювання;
- можливість пересування без розбирання;
- можливість герметичного транспортування вантажів.

#### **Недоліки:**

а) інтенсивне зношування ходової частини й ринви, особливо при переміщенні абразивних вантажів, оскільки скребки й, у більшості випадків, тяговий ланцюг труться об ринву в середовищі вантажу;

б) значна витрата енергії, оскільки вантаж і ходова частина труться по ринві;

в) подрібнення вантажу при транспортуванні волочінням, що для деяких вантажів (наприклад, для коксу) неприпустимо, а для багатьох - небажано;

Значні опори переміщенню вантажу й зношування обмежують швидкість, довжину й продуктивність скребкових конвеєрів; звичайно приймають швидкість у межах 0,16—0,4 м/сек і, в окремих випадках (на вугільних конвеєрах), 0,5—1 м/сек, довжину до 60—100 м і продуктивність до 50—350 т/ч (залежно від конструктивного типу).

### **2.2.2. Конструкція скребкового конвеєру**

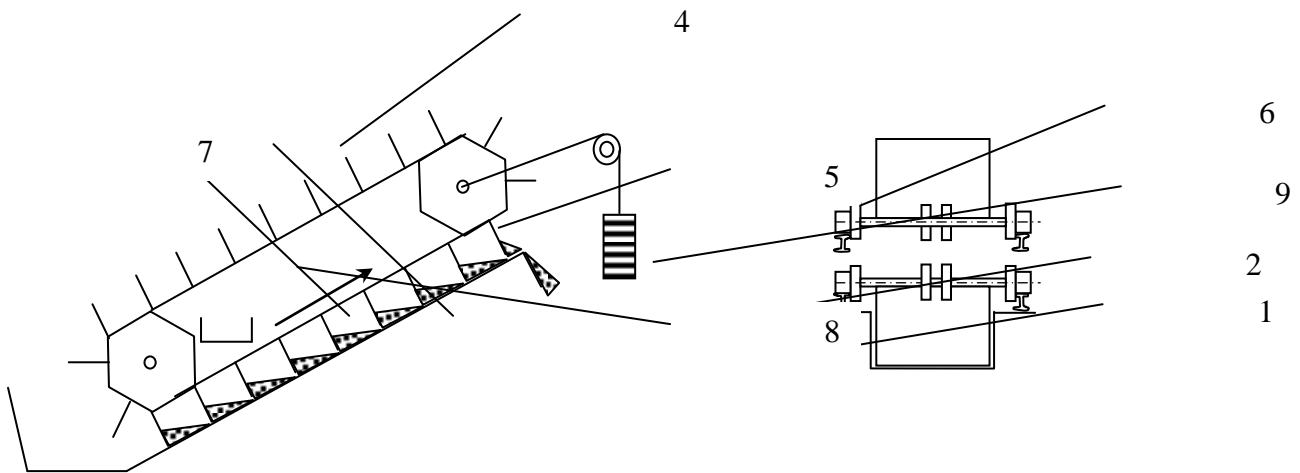


Рис. 2.3 Конструкція скребкового конвеєру

1. Жолоб
2. Скребок
3. Привідна зірочка
4. Натяжний пристрій
5. Натяжний пристрій
6. Опорні катки
7. Завантажувальний пристрій
8. Розвантажувальний
9. Пластинчатий ланцюг

#### Кінематична схема приводної станції

$N=55-110$  кВт ,  $U = 390, 660, 1140B$  ,  $Q = 3600FV\rho$   $n = 1500$ об/мин  $V = 0,5 - 1,5$ м/с

### 2.2.3. Визначення ширини жолоба. Визначення опору тягового органу та потужності двигуна

#### Визначення ширини жолоба

Головним параметром скребкового конвеєра вважають ширину скребка або скребкового ланцюга (у деяких випадках ширину ринви), і тільки трубчасті скребкові конвеєри, що використовують стандартні труби, розрізняють по зовнішньому діаметрі труби.

Продуктивність скребкового транспортера дорівнює:

$$Q = 3600FV\rho$$

$V$  - швидкість руху скребків

$\rho$  - насипна щільність вантажу

$F$  - площа перетину вантажу в жолобі:

$$F = Bh\psi C_b$$

$B$  - Ширина жолоба

$h$  - робоча висота жолоба

$$K = \frac{B}{h} = (2...4)$$

$\psi = 0,5 - 0,6$  (пси)- коефіцієнт заповнення жолоба

$C_\beta = 0,5 - 1$  коефіцієнт, який враховує зменшення об'єму при збільшенні кута нахилу

конвейера

Підставив значення для  $F$  і  $K$  знайдемо  $B$  :

$$B = \sqrt{\frac{Q}{3600K\psi C_b V \rho}}$$

Висота скребка  $h_{ш}$  :  $h_{ш} = h + (25...50) \text{ мм}$

Крок скребка:  $P_{ш} = (2...4)h_{ш}$  .

### **Визначення опору тягового органу та потужності двигуна.**

Тяговий розрахунок скребкового конвеєра виконується звичайним порядком по окремих ділянках, причому на робочій гілці опір руху вантажу й ходової частини підраховують роздільно.

$$S_i = S_{i-1} \pm W_{i-1,i}$$

$S_{i-1}$  - натяг в попередній точці.

$W_{i-1,i}$  - опір на відрізу між точками  $i-1$  та  $i$  .

Найпростіший випадок руху скребкового конвейера з навантаженою верхньою гілкою.

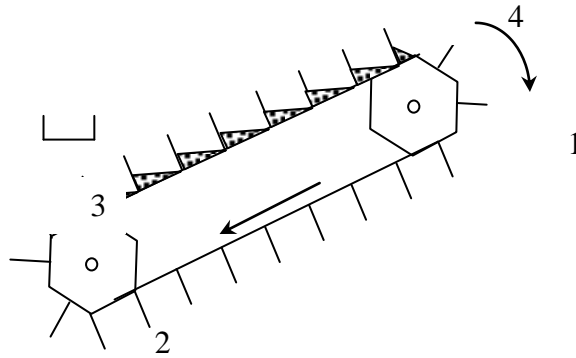


Рис. 2.4. Розрахункова схема скребкового конвеєру

Починаєм обхід контуру з точки 1, де наша система має мінімальне значення попереднього натягу стрічки  $S_1$ :

$$S_1 = S_{\min} = 3 \dots 10 \text{ кН}$$

$$S_2 = S_1 + W_{1-2};$$

Сила опору на холостій ділянці:

$$W_{1-2} = q_0 L (f_{ж0} \cos \beta - \sin \beta)$$

$q_0$  - погонна маса рухомих частин конвеєра;

$L$  - довжина конвеєра;

$f_{ж0}$  - коефіцієнт опру руху рухомих частин конвеєра;

$$S_3 = K_{зир} S_2;$$

$K_{зир}$  - коефіцієнт опру руху, який виникає у зірочках;

$$S_4 = S_3 + W_{3-4};$$

$$W_{3-4} = L (q (f_{жс} \cos \beta + \sin \beta) + q_0 (f_{ж0} \cos \beta + \sin \beta))$$

$q$  - погонне навантаження конвеєра;

$f_{жс}$  - коефіцієнт опру руху вантажу по жолобу;

**Діаграма натягу (рис. 2.5):**

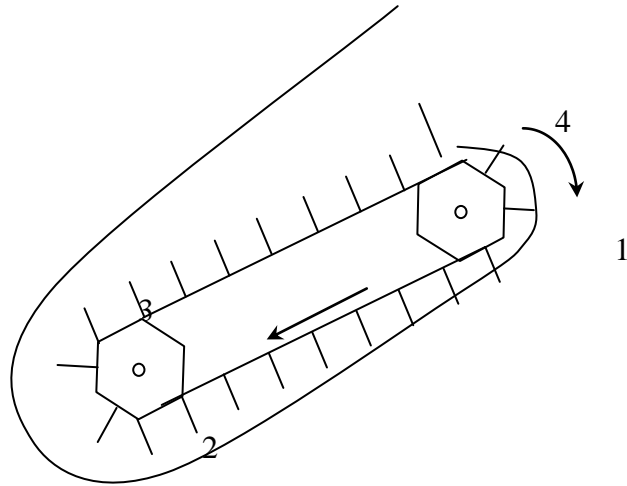


Рис. 2.5. Діаграма натягу скребкового конвеєру

**Потужність двигуна:**

$$N_{дв} = \frac{W_0 V}{\eta} K_3$$

Де  $W_0$  - опір руху ланцюга

$\eta$  КПД механічної передачі 0.85.

#### 2.2.4. Динаміка ланцюгового приводу. Методи зменшення динамічних навантажень

При постійній швидкості обертання приводної зірочки робота скреєру відбувається пульсуючими рухами.

Причина: зміна радіусу набігання ланцюга на привідну зірочку від  $R_K$  до  $R \cos \frac{\alpha}{2}$ .

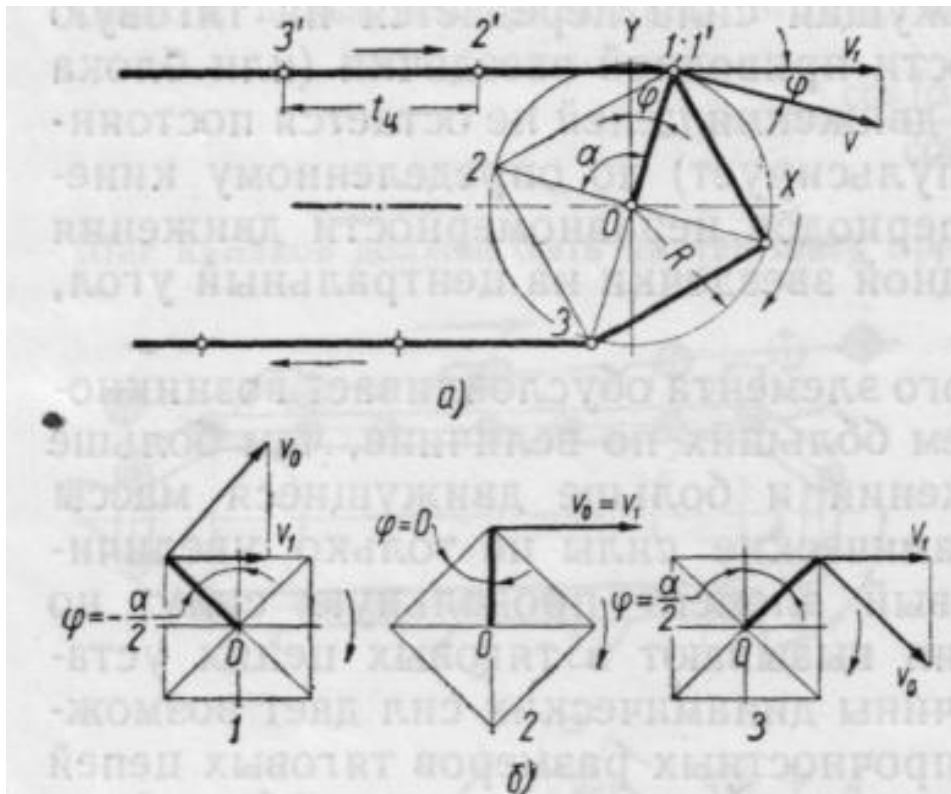


Рис. 2.6. Динаміка ланцюгового приводу

Прискорення ланцюгу:

$$a = \frac{dV}{dt} = -R\omega^2 \sin \varphi$$

Максимального значення прискорення набуває у точка вершин зірочки 1, 2, 3, 4:

$$a = \pm R\omega^2 \sin \frac{\alpha}{2}$$

Кутова швидкість:

$$\omega = \frac{V}{R} = \frac{V2\pi}{zt_y}$$

$t_y$  - крок ланцюга.

$z$  - кількість зубів зірочки.

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{t_y 2\pi}{2zt_y} = \frac{\pi}{z}$$

Прискорення ланцюгу:

$$a = \pm \frac{zt_y}{2\pi} \left( \frac{2\pi V}{zt_y} \right)^2 \frac{\pi}{z} = \pm \frac{2\pi^2 V^2}{z^2 t_y}$$

Отже, прискорення пропорційне квадрату швидкості і оберненопропорційне числу зубів нашої зірочки.

Оскільки прискорення виникає миттєво, то ми маємо удар в нашій системі:

$$S_y = 4m_{np} a_{\max} - m_{np} a_{\max} = 3m_{np} a_{\max}$$

**Методи зменшення динамічних навантажень.**

1. Застосування великої кількості зубів на приводних зірочках;
2. виготовлення зірочок некруглої форми
3. Задання непостійної кутової швидкості.

***Рекомендована література: [7, 9]***



## Тема 2.3. Пластинчаті конвеєри

### План

- 2.3.1. Загальні відомості.
- 2.3.2. Класифікація пластинчастих конвеєрів.
- 2.3.3. Конструкції основних елементів пластинчастого конвеєра.
- 2.3.4. Розрахунок пластинчастих конвеєрів.
- 2.3.5. Ескалатор.

#### 2.3.1. Загальні відомості

**Пластинчастими** називаються конвеєри з ланцюговим тяговим органом і несучою поверхнею, утвореною пластинами — сталевими або пластмасовими. Ланцюги з укріпленими на них пластинами називають скорочено **пластинчастою стрічкою**, а зчленовані пластини - настилом або робочим полотном.

На відміну від скребкових конвеєрів, що переміщують матеріали волочінням по нерухомому жолобу, у пластинчастих конвеєрах вантаж транспортується на несучій поверхні й залишається щодо її нерухливим, тому в процесі переміщення матеріал не піддається дробленню й стиранню. Пластинчаста стрічка переміщується на роликах, внаслідок чого опір пересуванню й витрата енергії на транспортування в цих конвеєрах значно менше, ніж у скребкових.

**Призначення:** Насипні, штучні, гарячі вантажі.

#### Переваги

1. Мають велику міцність і довговічність й
2. можуть бути пристосовані для установки на криволінійній трасі (радіус 5-8м, кут нахилу до  $60^{\circ}$ ).
3. Можливість установки проміжних приводів, що дозволяє транспортувати матеріали практично на будь-яку відстань без перевантаження до 2 км.

#### Основні недоліки пластинчастих конвеєрів:

1. Відносно складна конструкція,
2. Велика вага й висока вартість,
3. Труднощі при очищенні пластин при транспортуванні вологих і липких матеріалах,
4. Схильність до заштибовці напрямних для ходових роликів.
5. Обмежена швидкість руху ланцюга (до 1,25 м/сек);

6. Ускладнена експлуатація через велику кількість шарнірних з'єднань, які потребують регулярного змащення і контролю.
7. Великі енерговитрати;

### **2.3.2. Класифікація пластинчастих конвеєрів**

1. За виконанням несучого органу:
  - Жорсткі (для прямолінійної виробки);
  - Згинаючий (для криволінійної виробки);
2. За кількістю ланцюгів:
  - Одноланцюгові;
  - Дволанцюгові (в основному використовуються);
3. За формою поперечного перерізу пластин:
  - З прямокутними пластинами;
  - З трапецеїдальними пластинами;
  - З напівкруглими пластинами;
4. За кількістю приводів:
  - Одноприводні;
  - Багатоприводні;
5. За розташуванням приводів:
  - З кінцевими приводами;
  - З проміжними приводами;
6. За конструкцією проміжного привода:
  - З ведучим кулачковим ланцюгом (гусеничний привод);
  - З ведучою зірочкою (зірочками);
7. За напрямком транспортування:
  - Горизонтальні;
  - Похилі;(60градусів)
  - Комбіновані;

### **2.3.3. Конструкції основних елементів пластинчастого конвеєра**

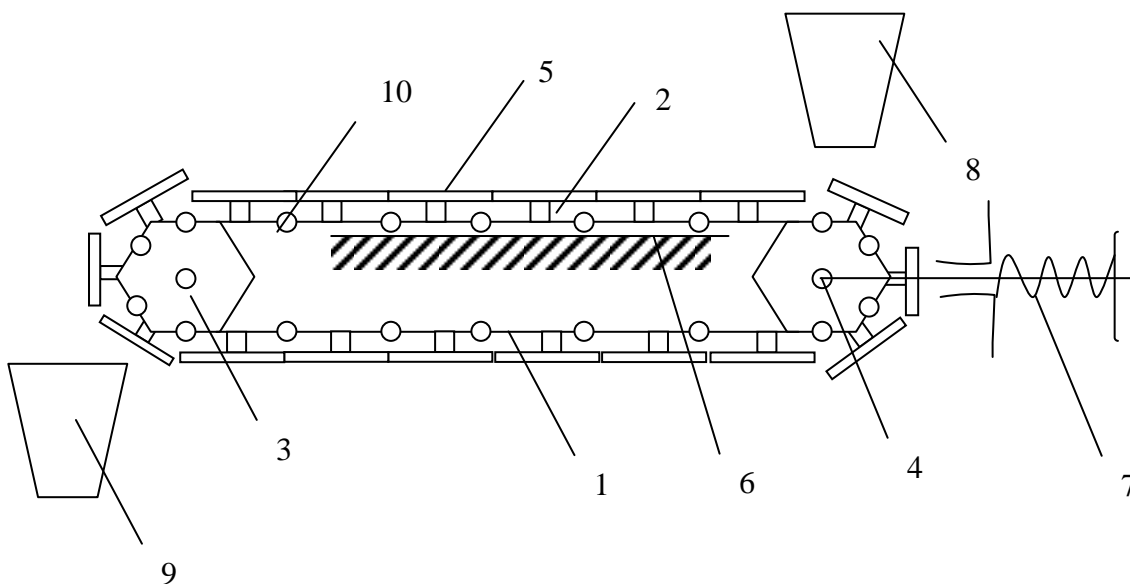
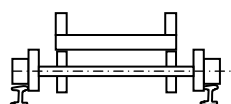


Рис. 2.7. Конструкції основних елементів пластинчастого конвеєра

1. Холоста гілка;(втулочно-катковий ланцюг крок 100-630мм)
2. Вантажна гілка;
3. Привідна зірочка;
4. Натяжна зірочка;
5. Настил пластинчастий;
6. Направляючі;
7. Натяжний пристрій;(пружино-гвинтовий, гвинтовий)
8. Завантажувальний пристрій;
9. Розвантажувальний пристрій;
10. Ролики;

### Конструкції настилів:

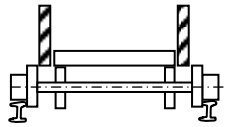
- Бортовий або лотковий;



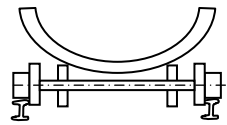
- Плоский;



- Плоский з нерухомими бортами;



- Коритообразний;



В довгих (400 м) конвеєрах для зменшення натягу використовують проміжні приводи.

### 2.3.4. Розрахунок пластинчастих конвеєрів

Швидкість руху настилу лежить в межах від 0,05 до 1,25 в залежності від типу ланцюга.

Площа поперечного перерізу на настилі з бортами:

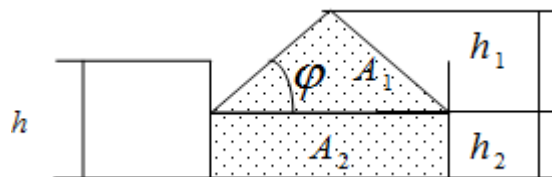


Рис. 2.8. Схема для визначення продуктивності пластинчастого конвеєру

$B$ - ширина;

$h$ - висота;

$\varphi$  - кут природнього відкосу на настилі;

$$A = A_1 + A_2 = \frac{Bh_1}{2} + Bh_2 = 0,25B^2 \operatorname{tg} \varphi + Bh\psi$$

$\psi$  - коефіцієнт наповнення по висоті;

$$\psi = 0,65-0,8$$

$$\psi = \frac{h_2}{h}$$

Задаючись висотою борта  $h$ , ширина настилу буде:

$$B = \frac{A}{h\psi_e}$$

$\psi_e$  - еквівалентний коефіцієнт, що враховує наповнення жолоба.

По умові крупності ширину настилу приймають:

$$B = ea + 200,$$

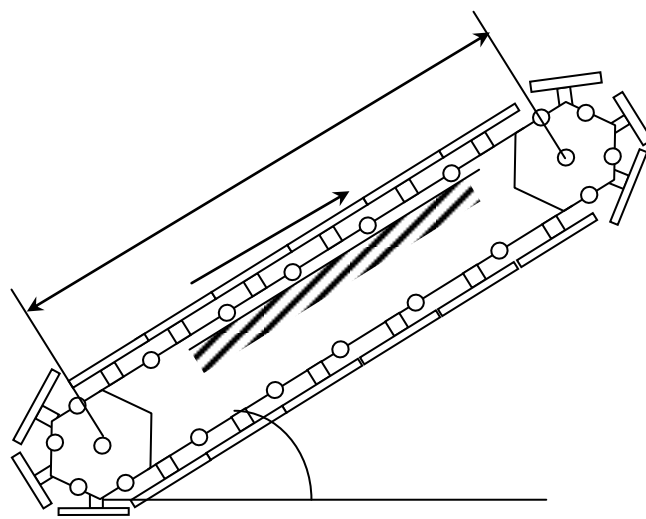
Де  $e$  - коефіцієнт, що залежить від вантажу;

$a$  - розмір типового шматка породи.

### Тяговий розрахунок.

Тяговий розрахунок виконуємо методом обходу контуру аналогічно скребковому конвеєру.

Рис. 2.9. Розрахункова схема пластинчастого конвеєру



Опір на відрізку 1-2:

$$W_{1-2} = q_0 L (w \cos \beta - \sin \beta)$$

Опір на відрізку 3-4:

$$W_{3-4} = (q + q_0) L (w \cos \beta + \sin \beta)$$

$w$  - Коефіцієнт опору руху роликів по направляючих;

**Тягове зусилля ( $W_0$ ):**

$$W_0 = S_4 - S_1 + (k - 1)(S_1 + S_4)$$

$$N_{\text{двигуна}} = \frac{W_0 v}{2} - \text{потужність}$$

*двигуна*

### 2.3.4. Ескалатор

Ескалатор - це різновид пластинчастого конвєсра спеціального типу, який призначений для переміщення людей з одного рівня на інший.

