МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

В.О. Волянюк, Д.О. Міщук

ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНІ МАШИНИ (СИСТЕМИ)

Конспект лекцій
для студентів спеціальностей 131 “Прикладна механіка”
та 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
У двох частинах
Частина 2

Київ 2020

УДК 69.002.5
В 71

Рецензент Ю. Д. Абрашкевич, канд. техн. наук, професор

Затверджено на засіданні навчально-методичної ради університету, протокол № 3 від 26 листопада 2019 року.

Волянюк В.О.

В 71 Підйомно-транспортні машини (системи): конспект лекцій: у 2-х ч. –Ч.2 / В.О. Волянюк, Д.О. Міщук. – Київ: КНУБА, 2020. – 172 с.

Представлено розрахунки, елементи та пристрої, характеристики та будову підйомно-транспортних і транспортувальних машин .

Призначено для студентів спеціальностей 131 “Прикладна механіка” та 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” усіх форм навчання

УДК 69.002.5

© В.О. Волянюк, 2020

© КНУБА, 2020

ЗМІСТ

ВСТУП..... 4
Лекція 6. **Козлові та пересувні стрілові крани**..... 5
6.1. Козлові крани……... 5
6.2. Пересувні стрілові крани..... 18
Лекція 7. **Пристрої безпеки кранів** ……... 49
7.1. Обмежувачі в механізмах та елементах крана……... 49
7.2. Пристрої безпеки кранів……... 61
Лекція №8. **Навантажувальні машини**..... 68
8.1. Одноківшеві навантажувальні машини циклічної дії……... 68
8.2. Навантажувальні машини безперервної дії та спеціальні машини……. 97
Лекція 9. **Конструктивні особливості та основи розрахунку транспортувальних машин з гнучкими тяговими органами**..... 101
9.1. Призначення і класифікація транспортувальних машин..... 101
9.2. Конструктивні особливості та основи розрахунку транспортувальних машин з гнучкими тяговими органами..... 109
Лекція 10. **Особливості конструкцій та розрахунку транспортувальних машин без гнучкого тягового органа**..... 136
10.1. Гвинтові, коливальні, роликові конвеєри та гравітаційні пристрої..... 136
10.2. Устаткування пневматичного та гідравлічного транспортування будівельних вантажів..... 157
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ..... 172

ВСТУП

Основною метою дисципліни “Підйомно-транспортні машини логістичних систем” є викладання студентам основ знань про вантажопідіймальні та транспортувальні машини, які використовуються у будівництві на підіймальних, монтажних і навантажувально-розвантажувальних роботах.

Завданням вивчення дисципліни “Будівельні машини та підйомно-транспортні системи” є вивчення конструкцій, розрахунку, проектування, правил безпечної експлуатації вантажопідіймальних, транспортувальних, навантажувально-розвантажувальних машин і обладнання.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні

знати: сучасні конструкції, теоретичні основи розрахунків, основи вибору і проектування, правила безпечної експлуатації вантажопідіймальних, транспортувальних, навантажувально-розвантажувальних машин і обладнання;

вміти:

– виконувати проектно-конструкторські та розрахункові роботи для створення вузлів, механізмів та агрегатів вантажопідіймальних, транспортувальних і навантажувально-розвантажувальних машин;

– визначати діючі під час роботи машини зусилля та на їх основі виконувати розрахунки на міцність, які б гарантували надійність роботи;

– обґрунтовано, на основі техніко-економічного аналізу, вибирати вантажопідіймальні, транспортувальні та навантажувально-розвантажувальні машини в залежності до потреб виробництва;

– створювати нові і вдосконалювати існуючі вантажопідіймальні, транспортувальні, навантажувально-розвантажувальні пристрої та механізми;

– сприяти використанню і розповсюдженню передової вантажопідйомної, транспортувальної техніки.