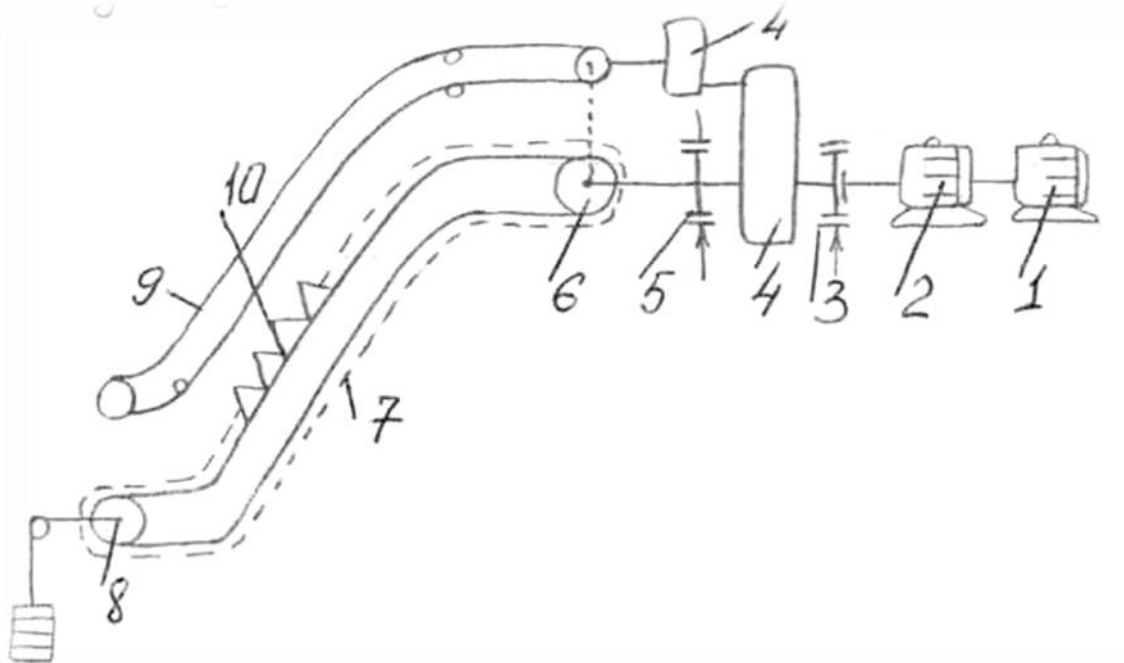


Рис. 2.10. Ескалатор

- 1- Допоміжний двигун;
- 2- Головний двигун;
- 3- ,5- робоче і аварійне гальма;
- 4- Редуктор;
- 6- Приводна зірочка;
- 7- тяговий ланцюг з закріпленими на ньому східцями, які рухаються
- 8- натяжна зірочка;
- 9- поручень розташований на балюстраді;
- 10- полотно

Привід поручня- від головного вала або тягового ланцюга.

Швидкість руху східцевого полотна- 0,4-1 м/с, більше не дає збільшення продуктивності.

Прискорення 0,6-1  $m/s^2$

Ширина: 0.9-1 м.

Кут нахилу - 30-35

Продуктивність ескалатора: (пасажирів/годину):

$$P = \frac{3600 Z_e \varphi_e v}{P_c}, \text{де}$$

$Z_e$ -число пасажирів на одній сходинці;

$v$ - швидкість руху;

$P_c$ - крок сходиць,  $P_c=0,4$  м;

$\varphi_e$  - емпіричний коефіцієнт,  $\varphi_e - 1,2 \dots 0,6v$ ;

Стійкість пасажирів залежить від ривка (від зміни прискорення):

$$\frac{da}{dt} = \frac{d^3 S}{dt^3}$$

## Тема 2.4. Стрічкові конвеєри

### План

- 2.4.1. Загальні відомості та класифікація.
- 2.4.2. Основні елементи стрічкового конвеєра. Конвеєрна стрічка.
- 2.4.3. Стави стрічкових конвеєрів.
- 2.4.4. Приводи стрічкових конвеєрів.
- 2.4.5. Завантажувальні, розвантажувальні, натяжні та очисні пристрої.
- 2.4.6. Розрахунок стрічкового конвеєра.
- 2.4.7. Експлуатація стрічкового конвеєра.

### 2.4.1. Загальні відомості та класифікація

Стрічкові конвеєри призначені для безперервного переміщення вантажів в горизонтальному, похилому та вертикальному напрямках.

Стрічкові конвеєри використовуються в промисловості, сільському господарстві, гірничій справі та металургії.

#### Переваги:

- Безперервність транспортування;
- Простота конструкції та відносно невелика вага,
- надійність в роботі і простота обслуговування;
- можливість повної амортизації;
- висока продуктивність;
- можливість транспортування вантажів при кутах нахилу до 24 градусів, окремі типи дозволяють до 90<sup>0</sup>
- можливість розвантаження вантажу в будь-якому місці траси;
- безшумність роботи;

#### Недоліки:

- висока вартість стрічки;
- недовговічність стрічки;
- неможливість транспортування вантажів високої температури та липких та гостроконечних;

### 2.4.2. Класифікація стрічкових конвеєрів

На сьогоднішній день розроблено багато конструкцій стрічкових конвеєрів, які



пристосовані до різноманітних умов експлуатації та які поділяють:

А) за призначенням:

- загального призначення стаціонарні (ГОСТ 1596-53)
- загального призначення пересувні (ГОСТ 2103-60)
- підземні (ГОСТ 3039-54)
- спеціальні, наприклад для відкритих гірничих робіт

Б) за розташуванням несучої гілки стрічки:

- з верхньою несучою гілкою (більшість типів стрічкових конвеєрів)
- з нижньою несучою гілкою
- з двома несучими гілками (спеціальні типи підземних забійних конвеєрів)

В) за формою поперечного перерізу несучої гілки стрічки:

- з плоскою стрічкою
- з жолобчатою стрічкою

Г) за типом стрічки:

- з гладкою прорезиненою стрічкою
- з рифленою прорезиненою стрічкою
- зі сталевую суцільнокатаною стрічкою
- зі сталевую сітчастою стрічкою

Д) за способом розвантаження

- з розвантаженням на кінцевому барабані
- з проміжним розвантаженням барабанним скидальним візком чи плужковими скидачами

Е) за кількістю приводів

- однопривідні
- багатопривідні

Є) за типом приводних установок

- з одним ведучим барабаном
- з двома ведучими барабанами
- з одним барабаном та спеціальними притискними засобами

Велику групу складають підземні стрічкові конвеєри (ГОСТ 3639-61), які за призначенням поділяють на:

- забійні;
- штрекові;
- похилі;
- бремсбергові;

### 2.4.3. Основні елементи стрічкового конвеєра. Конвеєрна стрічка

Основні елементи стрічкового конвеєра представлено на рисунку 2.11.

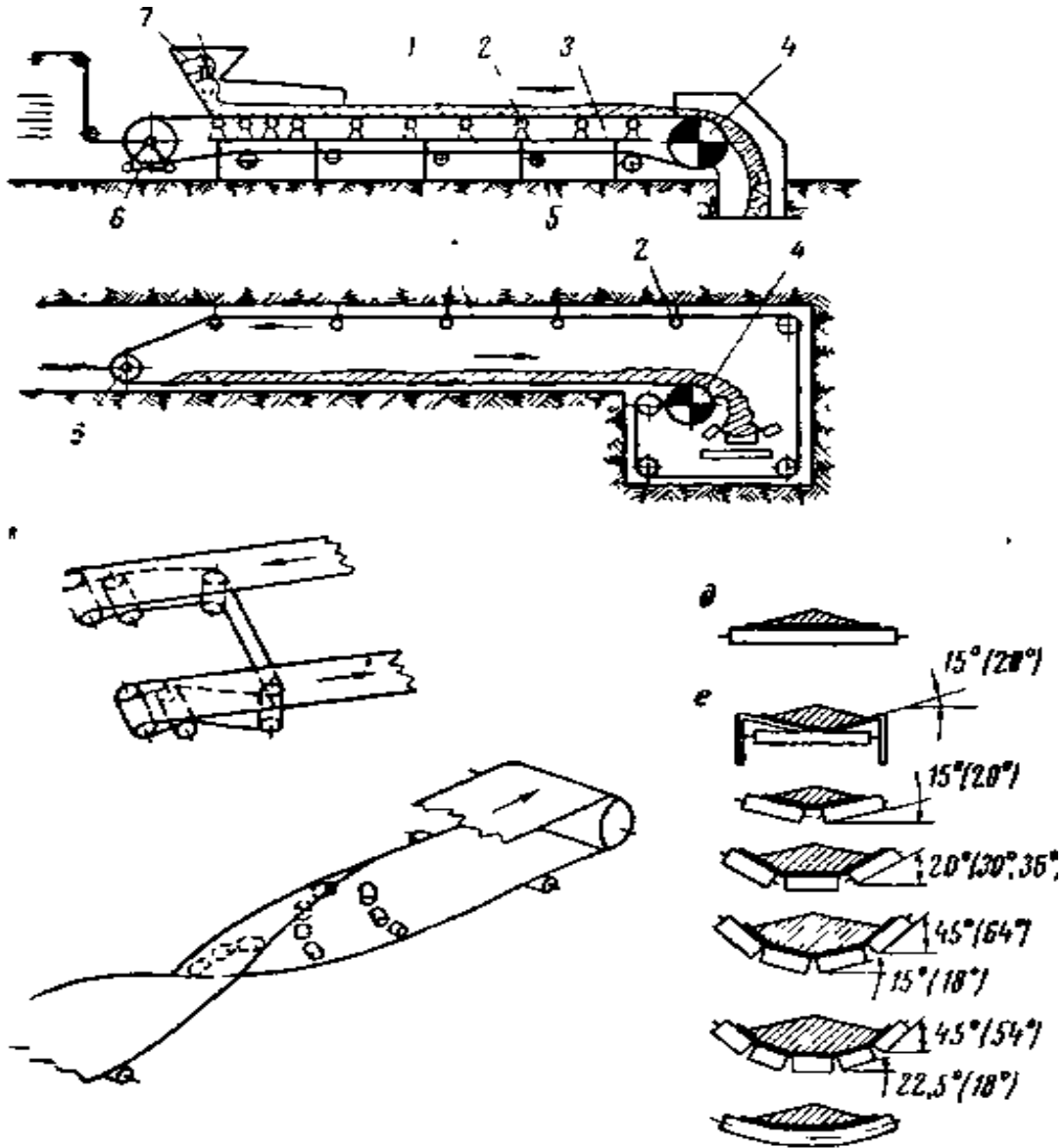


Рис. 2.11 Основні елементи стрічкового конвеєра

1. Еластична стрічка;
2. Роликоопори;
3. Опорна металокопструкція;
4. Привідний барабан;
5. Роликоопора холостої гілки
6. Натяжний пристрій;
7. Завантажувальний пристрій;

**Стрічка** – найбільш відповідальний елемент в стрічковому конвеєрі (це близько 50 %

вартості конвеєра).

### Класифікація стрічок.

- За конструкцією:

4. Гумотканеві;
5. Металеві; (товщина 0,6-1,2 мм, бувають з гумовим покриттям);
6. Гумо тросові;
7. Спеціальні (сітчасті, зі скловолокна, рифлені металеві);

- За призначенням:

1. Загального призначення;
2. Морозостійкі;
3. Теплостійкі;
4. Негорючі;
5. Трубчасті (для отруйних речовин);

Вимоги до стрічок:

- Висока міцність;
- Еластичність;
- Хороший опір до витирання;
- Здатність протидіяти ударам, які виникають при завантаженні і русі матеріалів по стрічці;
- Відсутність гігроскопічності;

Гумотканева стрічка – най більш розповсюджена.



Рис.2.12

Гумотканева стрічка

1. Прокладки(бельтинг)
2. Верхня обкладка
3. Нижня обкладка
4. Шари гуми сквіджи
5. Шар брекерної тканини
6. Бічні обкладки.

Гумотросові стрічки- це стрічки, тягове зусилля яких сприймають металеві троси



Рис. 2.13. Гумотросові стрічки

1- Тяговий трос;

Переваги:

- Висока міцність (до 20 разів ніж у гумотканевих);
- Мале відносне подовження;
- Висока довговічність;

Важливим фактором для ефективної роботи стрічкових конвеєрів є міцність та надійність стику кінців стрічки. На сьогодні розроблено багато способів з'єднання кінців стрічок: це гаряча вулканізація, холодне склеювання, а також за допомогою заклепок, з'єднання металічними шарнірами, крючками.

### 2.4.3. Стави стрічкових конвеєрів

Стави стрічкових конвеєрів призначені для підтримки робочої та холостої гілки від провисання.

Види ставів:

- 1) Жорсткі (з металічних секцій);
- 2) Піддатливі (канатні);

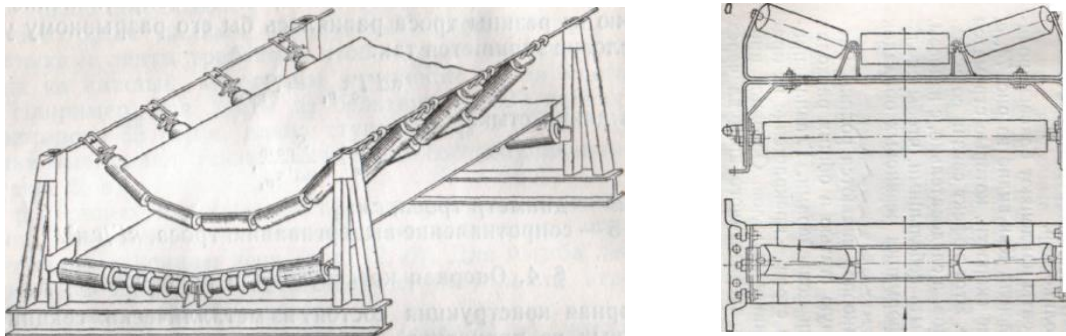


Рис. 2.14 Канатний став

**Переваги канатних ставів:**

- 1) Зниження ударного навантаження на стрічку і роликоопори;
- 2) Плавність та безшумність руху стрічки;
- 3) Збільшення строку служби стрічки за рахунок зменшення ударних навантажень;
- 4) Менша маса, в порівнянні з жорстким ставом;
- 5) Добра пристосованість до місцевості;

- б) Зручність монтажу-демонтажу;

#### 2.4.4. Приводи стрічкових конвеєрів

Привід стрічкового конвеєра складається з:

- Одного чи декількох ведучих барабанів;
- Редуктора;
- Двигуна;
- Пускових муфт;
- Обладнання для очищення стрічки;
- В похилих конвеєрах встановлюють колодкове гальмо з електромагнітом;
- В підземних конвеєрах для зручності розвантаження встановлюють виносний

барабан

**Розрізняють:**

- Однобарабанні;
- Двобарабанні;
- Багатобарабанні;

А також:

- Одновигунні;
- Двовигунні;
- Багатодвигунні;

Однобарабанний привід представлено рис. 2.15.

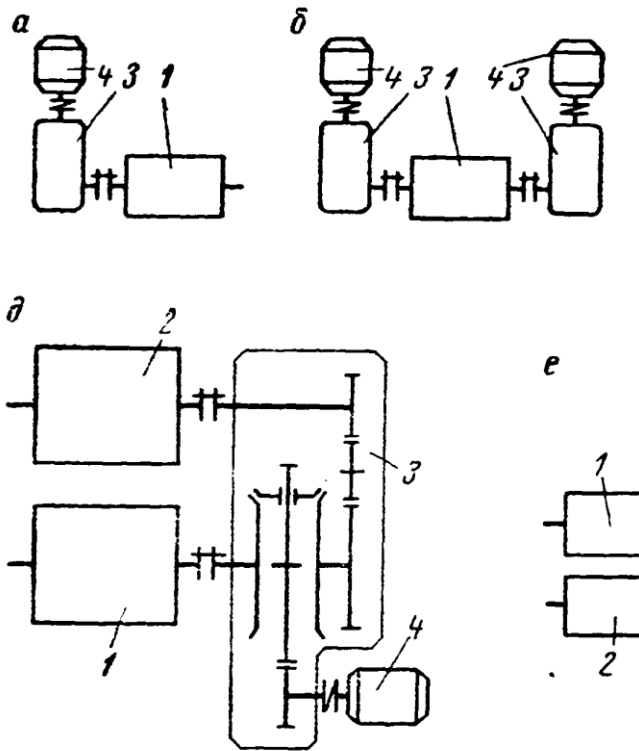


Рис.2.15. Приводи стрічкових конвеєрів

1 – Привідний барабан; 2 – Другий привідний барабан; 3 – Редуктор;  
4 - Електродвигун

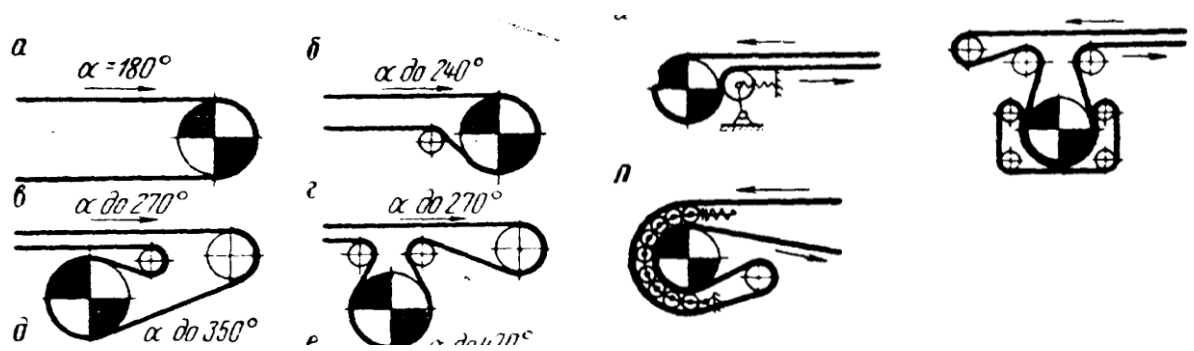


Рис. 2.16. Схеми збільшення кута обхвату стрічки

- 1- Барабан;
- 2- Стрічка;
- 3- Притискаючий ролик;

Особливість: стрічка обігає барабан неробочою поверхнею.

Кут обхвату стрічки  $\alpha = 180 - 270^\circ$

Переваги: більш стабільний коефіцієнт зчеплення, зменшення розмірів приводної станції.

### Двобарабанний привід.

Використовується для важких вантажів.

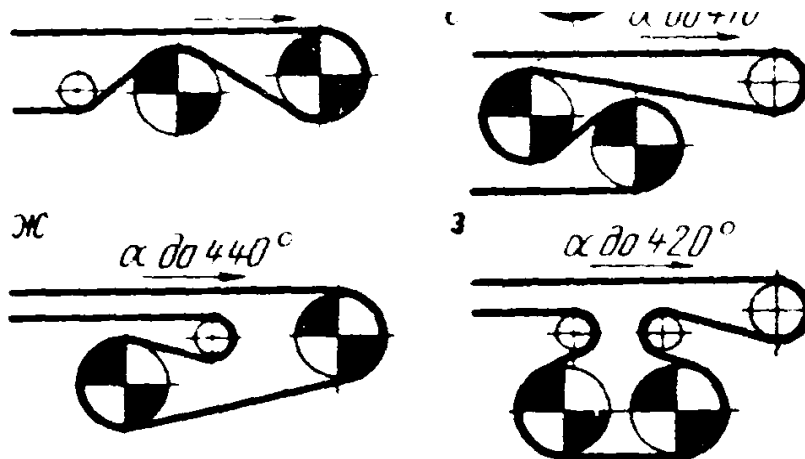


Рис. 2.17. Кути обхвату стрічки для важких вантажів

Для транспортування на великі відстані без перевантаження використовують багато двигунів приводи. Вони взаємодіють з вантажонесучою стрічкою по всій довжині конвеєра, зменшуючи натяг стрічки.

Для запобігання самостійного руху конвеєрної стрічки в низ при втраті кінематичного зв'язку останньої з приводом застосовують зупинники і уловлювачі.

### Однобарабанний привід

По с т а н о в к а завдання. Дано (рис. 2.18, а):  $\alpha$  - кут обхвату стрічки,  $f$  - коефіцієнт зчеплення стрічки з барабаном;  $F_{H-C}$  - тягове зусилля барабана. Визначити  $F_C$  - натяг за умови зчеплення стрічки з приводним барабаном.

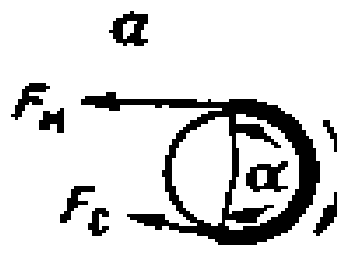


Рис. 2.18. Розрахункова схема по визначенню натягу стрічки

Якщо зробити допущення, що коефіцієнт тертя по дузі обхвату не змінюється, стрічка невагома й не має твердості, то залежність  $F_H$  від  $F_C$  можливо записати у вигляді рівняння Леонард Ейлера (1765р).

$$F_H = F_C \cdot e^{f\alpha}$$

Підставляючи в  $(F_{H-C} = F_H - F_C)$   $F_H$  из (7.8), отримаємо

$$F_C = \frac{F_{H-C}}{e^{f\alpha} - 1} \quad (7.9)$$

Вираз пов'язує необхідний натяг на межі зчеплення барабана і стрічки. Звісно нормальна робота конвейера повинна проходити з гарантованим запасом сили зчеплення. Тому вираз для натягу приймає наступний вигляд.

$$F_C = k_t \cdot \frac{F_{H-C}}{e^{f\alpha} - 1} \quad (7.10)$$

$k_t = 1,3—1,4$  — запас тягової здатності привода.

Для створення натягу  $F_C$  застосовують натяжні пристрої.

### Натяжні пристрої.

Натяжні станції призначені для компенсації подовження стрічки і створення постійного натягу.

Натяжні станції поділять на нерегульовані (тверді), регульовані (автоматичні).

За типом привода натяжні станції ділять на **вантажні, механічні й гідравлічні**.

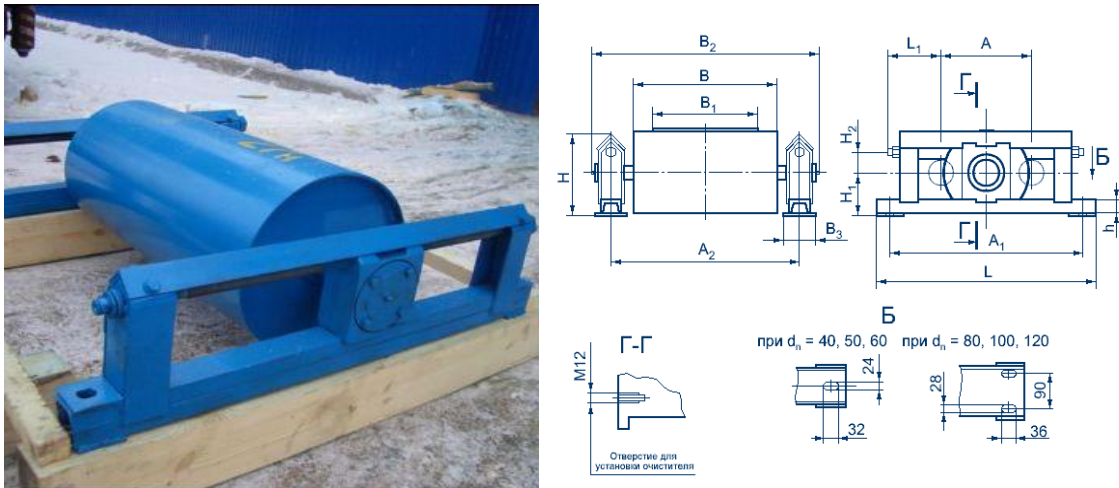


Рис.2.19. Натяжна станція

Встановлюють натяжні пристрої як правило в місті де натяг стрічки мінімальний. Як правило у хвостовій частині( у похилих конвеєрах). Існують конвеєра з кількома натяжними пристроями.



Зусилля для переміщення натяжного візка з барабаном виходячі з схеми.

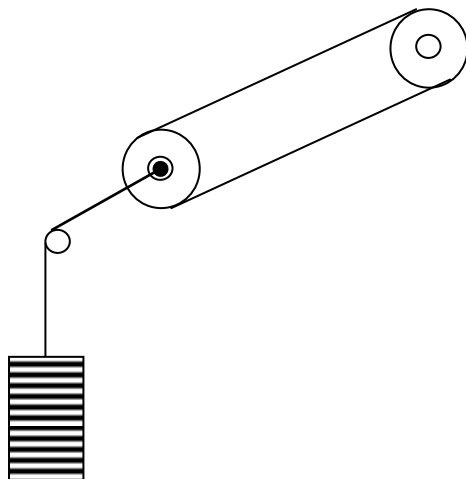


Рис. 2.20. Розрахункова схема стрічкового конвеєру

$$Q_{нат} = S_2 + S_3 + W_{віз}$$

$S_2, S_3$  - натяг верхньої і нижньої гілки

$W_{віз}$  - опір руху візка натяжного візка по направляючим.

Хід натяжного пристрою  $\Delta L_n$ :

$\Delta L_n = (0,02...0,04)L + 0,3$ , для Гумотканевих стрічок.

$\Delta L_n = 0,01L + L_{стик}$ , для Гумотросових стрічок

#### 2.4.5. Завантажувальні, розвантажувальні, натяжні та очисні пристрої.

##### Очисні пристрої

Використовують для очищення поверхні стрічки від налиплих частинок вантажу.

При недостатньому очищенні відбувається ряд негативних явищ:

1. Нестабільний рух стрічки
2. Збільшення зношення
3. Неправильний перерозподіл тягових зусиль між барабанами.

Очисні пристрої розподіляють на:

1. Скребкові
2. Щіточні
3. Вібраційні

4. Гідравлічні і пневматичні
5. Встановлення дискових роликів

Найбільш розповсюджені скребкові.

Малюнок

Опір скребкових очищувачів

$$W_{ск} = P_{ск} B, \text{ де}$$

$P_{ск}$  - питома зусилля притискання скребку до стрічки  $P_{ск} = 300 - 500 \frac{H}{M}$

$B$  - ширина стрічки

### **Завантажувальні пристрої**

Місце завантаження і розвантаження є одним з тих місць, де відбувається руйнація стрічки. (ролики покриті гумою, більш часте їх розташування, спеціальна конструкція завантажувальних пристроїв).

Вимоги до завантажувальних пристроїв:

1. Забезпечення необхідної продуктивності (дозування)
2. Запобігання руйнування стрічки від падаючих частин вантажу
3. Зменшення стирання стрічки шляхом

Для зниження енергії падаючих на стрічку частин вантажу використовують відбійники, колосники і гумові амортизатори

У зоні завантаження стрічки виникає додатковий опір руху, який складається з сил тертя вантажу по стінках воронки і інерційних сил вантажу:

$$W = \frac{K_{\delta} \Pi}{3,6} (V - V_{0x} + f_{cm} \sqrt{2gh}), \text{ де}$$

$K_{\delta}$  - коефіцієнт який враховує тертя вантажу по боковим стінкам воронки.

### **Розвантажувальні пристрої**

#### **Види розвантажень**

1. Розвантаження у зоні оголовку конвесра
2. Проміжне розвантаження (за допомогою плужкового пристрою, двохбарабні пристрої)

### Недоліки плужкових скидувачів:

8. Збільшений знос стрічки
9. Збільшений місцевий опір
10. Обмежують швидкість стрічки

Опір у зоні розвантаження плужкового скидувача:

$$W_n = k_c qB$$

$k_c$  - коефіцієнт опору

Опір на розвантаження за допомогою двохбарабаногорозвантажувача

Двохбарабанні розвантажувачі позбавлені цих недоліків, але більш складні і металоемні.

Опір на розвантаження за допомогою двохбарабаного розвантажувача:

$$W_{op} = (q + q_p)l\omega + qH + k_{o,\delta}S_{i-1}, \text{ де}$$

$l$  - довжина дуги провисання

$k_{o,\delta}$  - коефіцієнт обхвату барабанів стрічкою

### 2.4.6. Розрахунок стрічкового конвеєра

- Визначення ширини стрічки.

Основними параметрами стрічкових конвеєрів, як і інших типів конвеєрів, є продуктивність, ширина та швидкість руху стрічки, потужність двигуна. Головним параметром, який визначає продуктивність конвеєра є ширина стрічки.

Ширину стрічки визначають з продуктивності, яка зазвичай вже задана при проектуванні конвеєра.

$$P = 3600Av\rho, \text{ де}$$

$A$ - площа насипного вантажу,  $m^2$ ;

$v$ - швидкість руху стрічки,  $m/c$ ;

$\rho$  – насипна густина,  $kg/m^3$

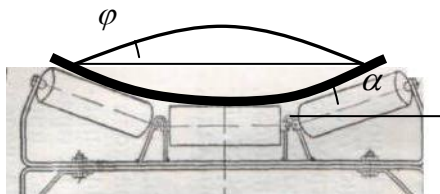


Рис.2.21.Розрахункова схема. Визначення ширини стрічки

$A$  – площа перетину вантажопотоку;

$\varphi$  – кут відкосу сипучого (насипного) вантажу;

$\alpha$  – кут нахилу бокових роликів (20-30 градусів);

$l$  – довжина середнього ролика;

$k_n$  – коефіцієнт продуктивності;

$b$  – емпіричний коефіцієнт:  $b = 0,9B - 0,05$ ;

$B$  – ширина стрічки;

В загальному вигляді площа записується:

$$A = k_n (0,9B - 0,05)^2 ;$$

Порівняємо значення  $A$  з попередньою формулою:

$$\frac{\Pi}{3,6v\rho} = k_n (0,9B - 0,05)^2$$

Звідки ширина стрічки:

$$B = 1,1 \left( \sqrt{\frac{\Pi}{k_n k_\beta v \rho}} + 0,05 \right), [м;]$$

$$k_\beta = [0,71 - 1]$$

$k_\beta$  коефіцієнт, що залежить від кута нахилу конвеєра (1-0,7).

$k_\beta = 1$ , якщо конвеєр горизонтальний

Для вантажів, які містять великі шматки, ширина стрічки повинна бути перевірена на кускуватість вантажу. Для вантажів, які містять максимальні шматки  $a_{\max}$  у кількості до 15 % від загальної маси, потрібно дотримуватись відношення:

$$B \geq (2,7 \dots 3,2) a_{\max}, \text{ де}$$

$a_{\max}$  – максимальний розмір кусків.

А для сортованих вантажів з переважним вмістом шматків габаритом  $a$  повинно враховуватись значення:

$$B \geq (3,3 - 4) a$$

### Розрахунок тягового зусилля

Розрахунок тягового зусилля проводять методом обходу по контуру:

$$S_i = S_{i-1} \pm W_{i-1,i}$$

$S_{i-1}$  - натяг в попередній точці.

$W_{i-1,i}$  - опір на відрізку між точками  $i-1$  та  $i$ .

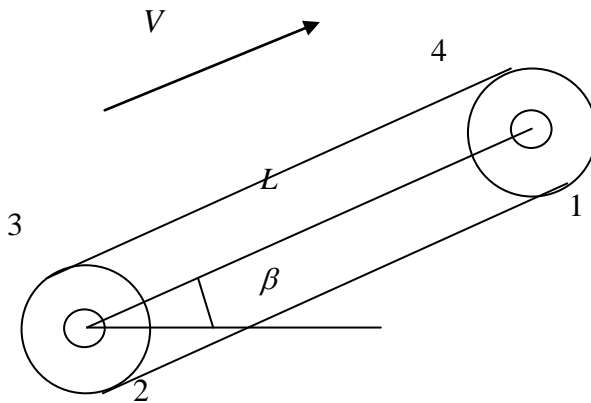


Рис. 2.22. Розрахунок тягового зусилля

Починаємо обхід з верхньої точки 1.

Зазначимо для себе, що  $S_4 = \frac{S_1 \cdot e^{f\alpha}}{k_{зан}}$ , це рівня буде використано нами для знаходження

тягового зусилля

$$S_2 = S_1 + W_{1-2}$$

Сила опору на холостій ділянці:

$$W_{1-2} = (q_0 + q'_p)L\omega \cos \beta - q_0 L \sin \beta$$

$q_0$  - погонна маса стрічки;

$q'_p$  - погонна маса обертаючих частин холостої гілки;

$L$  - довжина конвеєра;

$\omega$  - коефіцієнт опору руху стрічки по роликам.

$$S_3 = K_1 S_2;$$

$K_1$  - коефіцієнт опору руху, який виникає при русі стрічки по барабану;

Залежить від кута обхвату

--	--	--	--

	90	0	80
	.03	.04	.05

$$S_4 = S_3 + W_{3-4};$$

$$W_{3-4} = (q + q_0 + q_p'')L\alpha\cos\beta + (q_0 + q)L\sin\beta$$

$q$  - погонне навантаження конвеєра;

$q_p''$  - погонна маса обертаючих частин навантаженої гілки;

Після знаходження опору а останній ділянці необхідно вирішити рівняння відносно  $S_1$  і  $S_2$ .

Після можливо знайти необхідне тягове зусилля:

$$W_0 = S_4 - S_1 + (k-1)(S_1 + S_4)$$

$$N_{\text{двигуна}} = \frac{k_3 W_0 v}{10^3 \eta} - \text{потужність процесу}$$

### Динаміка стрічкових конвеєрів

Розглянемо два головних випадки пуску і гальмування конвеєра.

1- Випадок Крім статичних розглянутих раніше виникають інерційні складові опору руху.

$$W_{\text{max}} = W_{cm} + W_{\delta}$$

Примочу необхідно враховувати, що під час пуску коефіцієнт опору руху більше у 1.5 разів.

$$\omega_n = 1.5\omega$$

Статичний момент запуску приведений до валу двигуна:

$$M_{\delta} = \frac{W_{cm} D}{2i\eta}$$

Динамічні навантаження

$$M_{\delta} = I_{np} \frac{\omega}{\Delta t}$$

Потужність двигуна:

$$N' = (M_{cm} + M_{\delta})\omega$$

2 Випадок Процес гальмування.

Головний опір при гальмуванні виникають від дії інерційних сил.

$$W_z = W_d - W_{cm}$$

Гальмівний момент дорівнює

$$M_z = k \frac{W_z D}{2i} \eta$$

#### 2.4.7. Експлуатація стрічкового конвеєра

Мірами догляду за стрічкою й конвеєром у цілому:

- запобігання країв стрічки від зачіпання за нерухомі години стійки, брили корисної копалини й породи й ін.;
- запобігання влучення на стрічку масла;
- ретельне виконання разштибовки у всіх частинах конвеєра, зокрема під роликками, щоб уникнути їхньої зупинки;
- регулярне чищення й змащення підшипників роликків;
- очищення стрічки;
- очищення самого хвостового барабана;
- систематичне центрування ходу стрічки за допомогою натяжного пристрою й роликків;
- пуск стрічки у хід по можливості в ненавантаженому стані;
- регулярне змащення приводу й спостереження за станом футеровки барабанів і роликків.

*Рекомендована література: [3, 7]*

## Тема 2.5. Гвинтові конвеєри та транспортуючі труби

### План

- 2.5.1. Область використання гвинтових конвеєрів. Класифікація.
- 2.5.2. Конструкція гвинтового конвеєра
- 2.5.3. Розрахунок гвинтового конвеєра.
- 2.5.4. Область використання транспортуючих труб.
- 2.5.5. Конструкція транспортуючої труби.
- 2.5.6. Розрахунок транспортуючої труби.

### 2.5.1. Область використання гвинтових конвеєрів. Класифікація

Для транспортування сильно забруднюючих і пилоподібних матеріалів їх звичайно містять у труби, що запобігає забрудненню навколишнього середовища. До таких пристроїв відносять гвинтові конвеєри й транспортуючі труби.

У гвинтових конвеєрах транспортує вантаж переміщається валом із гвинтовими лопатами. За ДСТУ 23976-80\* передбачений наступний ряд діаметра гвинтів: 100, 120, 150, 200, 250, 300, 400, 500 й 600. Їх застосовують для переміщення сипучих і дрібнокускових матеріалів.

#### Переваги гвинтових конвеєрів:

1. Простота конструкції
2. Надійність у роботі
3. Герметичність
4. Невеликі габарити
5. Завантаження і розвантаження у будь-якому місці конвеєра

#### Недоліки

- Часткове подрібнення матеріалу
- Підвищені витрати енергії при транспортуванні внаслідок тертя вантажу по стінках жолобу і по гвинту.
- Відносно невелика продуктивність до  $100 \frac{m^3}{год}$
- Мала довжина транспортування на один привод до 75м

#### Класифікація:

За напрямком гвинта:



- Правий

- Лівий

За кількістю заходів гвинта :

- одно

- Двох

- Трох заходний гвинт

За кількістю гвинтів:

Одно гвинтові і двох гвинтові

За напрямком транспортування:

- Горизонтальні;

- Похилі

- Вертикальні.

За типом гвинта:

- Суцільній(для матеріалів які злежуються)

- Стрічковий

- Лопатевий (перемішування)

- Фасоні (активація)

## 2.5.2. Конструкція гвинтового конвеєра

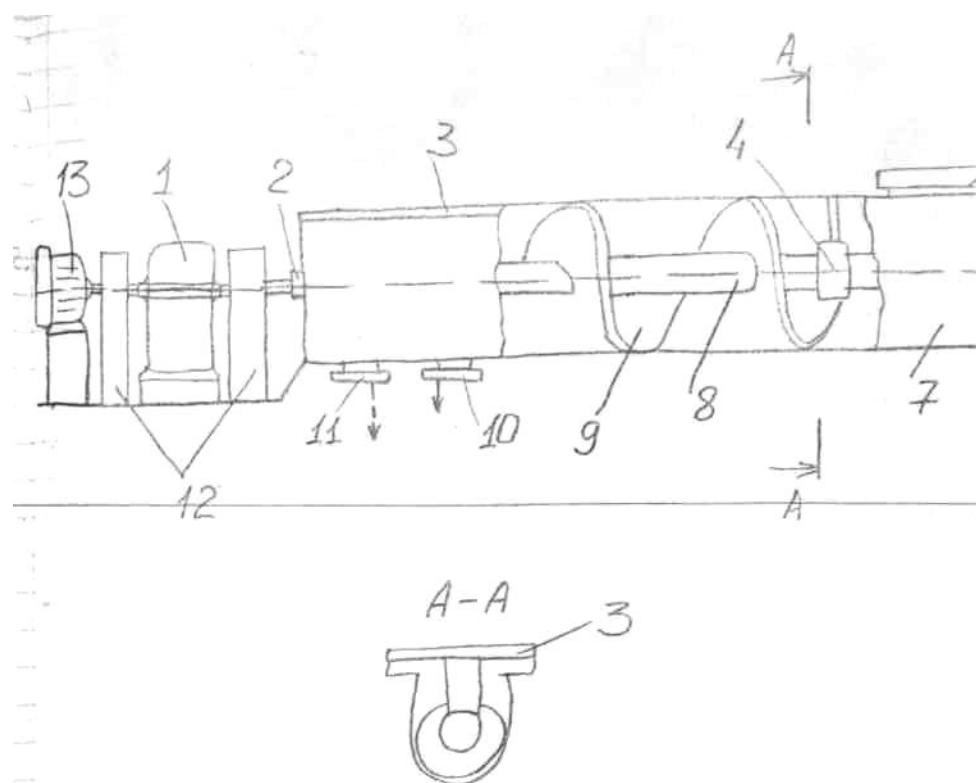


Рис. 2.23. Конструкція гвинтового конвеєру

- 1 - редуктор
- 2, 6 – передній і задній підшипник
- 3 – кришка
- 4 – проміжний підшипник
- 5 - Патрубок для завантаження
- 7 – жолоб
- 8 – вал
- 9 - гвинт
- 10 - проміжній
- 11 – кінцевий люк
- 12 – пружна і урівноважуючи муфти

### 2.5.3. Розрахунок гвинтового конвеєра

Продуктивність

$$Q = 60 \frac{\pi D^2}{4} sn \rho \rho c_\beta$$

Потужність визначається з емпіричної формули:

$$N = \frac{QL}{367} (\omega \pm \sin \beta)$$

### 2.5.4. Транспортуючі труби

Для транспортування гарячих матеріалів, а також матеріалів, що виділяють шкідливі пари, застосовують Транспортуючі труби (рис. 2.24). На внутрішній стінці труби великого діаметра розташована спіраль 2. При обертанні труби, установленної на роликах 3, матеріал 4 за один оборот труби переміщається на крок спіralи. Тому що при обертанні труби матеріал увесь час переміщається й кришиться, то застосування транспортуючих труб обмежено, наприклад, у цементній промисловості для випалу клінкера й ін.

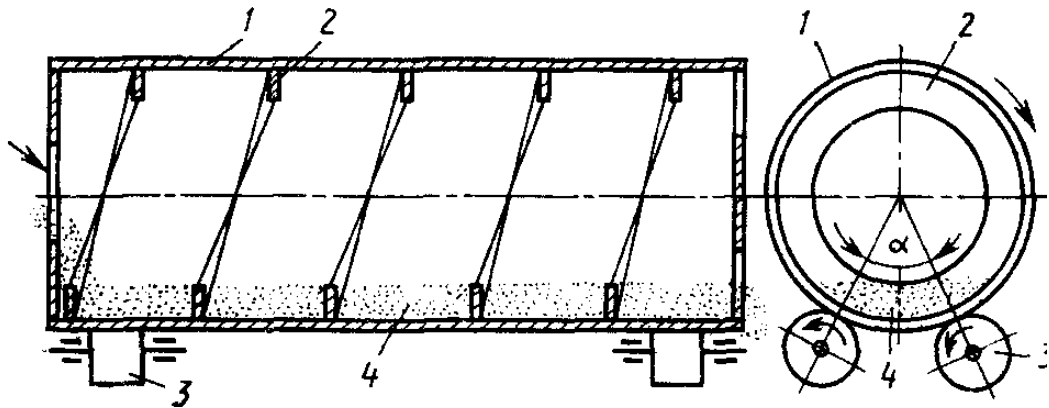


Рис.2.24. Транспортуюча труба

Привід рисунок.

Труба має таку частоту обертання, при якій вантаж не захоплювався б відцентровою силою в обертання разом із трубою. Частота обертання (об/хв), при якій рух вантажу уздовж труби припиняється, називається критичної:

$$n_{\max} = \frac{42,3}{\sqrt{D}}$$

Робочу частоту обертання приймають рівною 50-60% від максимальної частоти.

Продуктивність труби:

$$Q = \frac{60\pi D^2}{4} sn \rho k_n$$

Де  $s = 0,5D$

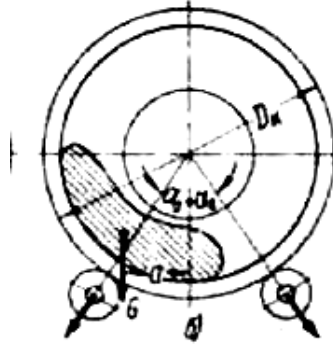


Рис. 2.25. Транспортуюча труба з вантажем

Момент необхідний для обертання труби:

$$M = Ga + 2P \frac{2k + fd}{D_{np}} \cdot \frac{D_k}{2}$$

Потужність двигуна

$$N = \frac{M\omega}{\eta i}$$

## Розділ 3

### Шахтні підйомні установки

#### Тема 3.1. Шахтні підйомні установки

##### План

- 3.1.1. Призначення підйомних установок;
- 3.1.2. Класифікація підйомних установок;
- 3.1.3. Конструкція підйомних установок;
- 3.1.4. Підйомні посудини підйомних установок;
- 3.1.5. Підйомні канати
- 3.1.6. Підйомні машини

##### 3.1.1. Призначення підйомних установок

Підйомні установки призначені для видачі на поверхню корисних копалин і породи, швидкого й безпечного спуску й підйому людей, транспортування кріпильного лісу, гірничошахтного устаткування і матеріалів. За допомогою підйомної установки виробляються також огляд і ремонт армування й кріплення ствола шахти.

На великих шахтах, як правило, є дві - три діючі підйомні установки, і кожна з них призначена для певних цілей (видачі вугілля, спуску-підйому людей, видачі породи й т.д.), і не є резервом іншої. Від надійної, безперебійної й продуктивної роботи шахтного підйому залежить ритмічна робота всієї шахти в цілому, тому до підйомних установок (із усього комплексу електромеханічного встаткування шахти) висувають особливі вимоги відносно надійності й безпеки роботи.

Підйомні машини є найбільш потужними із усього стаціонарного встаткування на шахті. Потужність електропривода підйомної машини досягає 1000 кВт, а великих - 2000 кВт і вище. Електропривод підйомних установок споживає до 40% всієї електроенергії, що витрачається шахтою.

Швидкість руху підйомних посудин у стовбурі досягає 15 - 20 м/сек (54 - 72 км/год), тобто близька до швидкості руху поїздів. Швидкість розвивається на коротких відстанях (рівних довжині шахтного стовбура), тому підйомні машини повинні мати надійне керування й безвідмовно діючі гальмові пристрої.

### 3.1.2. Класифікація підйомних установок

Загальний пристрій основного встаткування підйомних установок і конструкція вхідних у її склад елементів досить різноманітні, що визначається в першу чергу розмаїтістю гірничо-технічних умов, у яких функціонують підйомні установки, а також різноманітням конкретних функцій, які на них покладають.

Основними ознаками, за якими класифікують канатні підйомні установки, є:

- Призначення підйомної установки:

а) головні або вантажні служать для підйому корисних копалин на шахтах або обслуговують основні вантажопотоки на кар'єрах;

б) допоміжні (людські й вантажно-людські), служать для підйому й спуску людей, матеріалів і встаткування, а також для підйому із шахти супутніх гірських порід;

в) тимчасові або прохідницькі, які використовуються тільки на період будівництва шахтного стовбура.

- Розташування щодо земної поверхні:

а) підземні, розташовувані в шахтних стовбурах;

б) відкриті, розташовувані, як правило, на неробочих бортах кар'єрів.

Кут нахилу траси підйомника:

а) вертикальні, які мають переважне застосування при підземній розробці родовищ і розміщаються у вертикальних шахтних стовбурах;

б) похилі, розташовувані на бортах кар'єрів або в похилих шахтних стовбурах.

- Тип підйомної посудини:

а) клітьові;

б) скіпові;

в) бадьові.

### 3.1.3. Конструкція підйомних установок

При клітьовому підйомі вантажно-розвантажувальні операції полягають у простому обміні навантажених і порожніх транспортних посудин (вагонеток) на перевантажувальних пунктах.

При скіповому підйомі перевантаження гірської маси із засобів навколозабійного транспорту в скіпи виконується, як правило, за посередництвом бункерів, так само, як і розвантаження скіпів на поверхні. Використання перевантажувальних бункерів досить великої місткості забезпечує відносну незалежність роботи канатного підйому у взаємодії з іншими ланками транспортного комплексу. Однак при цьому має місце збільшення загальної висоти підйому, а також необхідні додаткові капітальні витрати, пов'язані зі спорудженням бункерів.

Бадді як підйомні посудини використовуються тільки на прохідницьких підйомних установках при будівництві шахтних стовбурів.