Лекція 6. **Козлові та пересувні стрілові крани**

6.1. Козлові крани

Козлові крани – це спеціалізована група вантажопідйомних машин, які застосовують для виконання вантажно-розвантажувальних та транспортних робіт на складських територіях підприємств і комбінатів будівельних виробів і конструкцій, попереднього складання конструкцій й основних монтажних робіт на будівництві естакад, шляхопроводів, мостів та метрополітену (за відкритого способу будівництва), а також монтажу будівель та технологічного обладнання промислових будівель і споруд. До недоліків козлових кранів належить мала маневровість та складність монтажу. В табл. 6.1 наведено класифікацію козлових кранів.

Таблиця 6.1

Класифікація козлових кранів

Класифікаційні ознаки		
Ходовий пристрій	Виконання металоконструкції	Робоче обладнання та робочі органи
Рейковий	Ригель звичайний, ригель попередньо напружений, з консолями, без консолей	Вантажні візки (один або два), гак, грейфер, електромагніт
Пневмоколісний	Ригель звичайний без консолей	Вантажний візок, гак, підхват

Відповідно до загальних норм козлові крани поділяють на три основні групи:

загального призначення – крани вантажопідйомністю до 32 т, що піднімають робочий орган на висоту до 9 м. Найчастіше використовують для навантаження-розвантаження вантажів, а також їх переміщення на невеликі відстані;

будівельно-монтажні – крани, основним призначенням яких є монтаж великогабаритних конструкцій. Вантажопідйомність подібних кранів сягає 600 т , довжина прогону може становити близько 80 м, а висота підіймання – 30 м;

спеціального призначення – це крани, здатні піднімати вироби масою до 900 т на висоту до 80 м, а прогін у них може сягати 130 м. Використовують для обслуговування гідротехнічних споруд, на контейнерних терміналах, а також під час роботи з негабаритним вантажем.

Козлові крани класифікують за такими ознаками:

1. За конструктивною ознакою, їх поділяють так (рис. 6.1):

а) козлові крани без консолей (рис. 6.1, *а*);

б) козлові крани з однією консоллю (рис. 6.1, *б*);

в) козлові крани з двома консолями (рис. 6.1, *в*);

г) козлові крани з підйомною консоллю (рис. 6.1, *г*).