- Кількість підйомних посудин, що приводять у рух однією підйомною машиною. За цією ознакою підйомні установки можна підрозділити на три типи:

- а) двохпосудні, які припускають надавання руху одночасно двох ємкостей однією підйомною машиною (навантажена ємкість піднімається, порожня у цей же час опускається);
- б) однопосудні без противаги, коли підйомна машина здійснює рух однієї гілки каната із приєднаною до нього ємкістю (рис. 3.1, а);
- в) однопосудні з противагою, у яких до кінця однієї із двох гілок канатів замість ємкості підвішується противага (рис. 3.1, б).

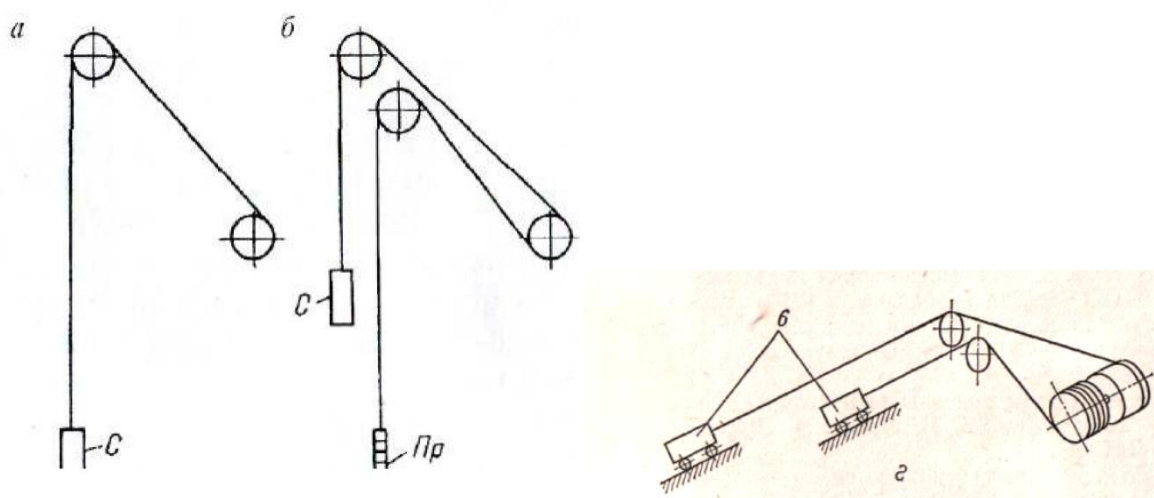


Рис. 3.1. Схеми підйомних установок: а - однопосудної; б – двохпосудної із противагою

- Тип органів навивки підйомної машини. За цією ознакою, що відбиває спосіб передачі рушійного зусилля канату, підйомні установки підрозділяються на два класи:

- а) барабанні, для яких характерна твердий зв'язок між канатом і намотуючим органом (барабаном);
- б) зі шківми тертя, коли канат обгинає канатоведучий орган і не пов'язаний з ним жорстко, а приводиться в рух за допомогою сил тертя між поверхнею шківа й поверхнею притиснутого до шківа каната.

- Залежно від форми навивочної поверхні барабани можуть бути:

- а) постійного радіуса навивки (циліндричні барабани);
- б) змінного радіуса (подвійні конічні й бициліндроконічні). У свою чергу, шківни тертя підрозділяють на одноканатні й багатоканатні. В останньому випадку підйомна посудина підвішується до комплекту з не-скільки канатів, що приводять у рух одним багатоканатним шківом тертя (рис. 3.2).

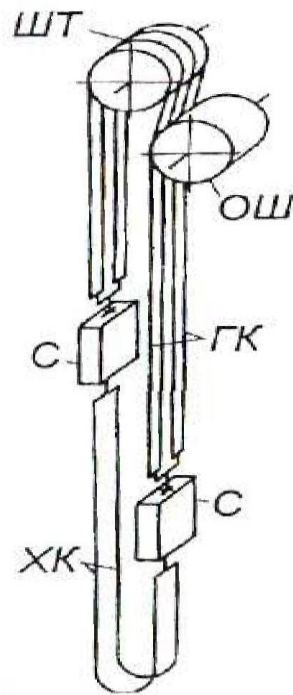


Рис. 3.2. Схема багатоканатної підйомної установки

- Ступінь урівноваженості на валу підйомної машини навантажень, обумовлених масою елементів підйомної системи. За цією ознакою розрізняють підйомні установки трьох типів:

а) статично невірноважені, або просто невірноважені, коли на валу підйомної машини виникає додаткове навантаження, обумовлене невірноваженими силами власної ваги гілок головних канатів;

б) статично врівноважені, у яких зазначена вище додаткове навантаження знімається за рахунок застосування хвостового каната, що приєднує до днищ підйомних посудин, або за допомогою використання барабанів змінного радіуса;

в) динамічно врівноважені, у яких крутний момент на валу підйомної машини, залишається постійним на будь-якому етапі підйому.



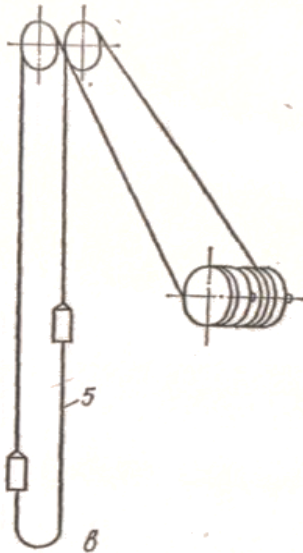


Рис.3.3. Схема підйомної установки

Динамічне зрівноважування як спосіб вирівнювання навантажень на валу підйомної машини й на поверхні намотувальних органів уперше був запропонований і досліджений академіком **М.М. Федоровим**. У результаті згаданих досліджень були розроблені теоретичні основи гармонійного підйому, суть якого зводиться до нижченаведеного. Пропонується у двопосудній підйомній системі використати так званий важкий хвостовий канат, тобто такий канат, лінійна маса якого істотно вище, ніж у головного тягового каната. При наявності такого хвостового каната, якщо відповідним чином підібрати синусоїдальний закон зміни швидкості за цикл підйому, можна забезпечити сталість розрахункового тягового зусилля на поверхні намотуючого органа протягом всієї тривалості підйому посудини із шахти на поверхню.

За висотою підйому :

- а) малої глибини до 300м;
- б) середньої глибини від 300 до 800м;
- в) глибокі від 800 до 1600м;
- г) надглибокі більше 1600м.

Конструкція підйомних установок

Підйомна установка складається з підйомного встаткування й гірничотехнічних споруджень.

До підйомного встаткування ставляться: підйомні машини, підйомні посудини й канати, розвантажувальні й завантажувальні пристрої й ін.

До гірничотехнічних споруджень відносяться:

- 1) спорудження, розташовані навколоствольному дворі (завантажувальні бункера і камера для перекидача при скіповому підйомі або приймальна площадка при клітьовому підйомі);

2) стовбур шахти, обладнаний напрямними провідниками для клітей і скіпів при вертикальному підйомі й рейкових шляхах для вагонеток і скіпів при похилому підйомі;

3) надшахтні спорудження, що складаються з копра й прийомного бункера для розвантаження підйомних посудин; при встаткуванні підйому неперекидними клітьями замість прийомного бункера споруджується надшахтний будинок із прийомними площадками й відкаточними шляхами.

На рис. 3.4 показані схеми підйомних установок для вертикальних стовбурів.

Над стовбуром шахти встановлюється надшахтний копер 1, на верхній площадці якого укріплені два напрямних (копрових) шківів 2. Підйом і спуск клітей 3 (рис. 3.4, а) і скіпів 4 (рис. 3.4, б) виробляється підйомною машиною 5, що перебуває в окремому будинку 6, розташованому на відстані 20 - 40 м від копра. Підйомні канати 7 перекинуті через напрямні шківів й одним кінцем прикріплені до барабана підйомної машини, а іншим - до шахтної кліті або скіпа.

При обертанні барабана підйомної машини один канат навивається на нього, піднімаючи кліть із шахти, а іншої звивається, опускаючи другу кліть у шахту. Підйомні посудини одночасно завантажуються в шахті й розвантажуються на поверхні на спеціальних прийомних площадках.

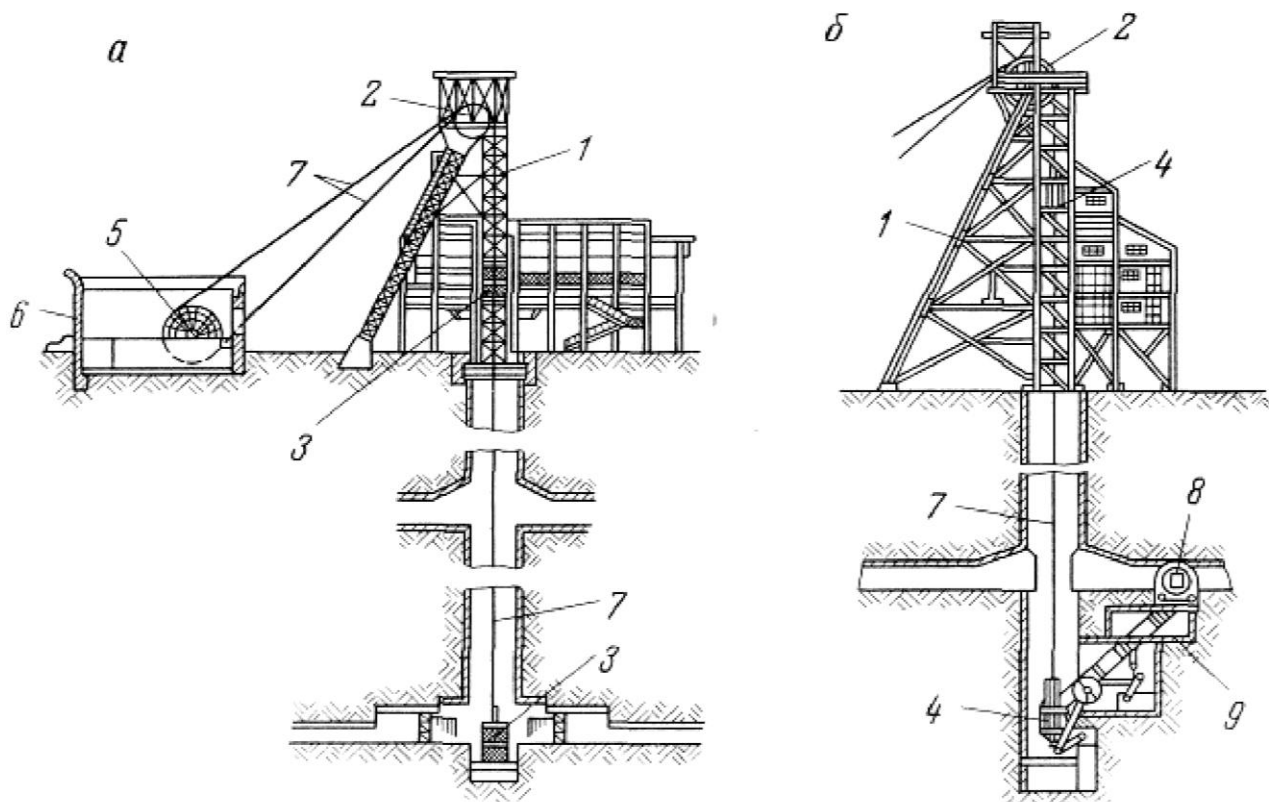


Рис. 3.4. Схеми підйомних установок для вертикальних стовбурів:

а - клітьової; б - скіпової; 1 - надшахтний копер; 2 - копрові шківів;

3 - кліть; 4 - скіп; 5 - підйомна машина; 6 - будинок підйомної машини;

7 - підйомні канати; 8 - опрокид; 9 - завантажувальний пристрій

У підйомних установках, обладнаних неперекидними клітьми, навантажені вагонетки на нижній прийомній площадці вкочуються в кліть, виштовхуючи з її порожні вагонетки, і піднімаються по стовбурі до верхньої прийомної площадки в надшахтному будинку, де навантажені вагонетки викочуються із кліті, а порожні вагонетки вкочуються в неї. Потім процес обміну вагонеток на прийомних площадках повторюється.

У підйомних установках, обладнаних скіпами, навантажені вагонетки розвантажуються в навколоствольному дворі за допомогою перекидача 8 у завантажувальний пристрій 9, звідки вугілля завантажується в скіпи. Потім скіпи піднімаються по стовбурі на поверхню й у надшахтному будинку автоматично розвантажуються в розвантажувальний пристрій. Скіпи так само, як і кліті, рухаються в стовбурі по напрямних провідниках.

Навколоствольні спорудження похилої скіпової підйомної установки складаються з камери перекидача й завантажувального бункера із затвором. Скіпи рухаються по похилому стовбурі, а на поверхні - по естакаді або верстаті копра. На поверхні скіп входить у розвантажувальні криві й розвантажується в прийомний бункер. Опорою похилої естакади служить металева ферма з укріпленими на ній напрямними шківками. Підйомна машина перебуває в окремому будинку.

### 3.1.4. Підйомні посудини підйомних установок.

В залежності від типу вантажу підйомні посудини поділяють на наступні види:

1. Для насипних вантажів:
  - Скіпи;
  - Вантажні вагонетки;
2. Для штучних вантажів і людей:
  - Шахтні кліті;
  - Ліфти;
  - Пасажирські вагонетки;

**Скіпи вертикальних підйомників** представляють собою призматичні посудини, які завантажуються зверху і розвантажуються в залежності від їх конструкції крізь верх (перевертаються), бокову стінку (з нерухомим кузовом, з кузовом, який відхиляється).

Кліті і скіпи вертикальних шахт мають направляючі башмаки або ходові ролики, які пересуваються по вертикальним провідникам у вигляді рейок або канатів, які забезпечують прямолінійний рух посудин.

Для похилих стволів рух посудин відбувається на колесах по рейкам. В основному, використовуються скіпи з нерухомим кузовом і розвантажуванням через отвір в передній або

задній стінках. В шахтних скіпах використовуються секторні затвори. Вантажопідйомність скіпів по вугіллю в тоннах складає від 4.5 до 50 тон.

Сучасні шахтні кліті виготовляються одноповерховими і двоповерховими з розміщенням однієї вагонетки на поверсі. Вантажопідйомність вагонетки становить 1,2,3 тони при транспортуванні вугілля і до 10 тон при транспортуванні руди.

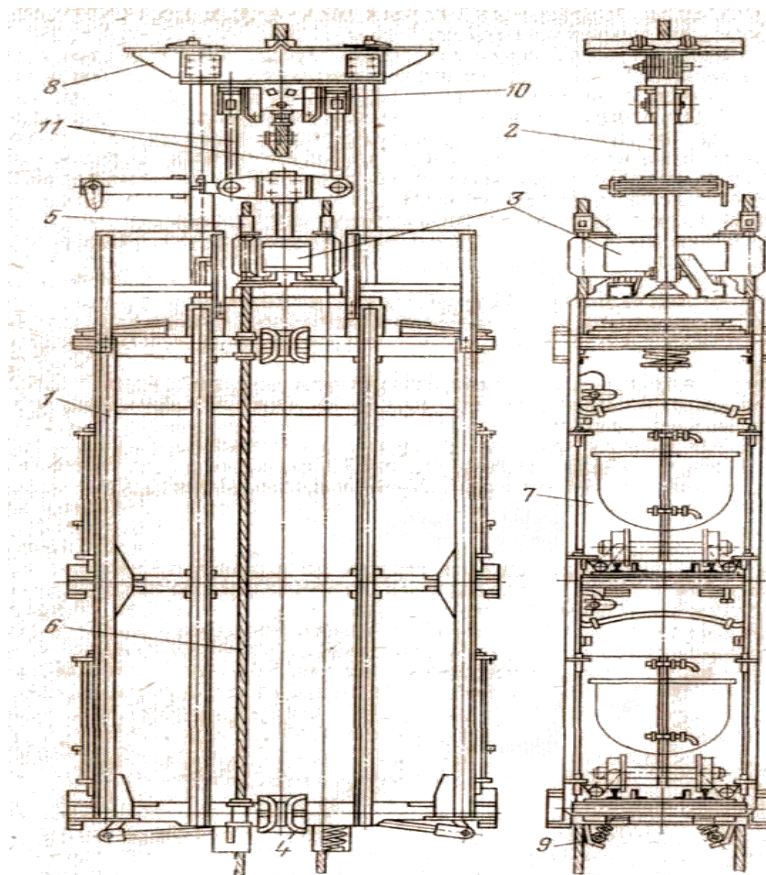


Рис. 3.5 Двоповерхова кліть

1 – каркас; 2 – підвісний пристрій; 3 – парашут-уловлювач; 4 – направляючий пристрій, 5 – муфти; 6 – гальмівні канати; 7 – двері; 8 – зонт; 9 – амортизатори.

При обриві головного каната відбувається гальмування кліті парашутами.

Для зменшення динамічних навантажень при гальмуванні використовують амортизуючі канати.

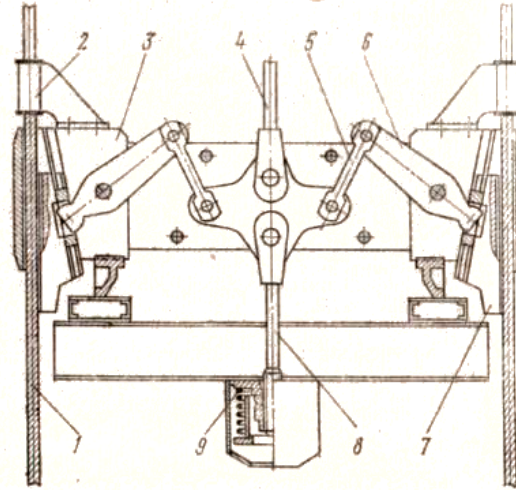


Рис 3.6. Схема уловлювача парашута:

1 - гальмовий канат; 2 - напрямна втулка; 3 - корпус уловлювача; 4 - шток робочої підвіски; 5 - качана; 6 - важіль; 7 - клин; 8 - шток приводу; 9 - приводна пружина

### 3.1.5. Підйомні канати

Підйомні канати - найбільш відповідальні елементи підйомних установок. Вони виготовляються зі сталевих дротів діаметром від 0,5 до 4,0 мм і тимчасовим опором розриву  $\sigma_{\text{гв}} - 1,4^{\wedge} - 2,2$  Гпа. Канат має сердечник і органічний матеріал або м'яка сталь, навколо яких по гвинтовій лінії звиваються дроти (канат одинарної звивки), сталки із дротів (канат подвійний звивки) або стренги (канат потрійної звивки). Сталка - це канат одинарної звивки, але з металевими сердечником, стренги - це пасма подвійний звивки. Канати мають різноманітну конструкцію й відрізняються характером звивки, формою перетину каната й сталок, формою перетину дротів, що входять у канат, і іншими ознаками. Нижче приведемо класифікацію за ознаками, що має важливе значення для підйомних канатів.

За формою перетину пасом канати розрізняють на круглопрядні (рис. 3.6, а й б) і фасонні. Останні канати мають трикутне (рис. 3.6, г), овальний, плоский і інший перетини пасом і називаються відповідно трьохграннопрядними, овальнопрядними, плоскопрядними й т.д. У порівнянні із круглопрядними канатами фасонні характеризуються більшим наповненням перетину каната дротами, кращим приляганням до об'єду навивки підйомної машини й, отже, меншим питомим тиском, але вони складніше у виготовленні.

За формою перетину розрізняють канати круглі (рис. 3.7, а, б, в, г) і плоскі (рис. 3.7, д) Перші застосовуються в якості підйомних, амортизаційних, гальмових і провідникових, другі - як урівноважують.

За конструкцією розрізняють канати із крапковим (ТК), лінійним (ЛК) і точечно-лінійним торканнями (ТЛК).

Тут і далі в дужках даються позначення канатів, прийняті в ДСТ і технічних умовах на канати. Крапкове торкання має місце при різному кроці звивки дротів у кожному шарі пасма, коли дроти перехрещуються, а лінійне торкання, коли всі шари звиті з однаковим кроком. Канати з лінійним торканням мають більші терміни служби (на 30-40%) у порівнянні з канатами, що мають крапкове торкання дротів.

Канати з лінійним торканням можуть мати дроту в кожному шарі однакового діаметра, але різного діаметра в різних шарах (ЛК-О), різного діаметра в частині шарів (ЛК-РО), у зовнішньому шарі (ПК-Р) і дроту заповнення між шарами (ЛК-З).

По сполученню напрямків звивки дротів у пасмі й пасом розрізняють канати однобічної (правої або лівої), хрестової (напрямок звивки дротів і пасом зустрічне) і комбінованої звивок. Канати однобічної звивки завдяки збігу напрямків звивки мають схильність до розкручування, але мають більший контакт із жолобом органа навивки й меншу изгибную твердість у порівнянні з канатами хрестової звивки.

По здатності саморозкручування канати розрізняють: що розкручуються (Р), що не розкручуються (Н) і малокрутящиеся (МК).

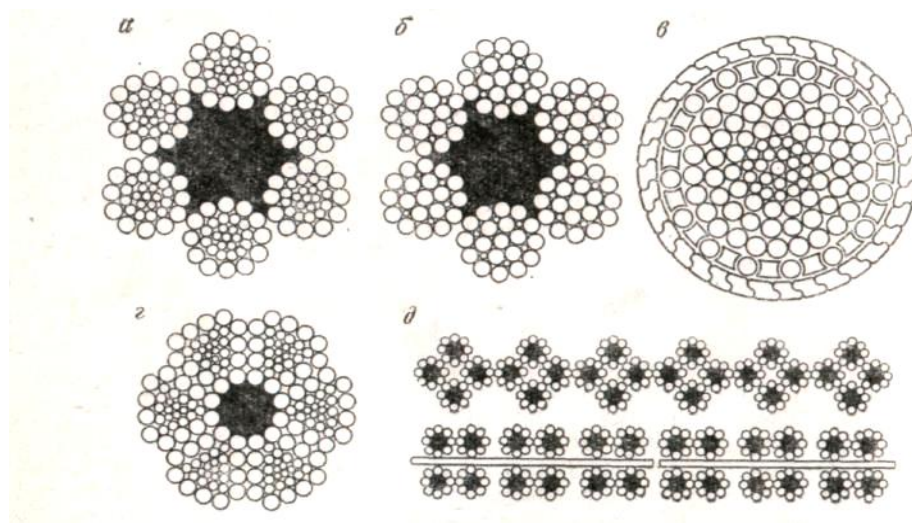


Рис. 3.7 Перетин канатів:

круглопрядних про дротами різного (а) і однакового (б) діаметрів, закритого (в), трьохграннопрядного (а) і плоских (д)

Для різних видів підйому рекомендовано використовувати наступні види канатів:

- а) Для шахт малої глибини(до 600) ЛК і ТКЛ.
- б) Для шахт більше 600м – ЛК-О;ЛК-РО.
- в) Для похилих шахт –ЛК - О

Головні причини виходу канату з ладу:

- Неправильний вибір конструкції канату;
- Неправильний вибір матеріалу направляючих блоків;
- Абразивний знос;
- Нерегулярне або неякісне змащування;
- Перевантаження;
- Перегини;
- Нагрів канату;

### Розрахунок і вибір піднімального каната

Піднімальний канат розраховується по статистичній напрузі. Дія інших навантажень урахується прийнятим за правилами безпеки (ПБ) запасом міцності каната (рис. 3.8).