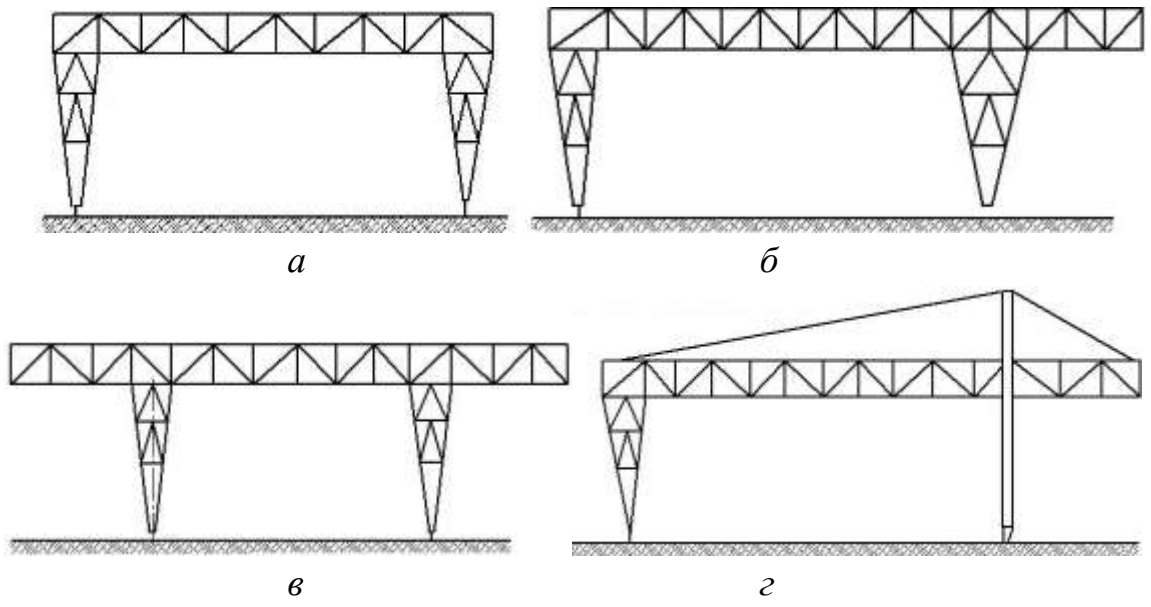


Рис. 6.1. Козлові крани за конструктивною ознакою

2. Залежно від профілю обслуговуваного майданчика виокремлюють:

а) козлові крани з опорними ногами, розміщеними на одному рівні (рис. 6.2, *а*);

б) козлові крани з опорними ногами, розташованими на різних рівнях (рис. 6.2, *б*);

в) козлові крани, у яких один з ходових візків розміщено на рівні прогінної будови (напівкозлові крани) (рис. 6.2, *в*).

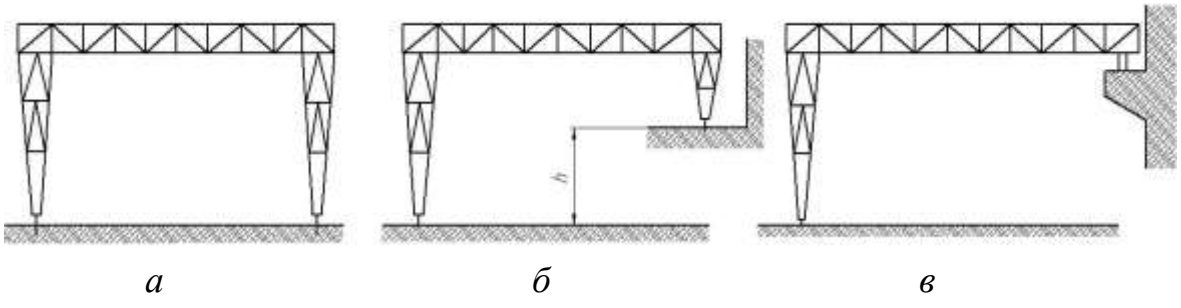


Рис. 6.2. Види козлових кранів залежно від профілю обслуговуваного майданчика

3. За перетином мостової конструкції козлового крана:

1. Гратчастої конструкції (рис. 6.3):

а – прямокутні; *б* – трикутні; *в* – овальні.

Овальні гратчасті конструкції мають найбільшу жорсткість. Як підйомна лебідка в такому разі використовується електрична таль, що пересувається по вантажному двотавру, підвішеному до прогінної будови.

а *б* *в*

Рис. 6.3. Козлові крани гратчастої конструкції

2. Суцільностінної конструкції (рис. 6.4):

а – одностінові; *б* – двостінові (коробчастого перетину)

Мостова конструкція виконується за аналогією до головних балок мостового крана, по яких переміщується типовий вантажний візок крана.

Рис. 6.4. Козлові крани суцільностінної конструкції

3. Рамної конструкції (рис. 6.5):

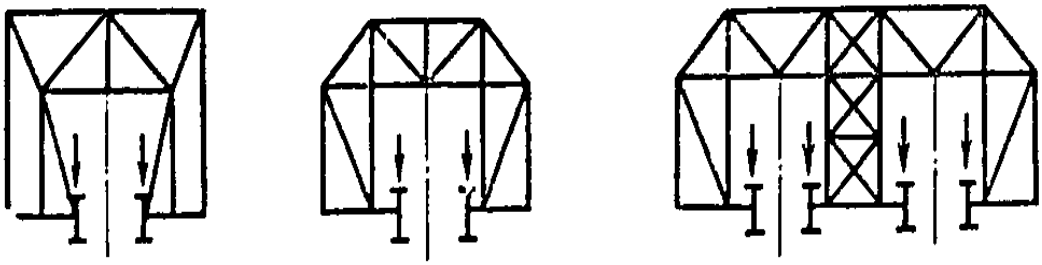


Рис. 6.5. Козлові крани рамної конструкції

Зазвичай у козлових кранах з прогоном до 30 метрів обидві опорні ноги жорстко з'єднуються з прогінною будовою (рис. 6.6).