Статистична напруга піднімального каната складається з ваги кліті з навантаженою вагонеткою й причіпним пристроєм (або ваги скіпа) і маси каната довжиною від копрового шківів до піднімальної посудини, що перебуває на прийомній площі нижнього обрію.

Статистичне навантаження на піднімальний канат у верхньому перетині в копровому шківі дорівнює:

$$Q_n + Q_m + p H_k = \frac{\sigma_B}{m} S_k, \quad (2.4)$$

де  $Q_n$  і  $Q_m$  – маса, яка піднімається за один раз відповідно корисного й мертвого вантажів, кг;  $p$  – маса одного погонного метра піднімального каната, кг;  $H_k$  – відстань від нижньої прийомної площадки до осі верхнього копрового шківів, м;  $m$  – запас міцності піднімального каната, прийнята за ПБ;  $S_k$  – площа поперечного перерізу дротів каната,  $\text{см}^2$ ;  $\sigma_a$  – розрахункова межа міцності каната при розтягненні  $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

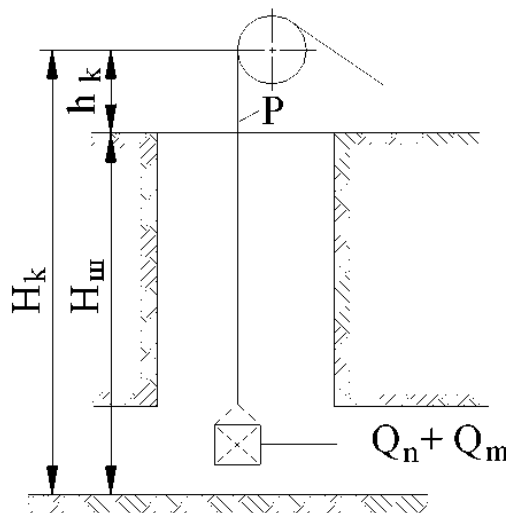


Рис. 3.8. Розрахунок піднімального каната для вертикальної шахти

Лінійна маса каната

$$p = S_e \rho \beta$$

де  $\rho$  - щільність сталі, з якої виготовлений канат,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\beta$  - коефіцієнт завивки, що залежить від конструкції пасом і каната. Відповідно

$$S_k = \frac{P}{\rho_0} \quad (2.6)$$

де  $\rho_0 = \rho \beta$  - умовна щільність каната:

- для круглосталкові канатів подвійної завивки -  $9400 \text{ кг/м}^3$ ;
- для трьохгранносталкові -  $9200 \text{ кг/м}^3$ .

На підставі виражень (2.4), (2.6) визначаємо лінійну масу каната:

$$p = \frac{Q_k}{\frac{\sigma}{m\rho_0} - H_k}$$

де  $Q_k = Q_n + Q_m$  - кінцеве навантаження на канат,  $\text{кг}$ ;  $\sigma_{\hat{A}}$  - тимчасовий опір розриву дротів зі сталі, з якої виготовляє канат,  $\text{Н/м}^2$ ;  $m$  - запас міцності каната по ПБ;  $\rho_0$  - умовна щільність каната.

Для клітьового підйому  $H_k = H_{ш} + h_k$ ,

де  $h_k$  - висота копра;

Для скіпового підйому  $H_k = H_{ш} + h_k + h_{заг}$ , де  $h_{заг}$  - висота опускання скіпа нижче навколоствольного двору під завантаження.

По розрахунковому  $P$  з табл. вибирається тип каната, що перевіряємо по фактичному запасі міцності:

$$m_p = \frac{Q_{раз}}{Q_n + Q_m + p H_k} \geq m_s$$

де  $Q_{раз}$  - сумарне розривне зусилля всіх дротів у канаті,  $\text{кг}$ ;  $m_p$  - розрахунковий запас міцності.

### 3.1.6. Підйомні машини

Як було вище зазначено підйомні машини розділяються за принципом на два класи:

а) барабанні, для яких характерна твердий зв'язок між канатом і намотуючим органом (барабаном);

б) зі шківми тертя, коли канат обгинає канатоведучий орган і не пов'язаний з ним жорстко, а приводиться в рух за допомогою сил тертя між поверхнею шківа й поверхнею притиснутого до шківа каната.



Барабанні бувають з постійним радіусом навивки(циліндричні барабани) і змінним радіусом (конічні, біциліндроконічними, циліндроконічними)

*Шахтні піднімальні машини із циліндричними барабанами.* Для шахт вугільної й рудної промисловості в СРСР заводами ім. ЛКСМУ (м. Донецьк) і НКМЗ ім. Леніна (м. Краматорськ) випускаються стандартні піднімальні машини із циліндричними барабанами. Стандартизації піддалися основні параметри барабанів (діаметр і довжина), передатні відносини редукторів, величини максимального натягу каната й різниця статичних натягів канатів.

У стандартах передбачені єдині індекси для позначення піднімальних машин:

Ц - циліндричні однобарабанні;

ЦР - циліндричні однобарабанні з розрізним барабаном;

2Ц - циліндричні двохбарабанні.

Шахтні піднімальні машини із циліндричними барабанами розділяються на дві групи:

1. Малі піднімальні машини з діаметром барабанів від 1,2 до 3,5 м (ДЕРЖСТАНДАРТ 18 114-72).

2. Великі піднімальні машини з діаметром барабанів від 4 до 6 м (ДЕРЖСТАНДАРТ 18 115—72).

Малі піднімальні машини призначені для установки як на поверхні й закритому приміщенні, так і в підземних камерах з температурою повітря від 5-35°C, що враховано в конструкціях цих машин і їх електрообладнання.

Крупні підйомні машини призначені тільки для встановлення на поверхні в закритому приміщенні.

Циліндричні однобарабанні ПМ обслуговують одно кінцевий або двох кінцевий підйом вертикальних або похилих шахт

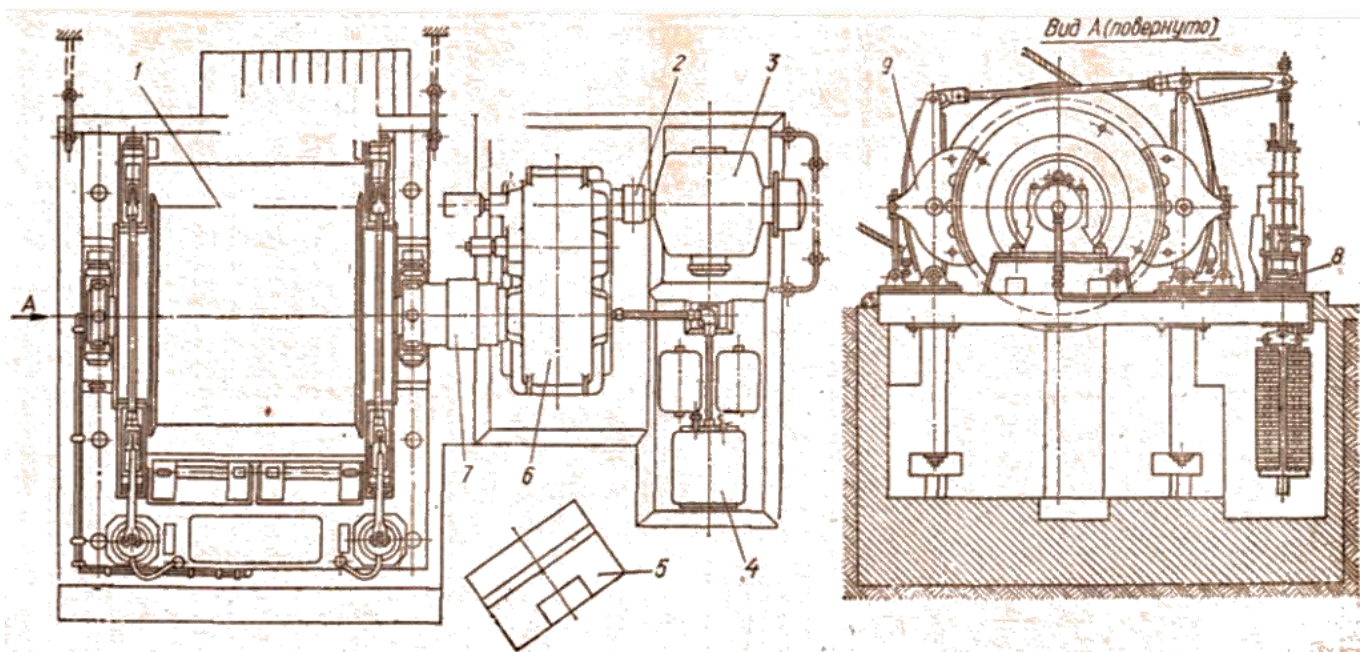


Рис. 3.9. Загальний вид однобарабанної піднімальної машини типу Ц

1-барaban; 2 – муфта; 3 – електродвигун; 4 – апарат завдання ы контролю ходу; 5 – пульт; 6 – редуктор; 7 – зубчаста муфта; 8 – пружино-гальмівний

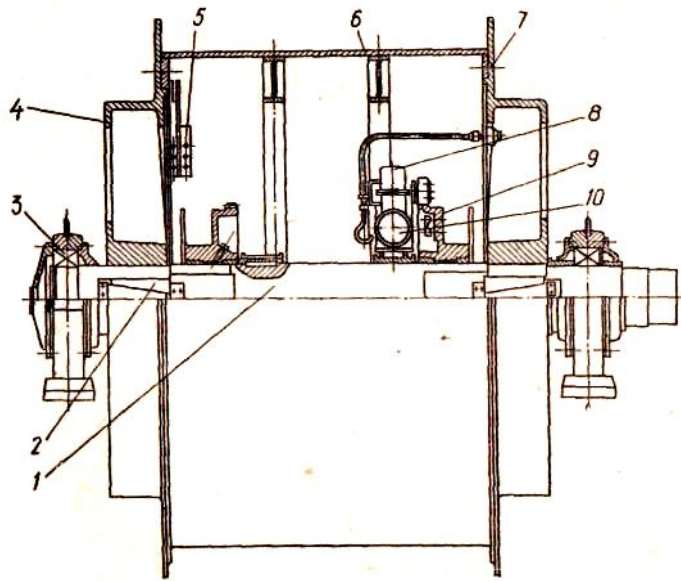


Рис. 3.10 Корінна частина підйомної машини типа Ц

1 – головний вал ; 2 – шпонки; 3 – сферичні підшипники; 4 – гальмівні шківни; 5- прими каната; 6 – оболонка барабана; 7 – болти ; 8 – редуктор; 9 – бабина; 10 – електродвигун;

Діаметр барабану 1.2-3.5м; зусилля від 25-200кН; швидкість підйому 3- 10 м/с;

Переваги:

- Компактність;
- Менша маса і габарити;

Недоліки:

- Неможливо обслуговувати декілька горизонтів;
- Ускладнена зміна довжини канату.

*Двохбарабанні піднімальні машини (2Ц)* призначені для обслуговування двохкінцевого підйому вертикальних або похилих шахт. Вони мають у порівнянні з однобарабанними більшу канатоємність. Ці піднімальні машини дозволяють робити підйом вантажів з декількох горизонтів.

Конструктивні відмінності цих піднімальних машин від однобарабанних полягають у тім, що один барабан (заклинений) 1 жорстко закріплений на корінному валу 5, а іншої (переставний) 2 з'єднується з валом за допомогою рас-ланцюгового пристрою (механізму перестановки) 4. Оболонка й лобовини барабанів виготовляються з листової сталі й з'єднуються між собою зварюванням. Лобовини прикріплюються болтами до литих маточин. Із чотирьох маточин обох барабанів тільки одна маточина заклиненого барабана має пресову посадку, а інші насаджені на вал вільно. Оболонки барабанів мають нарізку канавок для витків піднімального каната.

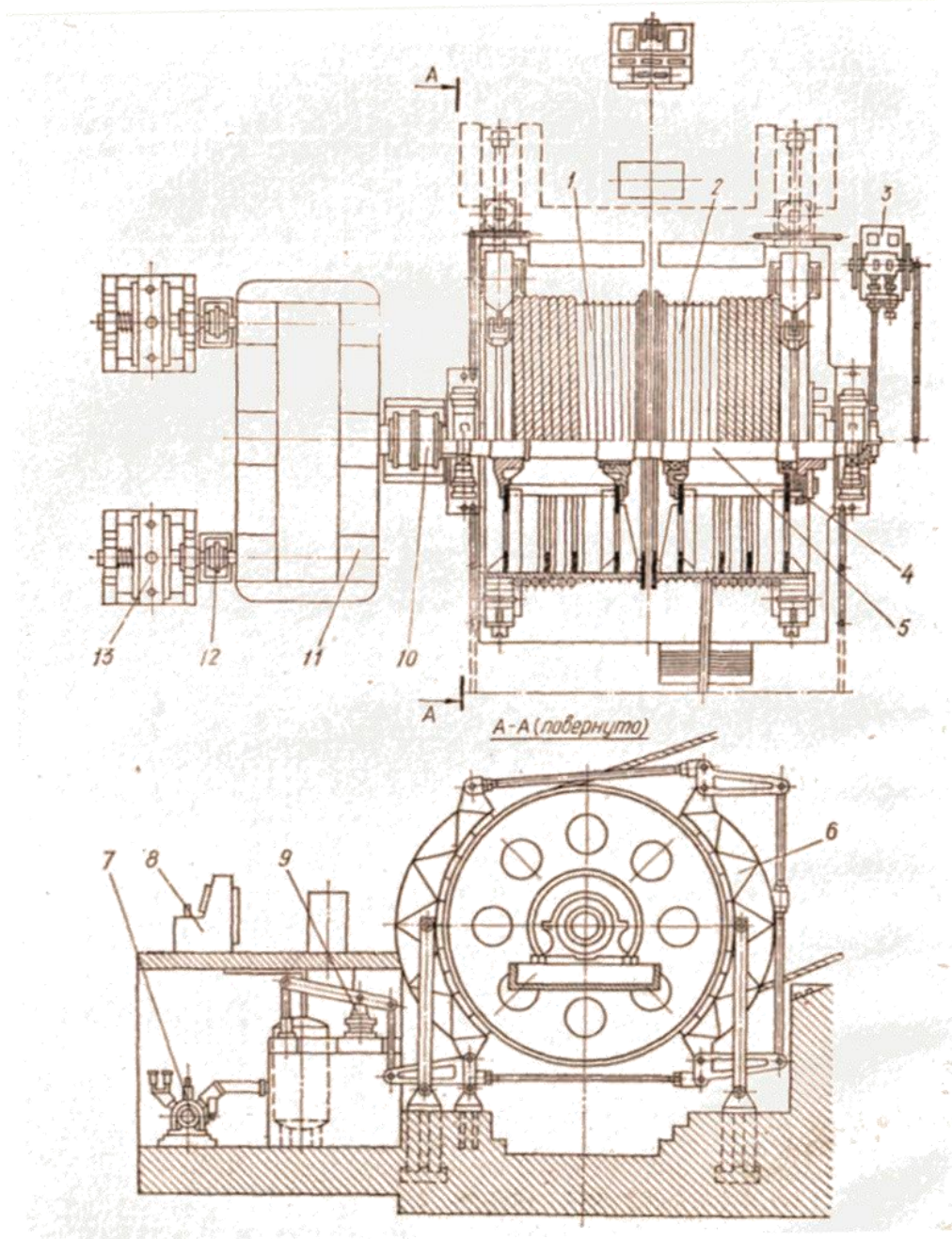


Рис. 3.11. Загальний вид великої піднімальної машини типу 2Ц

Машина 2Ц має два гальмових пристрої з колодками 6 і незалежними приводами 9. При гальмуванні машини обидві пари колодок накладаються на барабани. При відключенні переставного барабана 2 від вала він стопориться парою гальмових колодок у той час, як заклинений барабан може обертатися разом з валом. Для полегшення поворочивання вала у вільно насаджених маточинах переставного барабана встановлюються сферичні роликпідшипники. Керування машиною виробляється з пульта 8. Редуктор 11 з'єднується з корінним валом машини зубчастою муфтою 10, а з одним або із двома асинхронними двигунами 13 — пружинними



муфтами 12. Машина може працювати й без редуктора з тихохідним двигуном постійного струму, безпосередньо з'єднаним з корінним валом муфтою 10. Регулятор підйому 3 з'єднаний з корінним валом машини. Компресор 7 постачає стисненим повітрям циліндри гальмових приводів робочого й запобіжного гальмування.

Для перекладу машини на роботу з верхнього обрію необхідно посудина переставного барабана 1 підняти на прийомну площадку верхнього горизонту, тобто підняти його на висоту  $h_z$  (рис. 3.12, б). При цьому друга посудина, зв'язана піднімальним канатом із заклинений барабаном 2, опуститься від рівня верхньої прийомної площадки на таку ж висоту  $h_z$ . Після цього піднімальна машина зупиняється й включається розчіпний пристрій, відключаючи при цьому переставний барабан від вала.

Потім переставний барабан 1 загальмовується (рис. 3.12, в), а заклинений барабан 2, обертаючись, піднімає свою посудина (швидкість руху посудини не більше 3 м/сек) на висоту  $h_z$ , установивши його на рівні верхньої прийомної площадки. Після цього вимикається розчіпний пристрій, приєднуючи переставний барабан до вала. При роботі піднімальної установки, коли одна посудина буде перебувати на рівні верхнього обрію, іншої займе положення на верхній прийомній площадці. За аналогічною схемою здійснюється регулювання довжини каната.

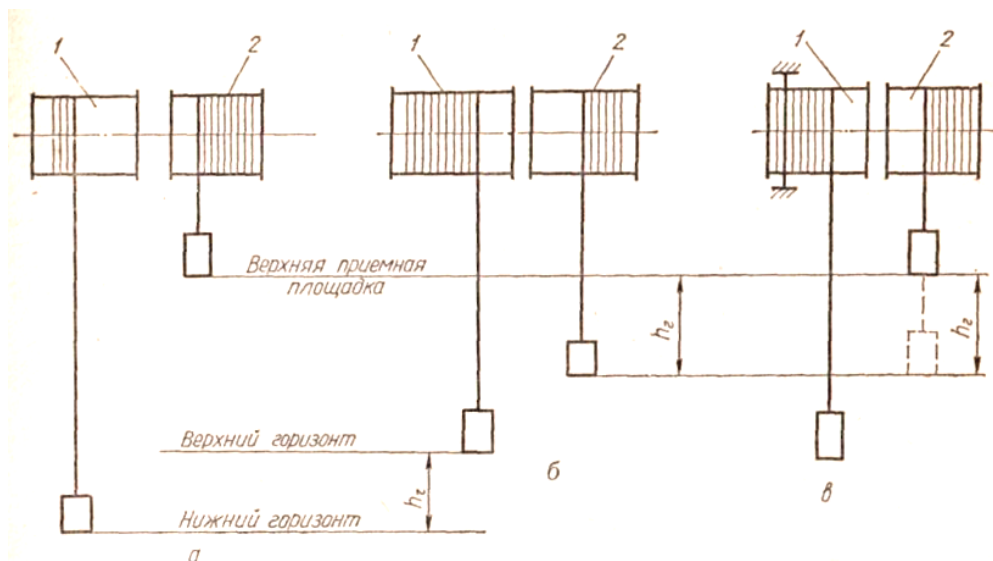


Рис. 3.12. Схема перестановки барабанів при зміні обріїв: а — початкове положення; б — середнє положення; в — кінцеве положення.

Переваги:

- Можливість працювати на декількох горизонтах.

Недоліки:

- Велика маса і габарити;
- Великий кут девіації.

Діаметр барабану 1.2-6 м; зусилля від 25-560кН; швидкість підйому 3- 16 м/с;

У шахтних піднімальних машинах з одним розрізним барабаном (ЦР) об'єднані достоїнства однобарабанних і двухбарабанних машин: маючи один барабан, така машина дозволяє робити підйом вантажів з декількох обріїв.

Піднімальна машина типу ЦР відрізняється від двухбарабанної машини тільки конструкцією корінної частини (рис. 3.13), а всі інші вузли машини (гальма, гальмові приводи, редуктори, муфти, пульт керування, контрольно-вимірювальні апаратури й ін.) аналогічні розглянутим вище піднімальним машинам типу 2Ц і Ц.

Корінна частина машини типу ЦР складається з порожнього корінного вала 2 із запресованими цапфами 1. Вал 2 обертається в роликотішипниках 7. Барабан цієї машини складається із двох частин: заклиненої 3 і переставної 4. Заклинена частина барабана прикріплюється болтами до маточин, які наглухо насаджуються на корінний вал.

На праву маточину заклиненого барабана насаджується ліва роликотішопора 5 переставної частини 4 барабани. Права роликотішопора насаджується безпосередньо на корінний вал і виготовляється як одне ціле з верхнім зубчастим вінцем механізму перестановки 6. Зубчастою муфтою 8 корінний вал машини з'єднується з валом редуктора, або безпосередньо з валом тихохідного двигуна. На гладкі краї оболонок заклиненої й переставної частин барабана накладаються гальмові колодки. Частини барабанів переставляються так само, як у машині типу 2Ц.

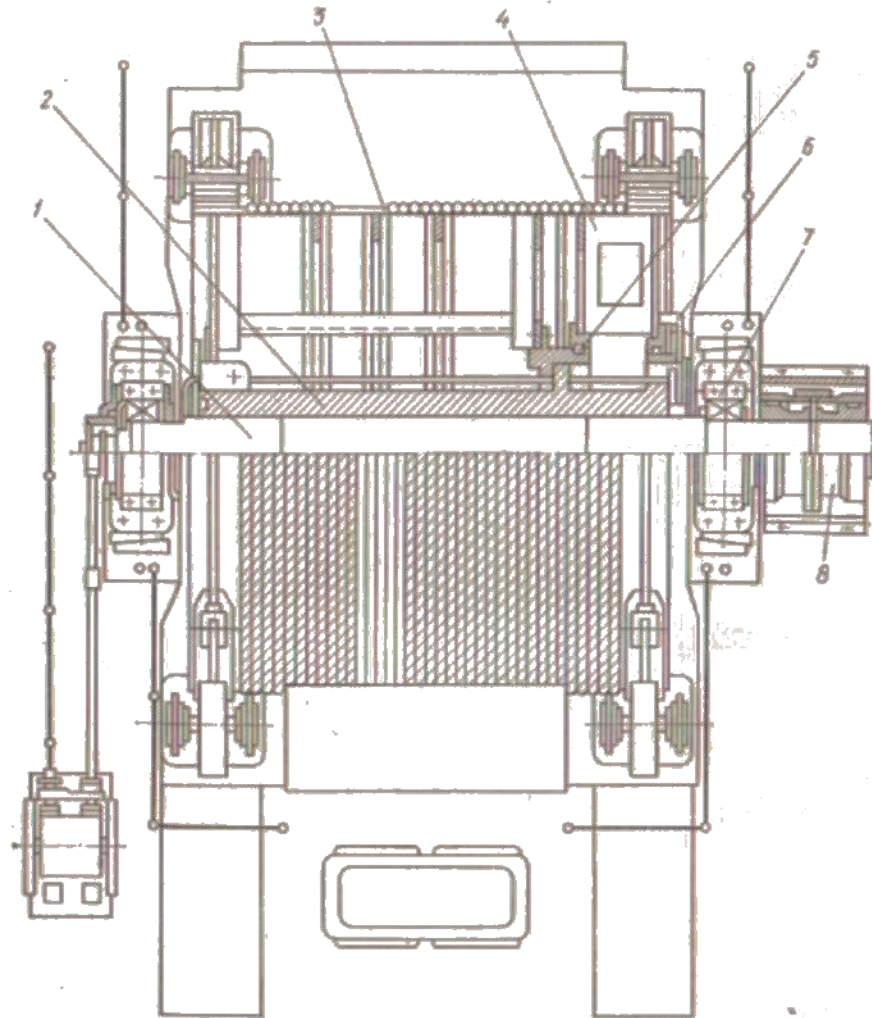


Рис. 3.13. Корінна частина піднімальної машини типу ЦР

Діаметр барабану 4-6 м; зусилля від 250-360кН; швидкість підйому 12- 16 м/с;

Піднімальні машини зі змінним радіусом навивки. До них відносяться машини з конічними й біциліндроконічними барабанами. Найпоширеніші- піднімальні машини з біциліндроконічними барабанами (БЦК), установлені на багатьох вітчизняних шахтах.