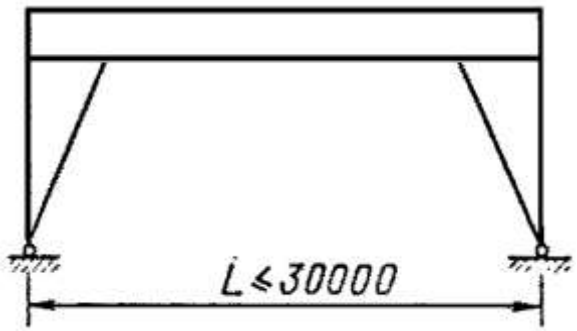


Рис. 6.6. Жорстке з’єднання опорних ніг

У міру збільшення прогону одну ногу проектують просторово жорсткою, другу – плоскою гнучкою.

Така схема унеможливлює вплив розпору на металоконструкцію крана, який виникає внаслідок дії підвищеної температури, що спричиняє подовження прогінної будови або порушення паралелі підкранового шляху.

Розрізняють дві схеми з'єднання жорсткої і гнучкої ноги з прогінною будовою:

1. Прогінна будова з'єднується з просторовою ногою жорстко, а плоска гнучка нога – за допомогою циліндрового шарніра, вісь якого розміщено в горизонтальній площині (рис. 6.7). Завдяки цьому гнучка нога може відхилятися на кут, не більший за п’ять градусів в обидва боки.

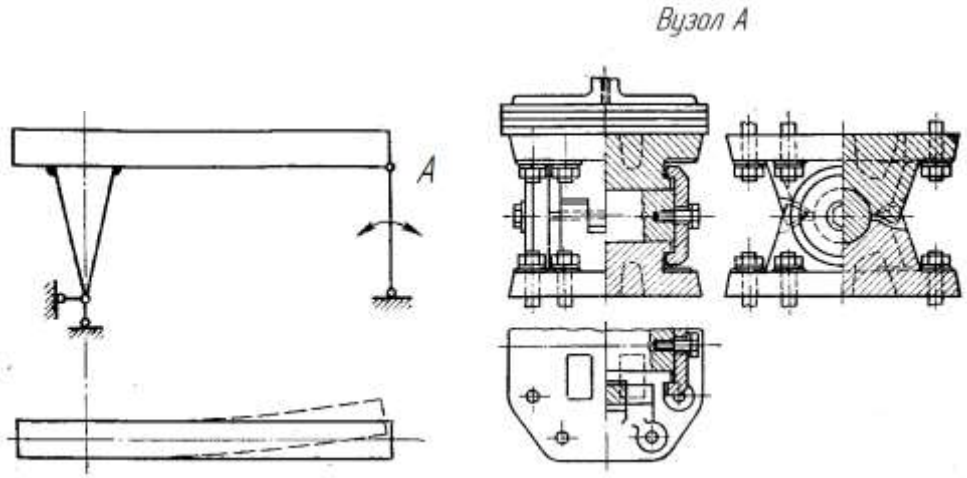


Рис. 6.7. З’єднання опорної ноги за допомогою циліндрового шарніра

У такому разі за забігу однієї ноги прогінна будова згинається в плані.

2. За другою схемою прогінна будова вільно спирається на ноги. За такого з'єднання просторової жорсткої ноги з прогінною будовою відбувається за допомогою опори ковзання, що допускає відносний поворот прогінної будови навколо центрального вертикального штиря просторової ноги. На плоску ногу прогінна будова спирається через сферичний шарнір, що забезпечує поворот ноги у всіх напрямках (рис. 6.8).