Піднімальні машини з бициліндроконічними барабанами застосовуються для підйому вантажу з більших глибин (800-1500 м).

Барабан машини типа БЦК складається із двох частин заклиненої 1 і переставний 2.

Заклинена більша частина барабана жорстко з'єднана з корінним валом машини, що являє собою порожній (трубчастий) вал 10 із запресованими в нього цапфами 8, що опираються на підшипники 7. Зубчаста муфта 6 з'єднує корінний валу вихідним валом редуктора. Переставна менша частина барабана має можливість провертатися щодо корінного вала па роликотпідшипниках 9.

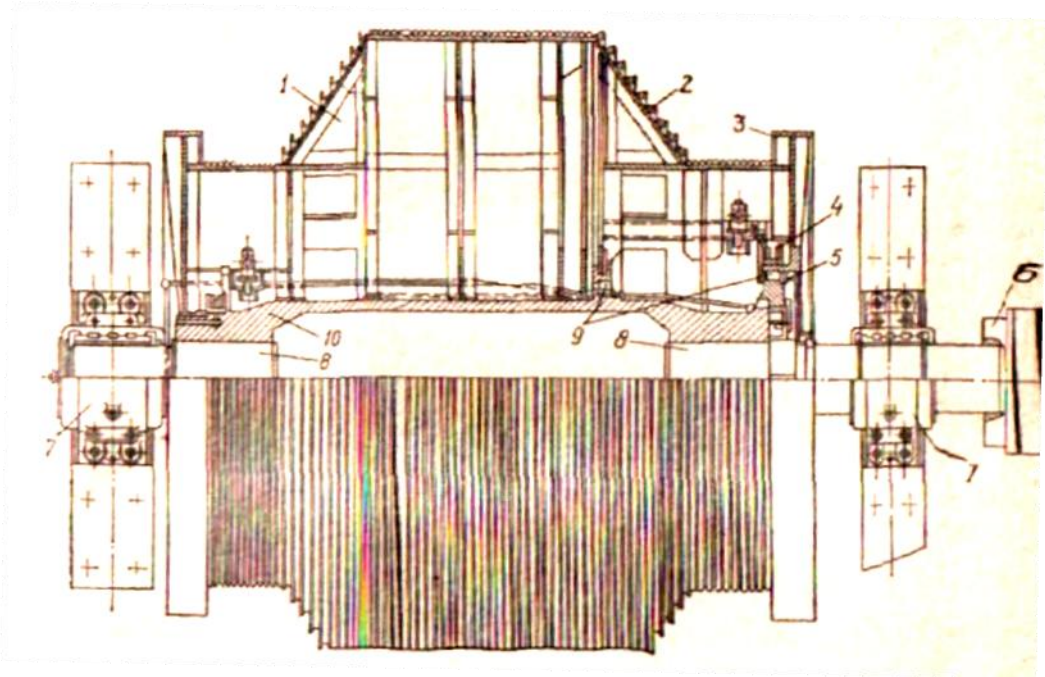


Рис. 3.14. Корінна частина піднімальної машини типу БЦК

Тверде з'єднання переставної частини барабана з корінним валом здійснюється через механізм перестановки 5 зубчастого типу.

Оболонки малого й великого циліндрів барабана мають спіральні канавки, а на конічній частині до болонки приварюються жолобки. По обидва боки барабана на порожній вал 10 вільно насаджені бобіни 4, призначені для навивки запасної довжини каната. Бобіни мають черв'ячний привод з електродвигуном.

До лобовин малих циліндрів приварюються гальмові обіди 3, до яких прикладаються зусилля двох пар гальмових колодок.

Зміна обріїв роботи піднімальної машини типу БЦК за допомогою механізму перестановки аналогічна зміні обріїв роботи машин із циліндричними барабанами.

Діаметр барабану 8-9 м; зусилля від 400-630кН; швидкість підйому 16 м/с;

### Розрахунок і вибір піднімальної машини

Орган навивки циліндричних піднімальних машин вибирається по його основних параметрах: діаметру барабана й ширині барабана.

Для барабанів піднімальних машин, установлених на поверхні землі, діаметр барабана дорівнює:

$$D_e \geq 80d_k$$

де  $d_k$  – діаметр каната.

Для барабанів піднімальних машин, розташовуваних під землею:

$$D_e \geq 60d_k$$

Ширина навивочної поверхні кожного з барабанів машини із двома циліндричними барабанами й одношаровою навивкою визначається умовою розміщення на ній довжини каната, рівній висоті підйому  $H_{ш}$ , резервної довжини ( $l_p = 30...50\text{м}$ ) і витків тертя  $z_{тр} = 3...5$ :

$$B_{\acute{a}} = \left[ \frac{H_{\acute{e}} + l_p}{\pi D_{\acute{a}}} + Z_{\delta \delta} \right] (d_{\acute{e}} + e)$$

де  $e$  - проміжок між сусідніми витками  $e = 0,025d + 3,6$ , мм;

$H_k$  - висота підйому:

- при клітьовому підйомі  $H_k = H_{ш} + h_{n.n}$

- при скіповому підйомі:  $H_k = H + h_{заг} + h_{п.б} + h_{п.р}$ ,

де  $h_{п.п}$  - висота прийомної площадки або естакади;  $h_{заг}$  - висота опускання скіпа нижче навколоствольного двору;  $h_{п.б}$  - висота верхнього бункера від нульової площадки;  $h_{п.р}$  - перевищення рами скіпа над крайньою крапкою поверхні бункера для відкриття затвора.

По основних параметрах  $D_{\acute{a}}$  і  $B_{\acute{a}}$  у табл. 2.6 вибираємо піднімальну машину.

При багатошаровій навивці

$$B_{\acute{a}} = \left[ \frac{H_{\acute{e}} + l_p}{\pi D_{\grave{n}\grave{a}\grave{o}}} + Z_{\acute{a}\acute{i}} + Z_{\delta \delta} \right] \frac{(d_{\acute{e}} + e)}{k}$$

, де  $D_{\grave{n}\grave{a}\grave{o}}$  середній діаметр навивки:  $D_{\grave{n}\grave{a}\grave{o}} = D + (k - 1)d_{\acute{e}}$ ;

$Z_{в.п}$  - число витків на пересувку критичної ділянки каната;

$k$  - число шарів навивки каната на барабан.

При роботі піднімальної машини необхідно перевірити, чи підходять дані типи машин по максимальному статистичному навантаженню й різниці статистичних натягів.

Максимальний статистичний натяг каната  $T_{ст.маx}$  :

$$T_{ст.р.} = (Q_n + Q_m + p H_k) \geq T_{ст.маx} .$$

Максимальна різниця статистичних натягів:

$$F_{с.маx} = T_{ст.маx} - T_{ст.мін} \leq F_{с.р} ,$$

де  $T_{ст.мін}$  - мінімальний статистичний натяг каната;  $F_{с.р}$  - розрахункова різниця статистичного натяг каната.

### Розташування піднімальних установок щодо стовбура шахты

Одноканатні двухбарабаные піднімальні машини розташовуються в стаціонарному будинку на рівні землі, а багатоканатні – у машинному залі на копрі. Щоб будинок для піднімальної машини не заважало



разгрузоч-ным операціям на поверхні, воно повинне перебувати осторонь, протилежної напрямку руху навантажених вагонеток у випадку застосування клітей, а при скіпах - напрямку їхнього розвантаження.

Зупинимося на елементах схеми розташування одноканатних установок щодо стовбура шахти:

$$h_k = h_B + h_c + h_n + 0,75R_{ш}$$

Висота копра  $h_k$ , під якою розуміється відстань по вертикалі від оцінки устя стовбура до осі верхнього напрямного шківів, складається:

з висоти  $h$  - від устя шахти до верхньої прийомної площадки; для клітьового підйому  $h = 6...12...12$  м, для скіпового  $h = 11...25...25$  м, і більше; з висоти  $h_c$  - від рівня верхньої прийомної площадки до верхнього затискача каната або верхнього елемента підвісного пристрою, коли піднімальна посудина перебуває в положенні розвантаження. Для не перекидних клітей зазначена відстань приймається від підстави клітей до верхньої крайки бункера;

з висоти перепідйому -  $h_n$ , на яку може вільно піднятися піднімальна посудина від нормального положення при навантаженні на верхній прийомній площадці до зіткнення верхнього затискача каната або верхнього елемента підвісного пристрою з обідом копра. За правилами технічної безпеки значення  $h_n$  для знову проєктованих установок повинне бути: при клітьових - не менш 6 м, для вантажних установок зі скіповими й перекидними клітьми - не менш 3 м;

з додаткової відстані, рівного  $0,75$  радіуса  $R_{ш}$  напрямного шківів. Відстань приймається в пропозиції, що зіткнення верхнього затискача каната або верхнього елемента підвісного пристрою зі шківом відбудеться на відстані  $0,75 R_{ш}$  від центра останнього.

При розташуванні напрямних шківів в одній вертикальній площині для визначення  $h_k$  у праву частину формули (2.15) додається  $D_{ш}$  і відстань по вертикалі між струною каната і її проєкцією на горизонтальну площину.

Максимальна довжина  $L_c$  струни каната, тобто відрізка каната від направляючого шківів до барабана згідно ПТЭ не повинна перевищувати 65 м щоб уникнути вібрації каната, що може викликати вискакування каната з реборд напрямних шківів; допускається збільшення а до  $45^\circ$ .

При розташуванні напрямних шківів на одній горизонтальній осі

$$L_c = \sqrt{(h_k - c)^2 + (l - R_{ш})^2}$$

Аналогічно визначається  $L_c$  при розташуванні напрямних шківів в одній вертикальній площині.

Кути відхилення (девіації) струни каната

Варто розрізняти кути відхилення струни каната напрямного в шківів й на барабані (рис. 3.15).

Кутом відхилення на напрямному шківі називається кут, утворений струною і її проекцією на площині обертання шківів. Кут відхилення на барабані утвориться струною і її проекцією на вертикальну площину, що проходить перпендикулярно осі барабана через точку дотику з ним струни. Ці кути будуть максимальними при крайніх положеннях струн. Якщо площина обертання шківів перпендикулярна до осі барабана, кути відхилення на напрямному шківі й на барабані мають відповідні значення.

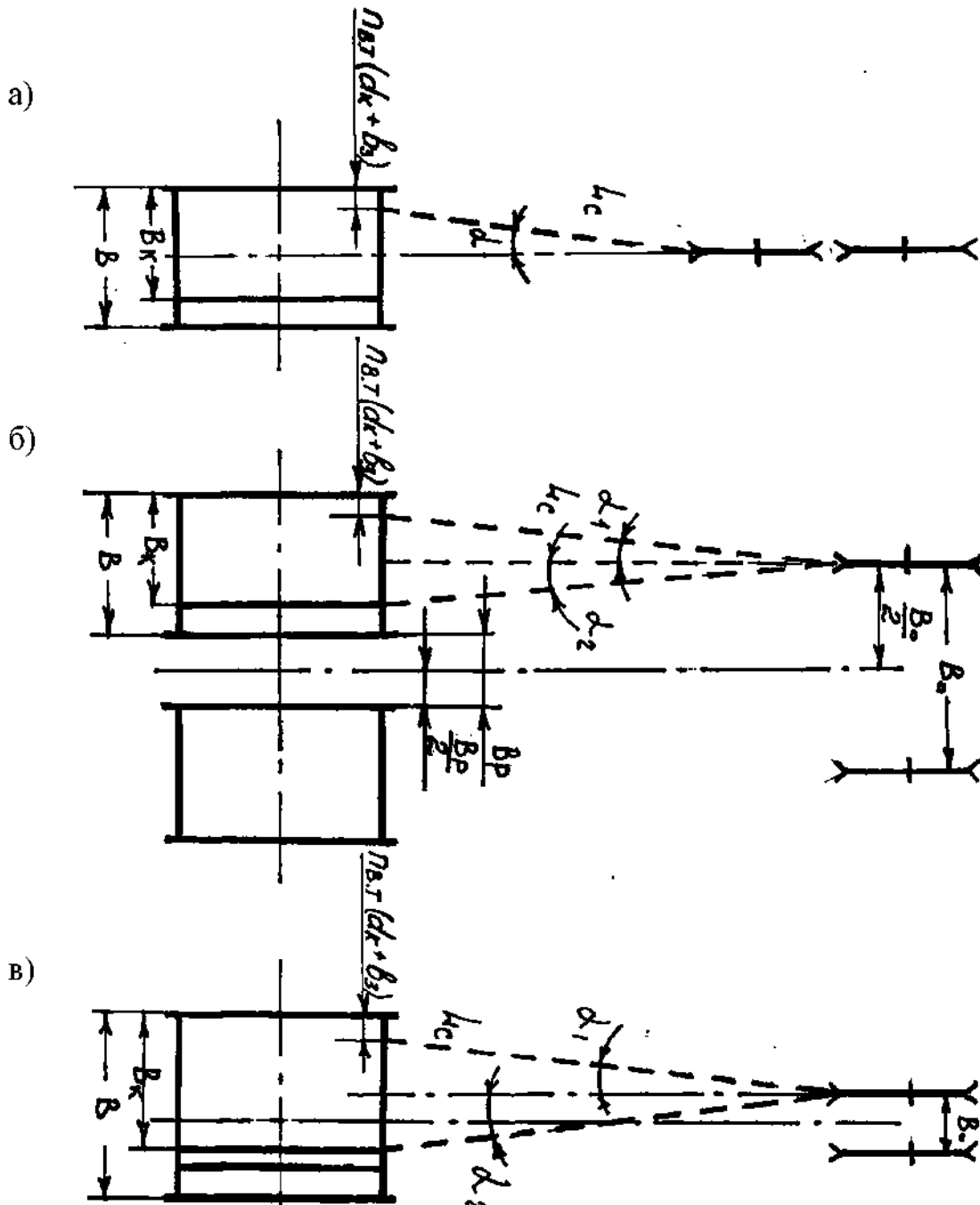


Рис. 3.15. Кути відхилення каната на барабанах піднімальних машин: а) для однобарабанної машини з вертикальними шківівми;

б) для двубарабанної машини з горизонтальними шківівми;

в) для однобарабанної машини з горизонтальними шківівми

Щоб уникнути вискакування каната з реборд напрямного шківів, надмірного зношування, а також налягання витків каната один на одного кути відхилення на напрямних шківів і на барабанах згідно ПТЭ не повинні перевищувати  $1^{\circ}30'$ ; на биціліндроконічних барабанах допускається збільшення цього кута до  $2^{\circ}$  з боку малого циліндра барабана, якщо він з жолобчастою поверхнею.

Кути відхилення на напрямному шківі  $\delta_a$  визначаються по їхніх тангенсах, що представляє собою відносини відстаней по осі барабана від крайніх положень струни до площини обертання шківів, проєкціям струни за вказівкою площини. Через незначну величину кута цю проєкцію приймають рівній довжині струни.

Кут відхилення струни на напрямному шківі при закріпленні каната в реборди одинарного нерозрізного барабана дорівнює

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{B - 2Z_{\text{тр}}(d_k + e)}{2L_c}.$$

Кут відхилення каната при переході струни в крайнє положення в протилежну сторону буде менше й тому не перевіряється.

При закріпленні канатів у зовнішніх реборд барабанів ці кути в залежності від будівельної ширини  $B$  барабана й вершини  $B_k$ , зайнятий канатом, становлять:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{2B - B_p - B_0 - 2Z_{\text{тр}}(d_k + e)}{2L_c};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{B_0 - B_p - 2(B - B_k)}{2L_c},$$

де  $B_p$  - відстань між внутрішніми ребордами барабанів, що з діаметром барабана 3,5 м становить 220 мм, а для машин з діаметрами барабанів 4, 5, 6 м -  $B_p = 60$  мм;  $B_0$  - відстань між направляючими шківів;  $Z_{\text{тр}}(d_k + e)$  - ширина барабана, зайнята витками тертя

(рис. 3.13).

При одинарному розрізному барабані й розташуванні напрямних шківів на одній геометричній горизонтальній осі

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{B - B_0 - 2Z_{\text{тр}}(d_k + e)}{2L_c};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{2B_k - (B - B_0)}{2L_c}.$$

**Рекомендована література:** [2, 4]

## Розділ 4

### Транспортні системи та вантажопідйомні машини, що використовуються в нафтогазовій галузі

#### Тема 4.1 Трубопровідний транспорт

##### План

- 3.1.1. Нафтопроводи.
- 3.1.2. Магістральний газопровід. Споруди.
- 3.1.3. Визначення кількості і місця розташування насосних станцій
- 3.1.4. Розрахунок трубопроводу на міцність.

#### 4.1.1. Нафтопроводи

##### Класифікація трубопроводів

Нафтопроводом прийнято називати трубопровід, призначений для перекачування нафти й нафтопродуктів. Коли хочуть підкреслити, що перекачуються саме нафтопродукти, то вживають термін нафтопродуктопровід. Залежно від виду нафтопродукту, що перекачує, трубопровід називають також бензинопроводом, керосинопроводом, мазутопроводом і т.д..

По своєму призначенню нафтопроводи й нафтопродуктопроводи діляться на наступні групи:

- *внутрішні* - з'єднують різні об'єкти й установки на промислах, нафтопереробних заводах і нафтобазах;
- *місцеві* - у порівнянні із внутрішніми мають більшу довжину (до декількох десятків кілометрів) і з'єднують нафтопромисли або нафтопереробні заводи з головною станцією магістрального нафтопроводу або з пунктами наливу на залізниці або в наливні судна;
- *магістральні* - характеризуються великою довжиною (сотні й тисячі кілометрів), тому перекачування ведеться не однією, а декількома станціями, розташованими по трасі. Режим роботи трубопроводів - безперервний (короткочасні зупинки носять випадковий характер або пов'язані з ремонтом).

Магістральні нафтопроводи й нафтопродуктопроводи підрозділяються на чотири класи залежно від умовного діаметра труб (у мм):

- I - 1000-1200;
- II - 500-1000;
- III - 300-500;

#### 4.1.2. Магістральний газопровід. Споруди.

*Магістральним газопроводом* називається трубопровід, призначений для транспортування газу з району видобутку або виробництва в район його споживання, або трубопровід, що з'єднує окремі газові родовища.

Магістральні газопроводи у залежно від робочого тиску в трубопроводі, підрозділяються на два класи: I - 2,5-10 Мпа; II - 1,2-2,5 Мпа.

Пропускна здатність діючих одностовових магістральних газопроводів залежить від діаметра трубопроводу й становить 10-50 млрд. м<sup>3</sup> газу в рік.

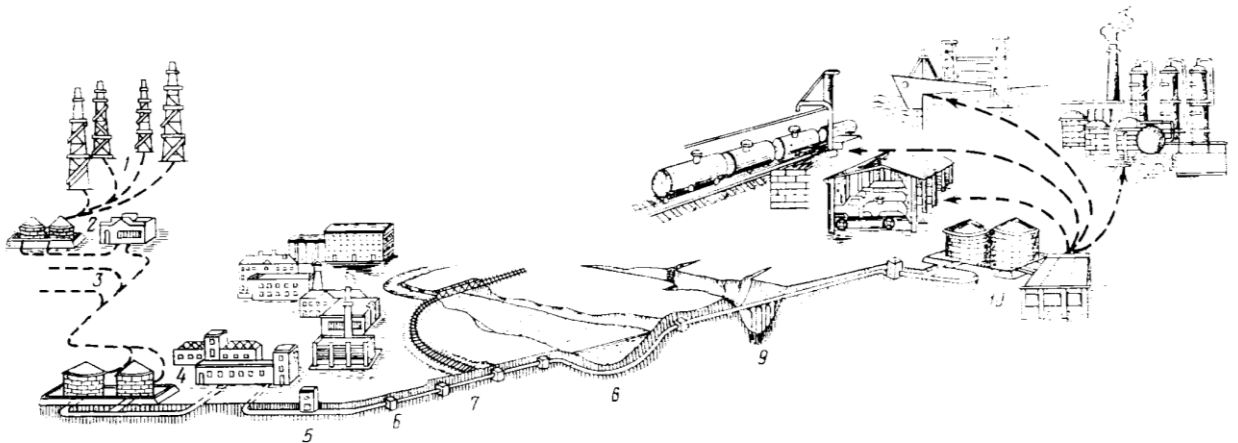


Рис. В.1. Схема споруд магістрального нафтопроводу:  
1 — промысел; 2 — нафтобаза; 3 — підводячі трубопроводи; 4 — головні споруди (резервуари, насосна, електростанція і др.); 5 — вузол пуска скребка; 6 — лінійний колодець; 7 — перехід под залізною дорогою; 8 — підводний перехід через реку; 9 — наземний перехід через овраг (ручей); 10 — кінцевий розподільний пункт

Рис. 4.1. Схема споруд магістрального трубопроводу

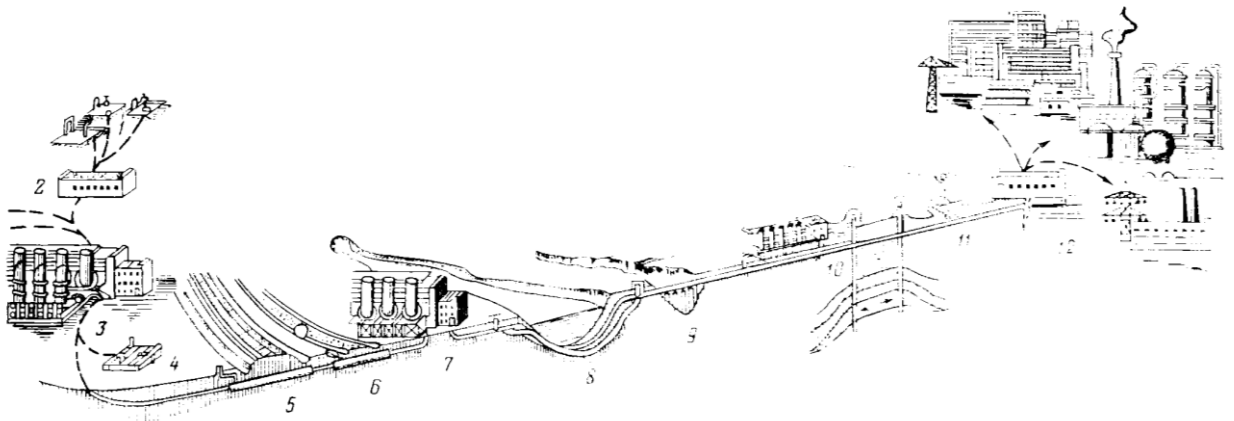


Рис. В.2. Схема сооруженной магистрального газопровода:

1 — промысел; 2 — газосборный пункт; 3 — головная КС с очистными устройствами; 4 — отвод к ГРС; 5 и 6 — переходы через железную и шоссейную дороги; 7 — промежуточная КС; 8 и 9 — переходы через реку и овраги; 10 — подземное газохранилище; 11 — станция катодной защиты; 12 — конечная ГРС

Рис. 4.2. Схема споруд магистрального газопроводу

До складу магістральних трубопроводів входять:

- лінійні спорудження,
- систему протикорозійного захисту,
- лінії зв'язку й т.п. ;
- перекачувальні й теплові станції;
- кінцеві пункти нафтопроводів і нафтопродуктопроводів і газорозподільні станції

(ГРС), на яких приймають продукт і розподіляють його між споживачами, подають на завод для переробки або відправляють далі іншими видами транспорту.