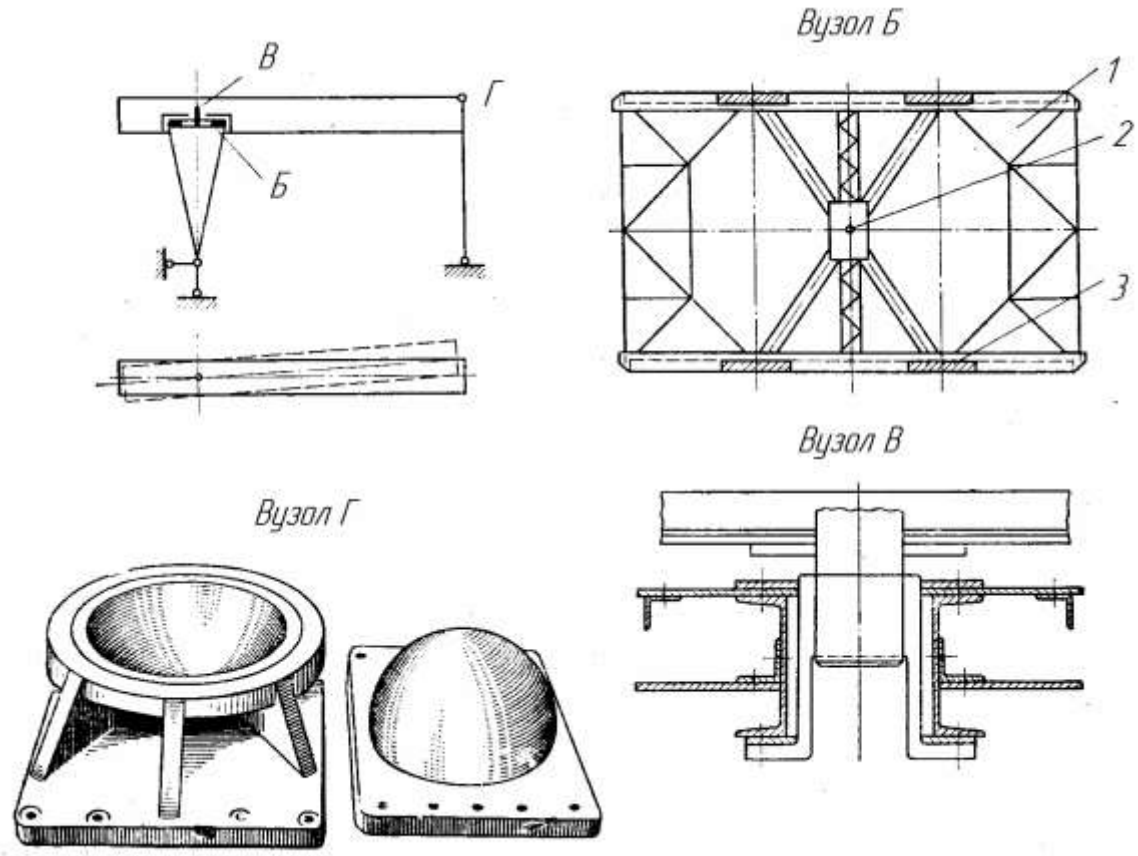


Рис. 6.8. З’єднання опорної ноги за допомогою сферичного шарніра

У цьому випадку у разі забігу однієї опорної ноги відносно другої прогінної будова не згинається в плані, а повертається відносно вертикального штиря жорсткої ноги.

4. За конструкцією мости поділяють так:

а) однобалкові,

б) двобалкові.

Найбільш поширеними є однобалкові мости вантажопідйомністю до 5 т. Мости виконують монорейковими з двотаврами N18M…45M ГОСТ 19425-74, зверху підсилюють металоконструкціями для забезпечення достатньої жорсткості.

Схематично конструкція козлового крана для промислового будівництва складається з прогінної частини *8* (рис. 6.9, *а*, *б*) об'ємно-ґратчастого типу (сталевий прокат чи труба), по якій пересувається вантажний візок *3* з вантажопідйомною траверсою *10*, гаковою обоймою *9* і поліспастами *12*.