Магістральні трубопроводи заглиблюють у ґрунт звичайно на глибину 0,8 м до верхньої утворюючої труби, якщо більша або менша глибина закладення не диктуються особливими геологічними умовами або необхідністю підтримки температури продукту, що перекачує, на певному рівні.

Для магістральних трубопроводів застосовують суцільнотягнені або зварені труби діаметром 300-1420 мм. Товщина стінок труб визначається проектним тиском у трубопроводі, що досягає 10 Мпа. Трубопровід, що прокладає по районах з мерзлими ґрунтами або через болота, можна укладати на опори або в штучні насипи.

На перетинаннях великих рік газопроводи (а в деяких випадках і нафтопроводи) закріплені на трубах вантажами або суцільними бетонними покриттями й заглиблюють нижче дна ріки. Крім основної укладають резервну нитку переходу того ж діаметра. На перетинаннях залізних і великих шосейних доріг трубопровід проходить у патроні із труб, діаметр яких на 100-200 мм більше діаметра трубопроводу.

З інтервалом 10-30 км у залежності від рельєфу траси на трубопроводі встановлюють лінійні крани або засувки для перекриття ділянок у випадку аварії або ремонту. По обидва боки лінійного крана на газопроводі є свічі для випуску газу в атмосферу при аваріях.

Уздовж траси проходить лінія зв'язку (телефонна, радіорелейна), що в основному має диспетчерське призначення. Її можна використати для передачі сигналів телевимірювання й телекерування.

Розташовувані уздовж траси станції катодного й дренажного захисту, а також протектори захищають трубопровід від зовнішньої корозії, будучи доповненням до протикорозійного ізоляційного покриття трубопроводу. На відстані 10-20 км друг від друга уздовж траси розміщені господарства лінійних обхідників, в обов'язок яких входить спостереження за справністю своєї ділянки трубопроводу й пристроями електричного захисту трубопроводу від корозії.

Перекачувальні станції розташовуються на нафтопроводах з інтервалом 50-150 км і на газоппроводах з інтервалом 100-200 км. Перекачувальні (насосні) станції нафтопроводів і нафтопродуктопроводів обладнані відцентровими насосами з електроприводом. Подача застосовуваних у цей час магістральних насосів досягає 12 500 м<sup>3</sup>/ч. На початку нафтопроводу перебуває головна насосна станція (НС), що розташовується поблизу нафтового промислу або наприкінці, що підводять трубопроводів, якщо магістральний нафтопровід обслуговують кілька промислів або один промисел, розкиданий на великій території. Головна насосна станція відрізняється від проміжних наявністю резервуарного парку обсягом, рівним двох, тридобової пропускної здатності нафтопроводу. Крім основних об'єктів, на кожній насосній станції є комплекс допоміжних споруджень: трансформаторна підстанція, що знижує напругу подаваного на лінію електропередач (ЛЕП) струму з 110 або 35 до 6 кВ, котельня, а також системи водопостачання, каналізації, охолодження й т.п. Якщо довжина нафтопроводу перевищує 800 км, його розбивають на експлуатаційні ділянки довжиною 400-800 км, у межах яких можлива незалежна робота насосного встаткування. Проміжні насосні станції на границях ділянок повинні мати в розпорядженні резервуарний парк обсяг, рівним 0,3-1,5 добової пропускної здатності трубопроводу.

Компресорні станції (КС) газопроводів обладнають поршневыми або відцентровими компресорами із приводом від поршневих двигунів внутрішнього згорання, газових турбін й електродвигунів. Потужність одного агрегату в цей час досягає 25 Мвт. Звичайно відцентрові нагнітачі працюють групами по двох або трьох послідовно, і кілька груп можуть бути включені на паралельну роботу. Подача одного агрегату може досягати 50 млн. м<sup>3</sup>/сут, а тиск на виході станції - 10 Мпа. При високому пластовому тиску газу в перший період експлуатації родовища газопровід може працювати без головної компресорної станції. На всіх компресорних станціях газ очищається в пиловловлювачах від механічних домішок. Крім того, на головній станції можливі

осушка газу, очищення від сірководню й вуглекислого газу й одоризація природного газу. Компресорні станції, так само як і насосні, мають допоміжні спорудження: котельні, системи охолодження, електропостачання, каналізації й ін.

Теплові станції встановлюють на трубопроводах, транспортуючих високо застигаючі й високов'язкі нафти й нафтопродукти, іноді їх сполучають із насосними станціями. Для підігріву нафти застосовують підігрівники парової або вогневі (печі). Для зниження теплових втрат такі трубопроводи можуть бути постачені теплоізоляційним покриттям.

Кінцевий пункт нафтопроводу - або сировинний парк нафтопереробного заводу, або перевалочна нафтобаза, звичайно морська, звідки нафта танкерами перевозиться до нафтопереробних заводів або експортується за кордон. Кінцевий пункт нафтопродуктопроводу - резервуарний парк перевалочної або великої розподільної нафтобази.

Магістральний газопровід подає газ до газорозподільних станцій і контрольно-розподільних пунктів, де його очищає від механічних домішок, конденсату й вологи, заміряють обсяг, знижують тиск й одориують (етил меркаптан)(якщо це не було виконано на головних спорудженнях газопроводу) перед подачею до споживача.

#### 4.1.3. Визначення кількості і місця розташування насосних станцій.

Для створення й підтримки в трубопроводі напору, достатнього для забезпечення транспортування нафти або нафтопродукту, використовують нафтоперегінні станції (НПС). Основне призначення кожної НПС полягає в тому, щоб забрати рідину з перетину трубопроводу з низьким напором, збільшити цей напір і потім увести транспортуючу рідину у перетин трубопроводу з високим напором, тому головним елементом НПС є насоси.

Кількість насосних станцій знаходиться за формулою:

$$n_p = \frac{H_{\zeta \bar{a} \bar{a}}}{H_{i \bar{n}, \delta}}$$

Де  $H_{\zeta \bar{a} \bar{a}}$  - загальний опір трубопроводу

$H_{i \bar{n}, \delta}$  - розрахунковий напір магістральних насосів

При округленні числа  $n_\delta$  при закругленні в більшу сторону продуктивність буде більшою від розрахункової, при закругленні меншу – меншою. Останнє є не допустимим. Тому для заокруглення кількості НС у меншу сторону необхідно компенсувати вставкою чи лупінгом. Тобто необхідно досягнути рівності:

$$(n_p - n) H_{i \bar{n}, \delta} = 1,02ix(1 - \omega)$$

довжина лупінга



$$x = \frac{(n_p - n)}{1,02i(1 - \omega)} H_{i\bar{n}_s}$$

Для вставки

$$x = \frac{(n_p - n)}{1,02i(1 - \Omega)} H_{i\bar{n}_s}$$

**Визначення місця розташування насосних станцій** на профілі траси трубопроводу в свій час було запропоновано В.Г.Шуховим.

Для визначення розміщення необхідно знати наступні параметри трубопроводу:

6. Гідравлічний нахил для основної магістралі  $i$ ;
7. Гідравлічний нахил для ділянок з лупінгами(вставками)  $i_v (i_a)$ ;
8. Розрахункового напору нафти на виході насосних станцій  $H_{i\bar{n}_s}$ ;
9. Величину залишкового напору  $h_e$
10. Величину підпору для НС, для без кавітаційної роботи насосів.

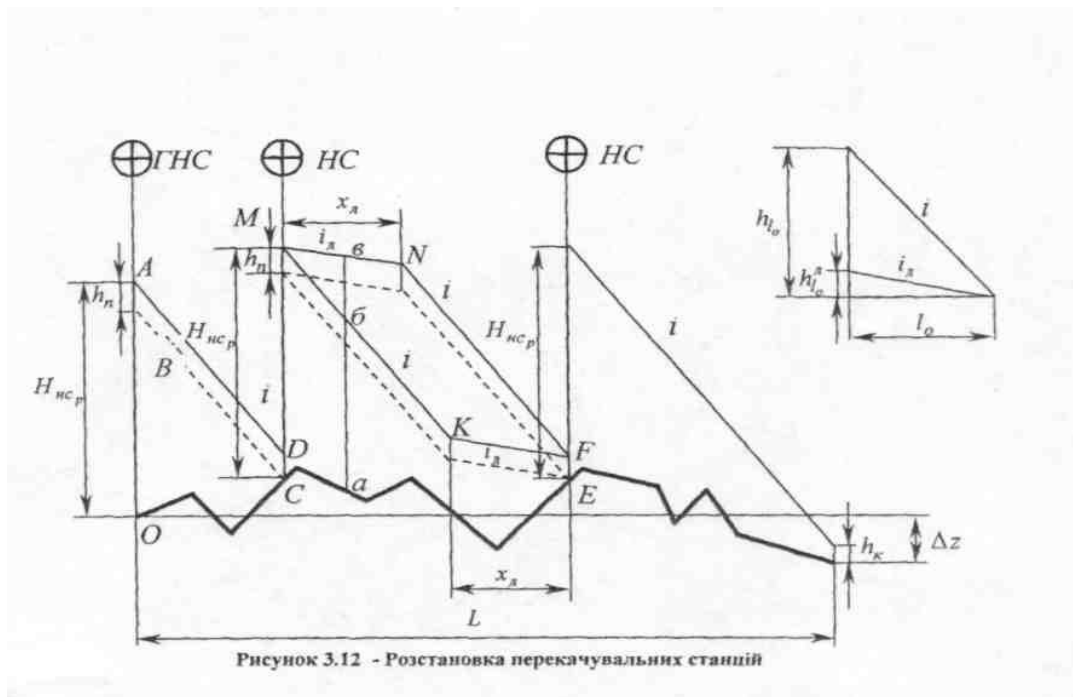


Рис. 4.3 Ростановка перекачувальних станцій

#### 4.1.4. Розрахунок трубопроводу на міцність.

Покладений у ґрунт трубопровід випробовує цілий ряд силових впливів що викликає кільцеві, поздовжні й радіальні напруги (мал. 4.4).

##### Розглянемо напруження, що виникають в трубопроводі під час експлуатації

В трубопроводі, укладеному в ґрунт, під час експлуатації виникають такі напруження: кільцеві, поздовжні та радіальні (рисунок 4.4).

Кільцеві напруження  $\sigma_{\epsilon}$  виникають від внутрішнього тиску і дорівнюють:

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{PD}{2\delta}$$

де  $P$  - тиск;  $D$ - внутрішній діаметр труби;  $\delta$  - товщина стінки трубопроводу.

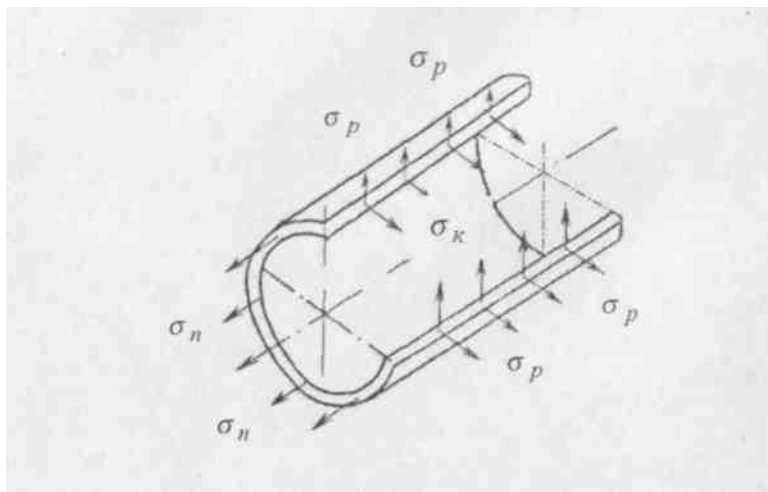


Рис. 4.4. - Схема напружень, що виникають в трубопроводі

Поздовжні напруження  $\sigma_{\eta}$  створюються:

- під дією внутрішнього тиску:

$$\sigma_{\eta}' = \mu\sigma_{\epsilon} = \mu\frac{PD}{2\delta}$$

де  $\mu$  - коефіцієнт Пуассона (для сталі середнє значення  $\mu = 0,3$ );

- при зміні температури

$$\sigma_{\eta}'' = -E\alpha\Delta t$$

де  $E$  - модуль пружності, для сталі  $E = 206000$  МПа;  $\alpha$  - коефіцієнт лінійного розширення,  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$  1 /град;  $\Delta t$  - температурний перепад температур стінки трубопроводу відповідно в момент часу, що розглядається, і в момент укладання трубопроводу;

- при згині

$$\sigma_{\eta}''' = \frac{ED_{\zeta}^2}{2\rho_{\zeta^2}}$$

де  $D_{\zeta}$  - зовнішній діаметр трубопроводу;  $\rho_{\zeta^2}$  - радіус згину.

Поздовжні напруження різного походження підсумовуються

$$\sigma_n = \mu \frac{PD}{2\delta} - E\alpha\Delta t \pm \frac{ED_s}{2\rho_w}$$

Радіальні напруження  $\sigma_r$  дорівнюють внутрішньому тиску в трубопроводі. Вони малі за величиною і при розрахунках не враховуються. При розрахунках трубопроводів на міцність не враховуються також тиск ґрунту і рухомі навантаження (вага тракторів, сільськогосподарських машин, автомобілів). Ці зовнішні навантаження незначні і, крім того, вони компенсуються внутрішнім тиском.

### **Визначення товщини стінки трубопроводу**

При технологічному розрахунку магістральних нафтопроводів із таблиці 4.1. за заданою річною продуктивністю вибирається рекомендований діаметр трубопроводу. Розглядається також найближче більше і менше стандартне значення діаметра і подальший розрахунок проводиться для трьох варіантів.

Розрахунок починається із вибору марки сталі труб. Для магістральних трубопроводів із зовнішнім діаметром до 426 мм застосовують сталеві безшовні гарячекатані труби із вуглецевих і легированих сталей, а діаметром 530 мм і більше - електрозварні прямошовні або спірально-зварні труби із низьколегированих сталей.

Спіральношовні труби мають переваги перед прямошовними. Сталева штаба, із якої виготовляють спіральношовні труби, дешевша від листів, які використовуються для прямошовних труб такого ж діаметра, оскільки ширина штаби менша. Спіральне розміщення волокон у трубі більш сприятливе, ніж поздовжнє. Недоліки спіральношовних труб – більша протяжність шва, складність контролю якості зварювання, а також якості скрученої в рулон сталі.

Основними заводами з виготовлення труб є Харцизький (Україна), Челябінський, Альмет'євський, Вексунський (Росія). Альмет'євський, Харцизький і Вексунський заводи виготовляють труби з нанесенням захисного покриття. Будівельними нормами і правилами допускається застосування імпортованих труб.

Механічні характеристики деяких трубних сталей наведені в таблиці 3.4.

Умова міцності труби має такий вигляд

$$nPD \leq 2\delta R_1,$$

де  $n$  - коефіцієнт перевантаження робочого тиску;  $P$  - робочий (нормативний) тиск у трубопроводі;  $R_1$  - розрахунковий опір матеріалу труб.

Таблиця 4.1 - Механічні характеристики трубних сталей

Марка сталі	Межа міцності (не менше), $\sigma_{\text{ад}}$ МПа	Межа текучості (не менше) $\sigma_{\text{о}}$ , МПа	Зовнішній діаметр труби, мм
10	340	210	219-426
20	420	250	219-426
Ст.2	340	210	219-426
Ст.3	380	230	219-426
Ст.4	420	250	219-426
Ст.5	500	270	219-426
10Г2	480	270	219-426
13ХМ	440	230	219-426
14ХГС	500	350	530, 720, 1020
17ХГС	520	360	530, 720, 820
17Г1С	520	360	1020, 1220
17ГС	520	360	530, 720, 820
14Г2САФ	550	380	1020
14Г2САФ (експандовані)	570	400	1020, 1220
16Г2САФ	600	420	1020
10Г2СД(МК)	500	350	530, 630
14ГН	480	330	920

Оскільки труби для магістральних трубопроводів стандартизуються за зовнішнім діаметром  $I_3$ , то формулу для визначення товщини стінки виражають через цей діаметр.

Враховуючи, що  $D = D_{\text{з}} - 2\delta$

Товщина стінки труби без врахування осевих стискаючих напружень дорівнює

$$\delta = \frac{nPD_3}{2(R_1 + nP)}$$

Коефіцієнт перевантаження робочого тиску  $n$  приймається згідно з СНиП 2.05.06-85 залежно від характеру навантажень. При тимчасових, тривалих навантаженнях від внутрішнього тиску для нафтопродуктопроводів діаметром 700 - 1200 мм з проміжними нафтоперекачувальними станціями  $n = 1,15$ , а для нафтопродуктопроводів діаметром менше 700 мм  $n = 1,1$ .

Розрахунковий опір сталі визначається за формулою

$$R_1 = \frac{R_1'' m}{k_1 k_n}$$

де  $R_1'' = \sigma_{ad}$  - нормативний опір матеріалу труб, що приймається рівним тимчасовому опору матеріалу труб (залежно від марки сталі);  $m$  - коефіцієнт умов роботи, для нафтопроводів III і IV категорій  $m = 0,90$ ; для трубопроводів I і II категорій  $m = 0,75$ , для категорії B -  $m = 0,60$ ;  $k_n$  - коефіцієнт надійності за призначенням трубопроводу, при діаметрі нафтопроводу 1000 мм і менше  $k_n = 1,00$ , при діаметрі 1200 мм -  $k_n = 1,05$ ;

$k_1$  - коефіцієнт надійності за матеріалом, вибирається із таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Значення коефіцієнта надійності за матеріалом

Характеристика труб	
Зварні із малоперлітної і бейнітної сталі контрольованої прокатки і термічно зміцнені труби, виготовлені двобічним електродуговим зварюванням під флюсом по суцільному технологічному шву, з мінусовим допуском по товщині стінки не більше 5 % і які пройшли 100 %-ний контроль на суцільність основного матеріалу і зварних з'єднань неруйнівними методами	0,34
Зварні із нормалізованої, термічно зміцненої сталі і сталі контрольованої прокатки, виготовлені двобічним електродуговим зварюванням під флюсом по суцільному технологічному шву і які пройшли 100 %-ний контроль зварних з'єднань неруйнівними методами. Безшовні із катаної або кованої заготовки, які пройшли 100 %-ний контроль неруйнівними методами	0,40
Зварні із нормалізованої і гарячекатаної низьколегованої сталі, виготовлені двобічним електродуговим зварюванням і які пройшли 100 %-ний контроль зварних з'єднань неруйнівними методами	0,47

Зварні із гарячекатаної низьколегованої або вуглецевої сталі, виготовлені двобічним електродуговим зварюванням або струмами високої частоти. Решта безшовних труб	0,55
---	------

Одержана товщина стінки заокруглює до найближчого більшого стандартного значення і визначається внутрішній діаметр трубопроводу за формулою (3.11)

Якщо товщина стінки буде змінна, що змінюється відповідно до зміни тиску по довжині, то для нафтопроводів може бути досягнута істотна економія металу.

Розміщення труб з різною **товщиною** стінок по довжині перегону називається розкладкою труб.

## Тема 4.1 Пневматичний і Гідравлічний транспорт.

### План

- 5.1.1. Пневматичний транспорт.
- 5.1.2. Розрахунок пневматичних установок.
- 5.1.3. Гідротранспортні установки.
- 5.1.4. Розрахунок гідравлічних установок.

#### 4.1.1. Пневматичний транспорт

Переміщення насипного вантажу потоком повітря або води носять назву відповідно пневматичного або гідравлічного транспорту.

##### Склад пневматичної установки

Пневматична транспортна установка в загальному випадку складається з:

- повітродувні машини;
- трубопроводу, по якому внаслідок різниці тисків у началі і кінці рухається суміш повітря з матеріалом – аэросуміш;
- живильника, що подає матеріал у трубопровід;
- розвантажувального пристрою, де відбувається осадження матеріалу
- фільтра для очищення повітря перед випуском в атмосферу.

По способу одержання різниці тисків на початку й кінці трубопроводу пневматичні транспортні установки розділяють на

- всмоктувальні,
- нагнітальні
- комбіновані.