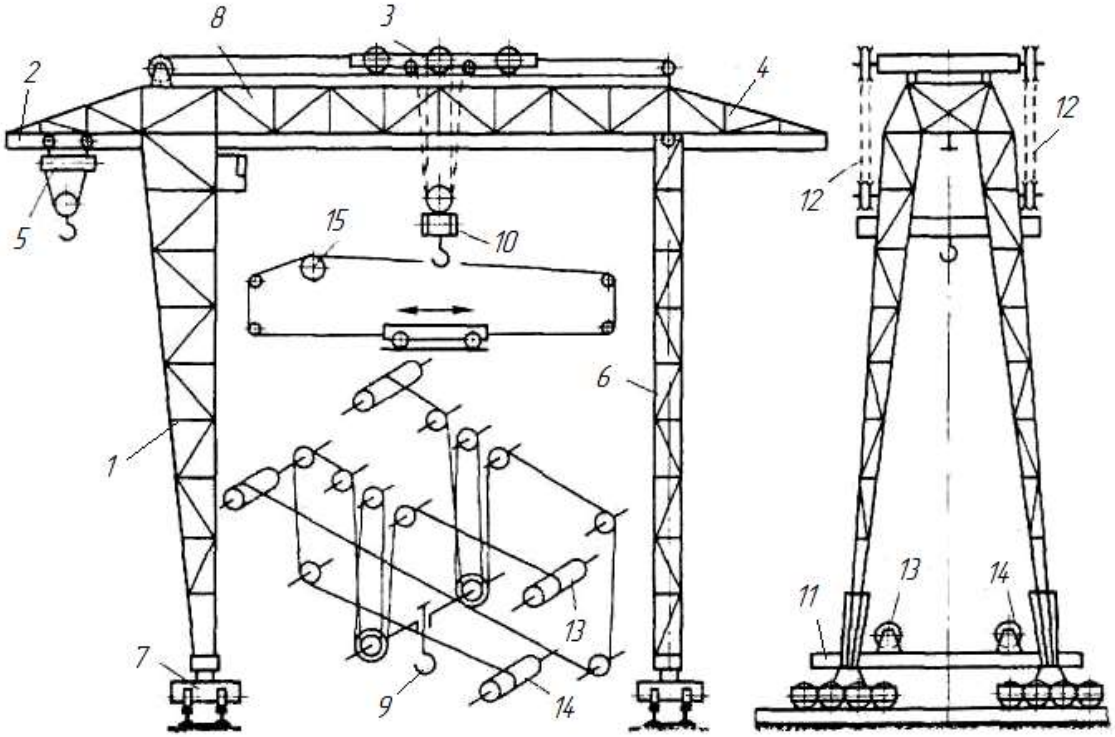


Рис. 6.9. Кран козловий: *а* – загальний вигляд; *б* – вигляд збоку; *в* – схема запасування каната вантажопідйомного механізму; *г* – схема запасування каната механізму пересування візка; *1* – опора жорстка (нога); *2, 4* – консолі; *3* – основний вантажний візок; *5* – додатковий вантажний візок; *6* – опора рухома (шарнірна); *7* – рейковий шлях; *8* – прогінна споруда; *9* – крюкова обойма; *10* – траверса; *11* – ходові візки; *12* – поліспаст; *13, 14* – вантажні лебідки; *15* – механізм пересування вантажного візка з фрикційною лебідкою

Міст з однією з опор *1* з'єднаний жорстко, а з другою *6* – шарнірно, для запобігання деформацій згину в крані внаслідок температурних коливань. Опори крана встановлюються на ходові візки

11, що пересуваються по дворейковому шляху *7*. Для обслуговування транспортних засобів поза прогоном крана, прогонна споруда виконується з консолями *2*, *4*. По нижньому поясу моста пересувається додатковий вантажопідйомний візок *5*.