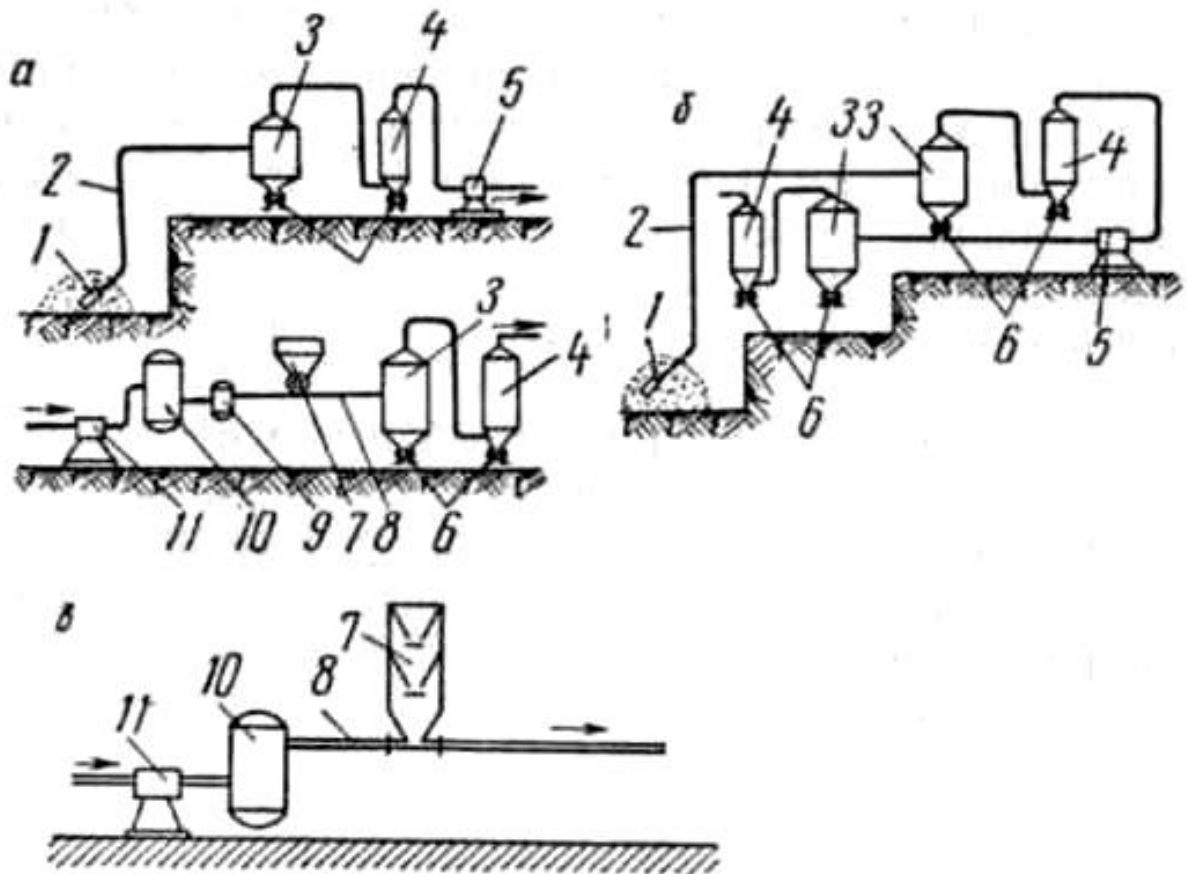


Рис. 5.1. Основні елементи пневматичної установки:

1 – сопло; 2 – трубопровід; 3 – сепаратор; 4 – фільтр; 5 – вакуумний насос.

У всмоктувальній установці повітря разом з матеріалом через сопло 1 засмоктується в трубопровід 2 і надходить у віддільник 3, де при різкому зменшенні швидкості потоку матеріал осаджується. Повітря з віддільника надходить у фільтр 4, очищається в ньому й, пройшовши вакуум-насос 5, виштовхується в атмосферу. Відкладений у віддільнику і фільтрі матеріал зсипається в нижню конічну їхню частину й розвантажується через шлюзовий затвор 6. Перепад тиску в усмоктувальних установках не перевищує 0,4-0,5 ат, тому їх застосовують для транспортування порівняно легких матеріалів на невеликі відстані.

У нагнітальній установці матеріал подається через спеціальний шлюзовий завантажувальний пристрій (живильник) 7 у трубопровід 8, по якому рухається потік повітря, створюваний повітродувною машиною (компресором). Від компресора в робочий трубопровід повітря проходить через ресивер 10 і вловіддільник 9. Перепад тиску в нагнітальних установках звичайно 1-5 ат, тому їх можна застосовувати для транспортування сипучих матеріалів на значні відстані.



У комбінованій установці (мал. 5.1, б) одна частина працює на усмоктування, інша - на нагнітання.

Пневматичні транспортні установки в гірській промисловості використовуються в основному для доставки закладного матеріалу у виробки й для обезпилювання перекидачів при розвантаженні вагонеток й ін. Відомі успішні досвіди застосування пневматичних транспортних установок для видачі дрібних класів вугілля із шахти на поверхню. При пневматичній закладці матеріал викидається у вироблений простір, тому віддільник і фільтр відсутні й немає необхідності у вологовіддільник, чим спрощується схема установки.

**Усмоктувальні** установки раціонально застосовувати у випадку подачі матеріалу з **декількох пунктів навантаження** до одного пункту вивантаження; **нагнітальні** - при подачі матеріалу з одного пункту навантаження до **декількох пунктів розвантаження**. При комбінованій схемі можна, використовуючи усмоктувальну частину, збирати матеріал в один пункт і подавати його в кілька точок розвантаження.

Діапазон продуктивності й відстані транспортування пневматичними транспортними установками досить широкий: в окремих випадках продуктивність установок при переміщенні дрібних фракцій насипних матеріалів досягає 250-300 т/ч, а дальність транспортування до 2 км.

Переваги пневматичного транспорту:

мінімальні втрати матеріалу,

можливість переміщення матеріалу в горизонтальному похилому й вертикальному напрямках,

компактність і гарна прилаштованість до місцевих умов (трубопровід можна прокласти практично в будь-якому місці), високий ступінь автоматизації процесу транспортування.

До недоліків ставляться швидке зношування окремих елементів установки (обертових частин живильника, колін трубопроводів й ін.) і велику витрату електроенергії.

**Повітродувні машини** використовують вентилятори, турбомашини, ротаційні водокільцеві вакуум-насоси, компресори.

Повітропроводи виготовляють із тонких сталевих труб. Після 1... 1,5 років роботи трубопроводи повертають навколо їхньої осі на 180° для більш рівномірного спрацювання труб і подовження строку служби. Діаметр труб 50...250 мм.

На рис. 5.2 показано основні елементи установок: сопло (а), шлюзовий затвор (б), завантажувальний пристрій (в), гвинтовий

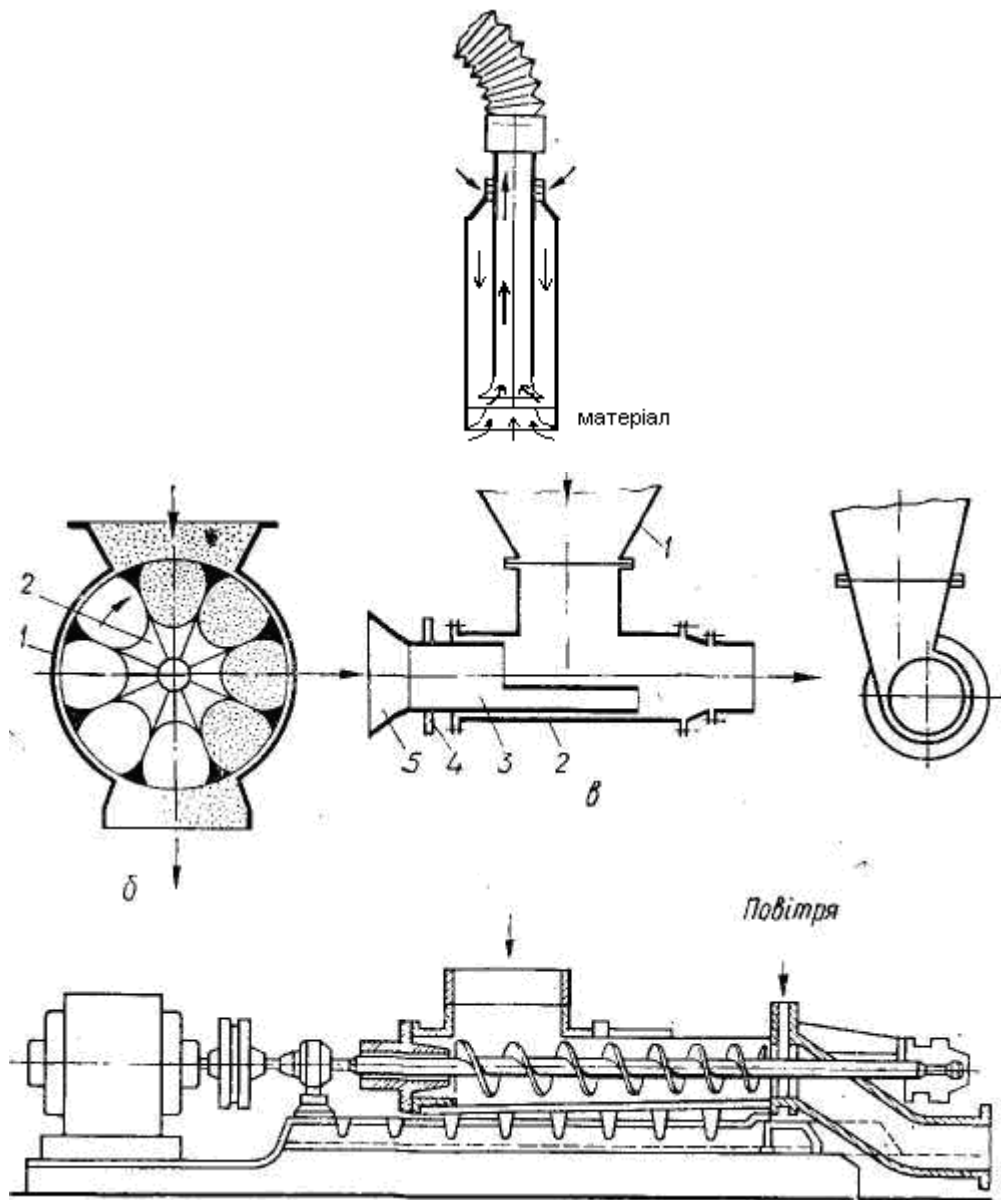


Рис. 5.2. Обладнання пневмоустановок

живильник (з). У всмоктувальній установці завантажувачем є сопло, прикріплене до гнучкого шланга. Воно складається з труби 1, обхопленої кожухом 2 (рис. 5.2, а). Під дією атмосферного тиску повітря з насипним матеріалом засмоктується в приймальну частину сопла, в яку також надходить повітря з атмосфери у верхній частині сопла. Поток повітря сипкий матеріал всмоктується в трубопровід.

Шлюзовий затвор (рис. 5.2, б) складається з барабана 2 з кількома відсіками, який обертається в корпусі, один отвір якого є завантажувальним, а інший — розвантажувальним. Лопаті барабана щільно пригнані до корпусу. Завантажувальний шлюзовий затвор працює під тиском до 0,14 МПа. Порції матеріалу, які розміщуються у відсіку барабана, подаються по чергово в нагнітальний або всмоктувальний трубопровід. Гвинтовий живильник складається з гвинта зі змінним кроком, який зменшується до місця розвантаження. Завдяки цьому матеріал ущільнюється до виходу, що перешкоджає втратам стисненого повітря через завантажувальний пристрій. У

нижній частині змішувальної камери встановлено форсунки, по яких подається стиснене повітря. Завантажувальний регулювальний пристрій застосовується у всмоктувальних пневматичних установках для дозування сипких матеріалів. Конструкція (рис. 5.2, в) складається з воронки 1, корпусу 2 з щілинним отвором, патрубку 3, який має з одного кінця вікно для введення матеріалу в трубопровід, з іншого — розтруб 5 з решітками, крізь які надходить повітря. Патрубок 3 повертається для зміни прохідного перерізу щілини за допомогою рукоятки 4. У трубопроводі матеріал зустрічається з повітрям, яке надходить крізь розтруб, утворюючи суміш, яка переміщується по трубопроводу.

#### 4.1.2 Розрахунок пневматичних установок

Розрахунок пневматичних установок починається з визначення швидкості, яка забезпечує транспортування матеріалу. Для цього спочатку розглянемо частку матеріалу в потоці повітря (рис. 5.3). Сила  $F$  виникає внаслідок зміни напрямку руху потоку і аеродинамічного ефекту, при якому повітря, зустрівши частку матеріалу в точці  $a$ , рухається по цій поверхні, змінивши напрям; за точкою  $b$  частки повітря відриваються від поверхні тіла, утворюючи розрідження.

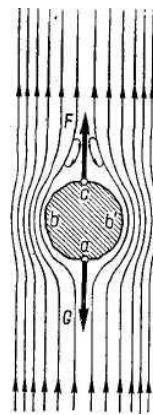


Рис. 5.3. Частка матеріалу в потоці повітря

Різниця тисків у нижній  $bab'$  і верхній  $bc'b'$  зонах визначає аеродинамічну силу. Зависання матеріалу в повітрі у вертикальній трубі настає тоді, коли вага частки зрівноважується аеродинамічною силою

$$F=G :$$

$$F = \psi \rho_{\text{п}} A v_{\text{п}}^2$$

де  $\psi$  — аеродинамічний коефіцієнт, який характеризує форму і розміри часток ( $\psi = 0,23$  для обтічної кулястої форми діаметром  $d$ )  $\rho_{\text{п}}$  — густина повітря;  $A$  — площа перерізу частки;  $v_{\text{п}}$  — швидкість повітряного потоку, при якій частка тримається у повітрі.

Розрахунок пневматичної установки передбачає визначення витрати повітря, діаметра трубопроводу, перепаду тиску на кінцях траси, потужності повітрорудної машини.

Витрата повітря залежить від продуктивності  $Q$ , т/год, і характеру матеріалу:

$$Q_{\Pi} = \frac{Q}{\mu}$$

де  $\mu$  — коефіцієнт концентрації суміші, який визначається як відношення вагової продуктивності установки до вагової витрати повітря.  $\mu$  залежить від характеру матеріалу і становить  $\mu = 20 \dots 200$ .

Щоб матеріал рухався в трубопроводі, швидкість повітряного потоку повинна бути більша ніж критична:

$$v_{\Pi} \geq k v_{кр}$$

Тут  $k = 1,3 \dots 1,5$  — коефіцієнт запасу;  $v_{кр}$  — критична швидкість повітря.

Витрата повітря

$$Q_{\Pi} = \frac{\pi D^2}{4} v_n$$

Витрата повітря на виході з повітродувної машини

$$Q_{\Pi,м} = k_{\Pi} Q_{\Pi}$$

де  $k_{\Pi} = 1,1 \dots 1,15$  — коефіцієнт втрат повітря.

Потужність двигуна повітродувної машини

Використовуючи енергію повітря, по трубах переміщують *також* посудини і состави (капсульний пневмотранспорт), для чого на початку і в кінці поїзда встановлюють приводні вагонетки, забезпечені ущільнювальними манжетами. Річна продуктивність состава, що включає, для прикладу, 8 посудин загальною вантажопідйомністю 15 т, при  $v = 50$  км/г і  $L = 2,2$  км досягає 640000 т.

### 4.1.3 Гідротранспорті установки

*Гідротранспорті установки* за призначенням розподіляють

на підземні і поверхневі;

за часом роботи на одному місці — на стаціонарні і пересувні;

за принципом дії — безнапірні і напірні.

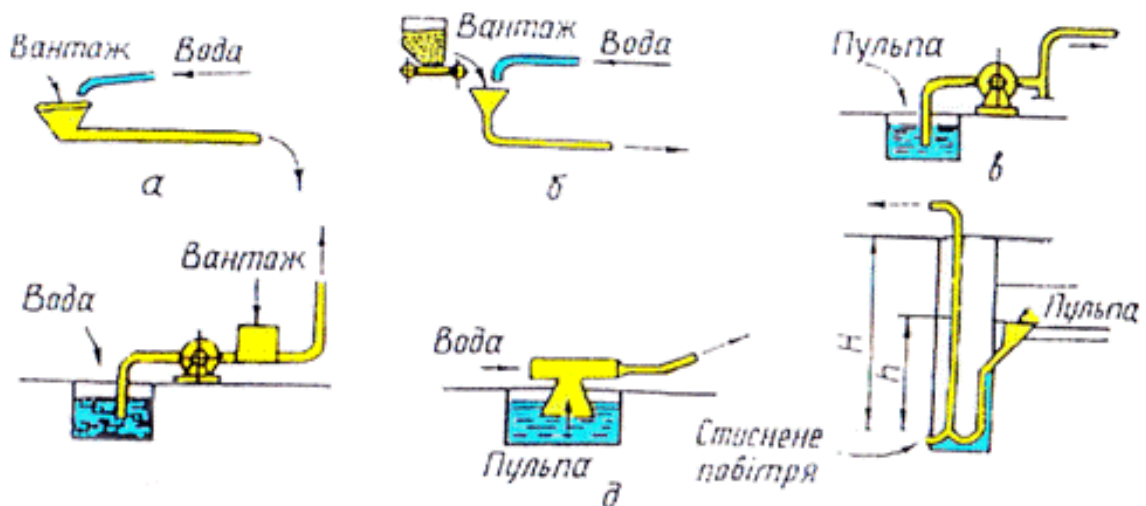


Рис. 5.4. Схеми гідротранспортних установок

У безнапірних установках (рис. 5.4, а) вантаж рухається самопливом по жолобу, розташованому з деяким схилом  $i$ , а в напірних — по трубах за допомогою механічних пристроїв. Значення  $i$  приймають залежно від кусковатості насипного матеріалу, консистенції пульпи і ступеня шорсткості внутрішньої поверхні жолобів. Для не футерованих стінок  $i=0,05...0,07$ , а для емальованих -  $i=0,03...0,05$ .

Пропускна здатність жолоба при  $i=0,05$  досягає  $1\ 200\ \text{м}^3/\text{г}$ . Якщо кут нахилу більший  $20^\circ$ , пульпа викидається через борт. У цьому випадку доцільно використовувати труби.

Розміри кусків вантажу повинні бути в  $1,5...2$  рази меншими ширини жолоба (труби). Консистенція пульпи  $T:P=1:5$ , тобто на одну частину твердого матеріалу приймають п'ять частин рідини.

У напірних транспортних установках вантаж переміщується за допомогою природного (рис. 5.4,б) або штучного напору

Гідроелеватор ежекторного типу (рис. 5.4, д) створює напір також потоком води, причому в завантажувальній лійці, куди поступає пульпа, утворюється вакуум. Подання стисненого повітря в ліву частину труби (ерліфтна установка) приводить пульпу в рух (рис. 5.4, е), оскільки маса стовпа пульпи з висотою  $H$  менша маси стовпа з висотою  $h$ .

При напірному транспортуванні розміри кусків вантажу повинні бути в  $2...2,5$  рази менше діаметра трубопроводу і відповіла би розмірам потокової частині пульпонасосів. Для цього матеріал попередньо дроблять. Потужні напірні установки при консистенції пульпи  $T : P = 1:5$  забезпечують продуктивність до  $500\ \text{т/г}$ . Затрати води на  $1\ \text{м}^3$  вантажу не перевищують  $7\ \text{м}^3$ .

Гідравлічний транспорт застосовують головним чином на шахтах, де підготовчі виробки характеризуються великими схилами ( $0,05...0,07$ ) і малими площами поперечного перерізу.

Трудомісткість обслуговування гідравлічних установок в значній мірі обумовлюється стійкістю проти спрацювання і надійністю конструктивних елементів, а також рівнем механізації допоміжних робіт. Цим транспортним засобам властива підвищена (в 3...4 рази) енергоємність при зіставленні із сухими способами доставки матеріалів, що пояснюється порівняно високою витратою води і низьким ККД устаткування.

#### **Складові частини**

Жолоби прямокутного або трапецієвидного перерізу (із сталі) укладають внапусток із загальним схилом не менше 0,05. Щоб забезпечити переміщення вантажу при  $i=0,03...0,05$ , жолоби футерують загартованим склом або емаллю, оскільки гладка поверхня дозволяє знизити опір руху. Як пульпопроводи застосовують також сталеві труби, футеровані кам'яним лиївом або керамікою.

Безшовні сталеві труби діаметром від 100 до 500 мм стикують за допомогою спеціальних швидкокорознімних з'єднань або, якщо це допустимо, зварюють. Пульпопроводи оснащують засувками, зворотними клапанами і гасниками гідравлічних ударів, призначеними відповідно для відключення окремих ділянок від мережі, запобігання зворотному руху пульпи і захисту магістралі від указаних ударів. Через кожні 50...100 м у трубах влаштовують люки для ліквідації пробок із транспортованого матеріалу.

На вугільних гідрошахтах руйнування гірничого масиву проводять гідромоніторними струменями, прохідницькими комбайнами, а також за допомогою буровибухових способів. Відбита гірничя маса спочатку транспортується самопливним гідротранспортом по жолобах, які укладають на ґрунт виробки внапусток в бік руху пульпи із уклоном 0,03...0,08.

При застосуванні напірного гідротранспорту встановлюють пульпонасоси (вуглесоси), трубопровід, живильники і дробарки. Пульпонасоси продуктивністю 350...1400 м<sup>3</sup> забезпечують прохід кусків гірничої маси крупністю до 100 мм. Дроблення гірничої маси до указаної крупності здійснюють молоткові або зубчаті дробарки.

Примусове введення гірничої маси в напірний трубопровід реалізується за допомогою живильників з безперервним або циклічним робочим процесом. Найбільше розповсюдження набули камерні живильники циклічної дії, які працюють за принципом обміну об'єму води на рівний об'єм гірничої маси.

#### **4.1.4. Розрахунок гідравлічних установок**

Критична швидкість :

$$v_{kp} = C_1 \sqrt{fagsD}$$

$C_1$  - 8.5...9.5 - :дослідна константа

$f$  - коефіцієнт тертя матеріалу о стінки труби;

$a$  – відношення густини матеріалу і рідини.

$s$  – Об'ємна концентрація суміші

$D$  - діаметр труби

## Список використаних джерел

1. Федорова З.М., Лукин И.Ф., Нестеров А.П., Подъемники. К.: Техника, 1976.
2. Картавый Н.Г. Стационарные машины. М. Недра, 1981.
3. Евневич А.В. Горные транспортные машины. М. Недра, 1972.
4. Иванченко Ф.К. Конструкцій и расчет подъемно-транспортных машин. К.Вища школа, 1988.
5. Світлицький В.М., Ягодовський С.І., Галустян Г.Р. Потчний та капітальний ремонт свердловин. К. Логос, 2001.
6. Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы. М.Недра, 1982г.
7. Транспорт на горных предприятиях, под ред. Б.А.Кузнецова. М.: Недра, 1976г.
8. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин /Ф.К.Иванченко, В.С.Бондарев, Н.П.Колесник, В.Я. Барабанов. К. Вища школа, 1978г.
9. Спиваковский А.О. Рудничный транспорт М. Углетехиздат, 1953 г.
10. Транспортные машины. Спиваковский А.О. и Дячков В.К. Изд. 2-е, переработанное и доп. М., изд-во "Машиностроение", 1968, 504 стр.
11. Машины непрерывного транспорта. Кол. авторов. Под ред. В.И. Плавинского, М., "Машиностроение", 1969, 720 стр.
12. Транспортные машины: Учеб. пособие / К.А.Васильев, А.К.Николаев. Санкт-Петербургский горный ин-т (технический университет). СПб, 2003. 121 с.
13. Слюсарев Н.И. Основы разработки нефтяных месторождений: Учеб. пособие / Н.И.Слюсарев. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2004. 95 с.
14. Горно-транспортные машины периодического действия: Учеб. пособие / Ю.Д.Тарасов, А.К.Николаев. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2005. 115 с.
15. Владимиров А.И., Щелкунов В.А., Круглов С.А Основные процессы и аппараты нефтегазопереработки: Учеб. пособие для вузов. - М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2002. - 227 с.
16. Гумеров А.Г., Гумеров Р.С., Акбердин А.М. Эксплуатация оборудования нефтеперекачивающих станций. 2001г.
17. Алиев Р.А. Трубопроводный транспорт нефти и газа,- М.: Недра, 1988.-368 с.
18. Бондарєв, В. С., Дубинець, О. І., Колісник, М. П., Бондарєв, С. В., Горбатенко, Ю. П., & Барабанов, В. Я. (2009). Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин.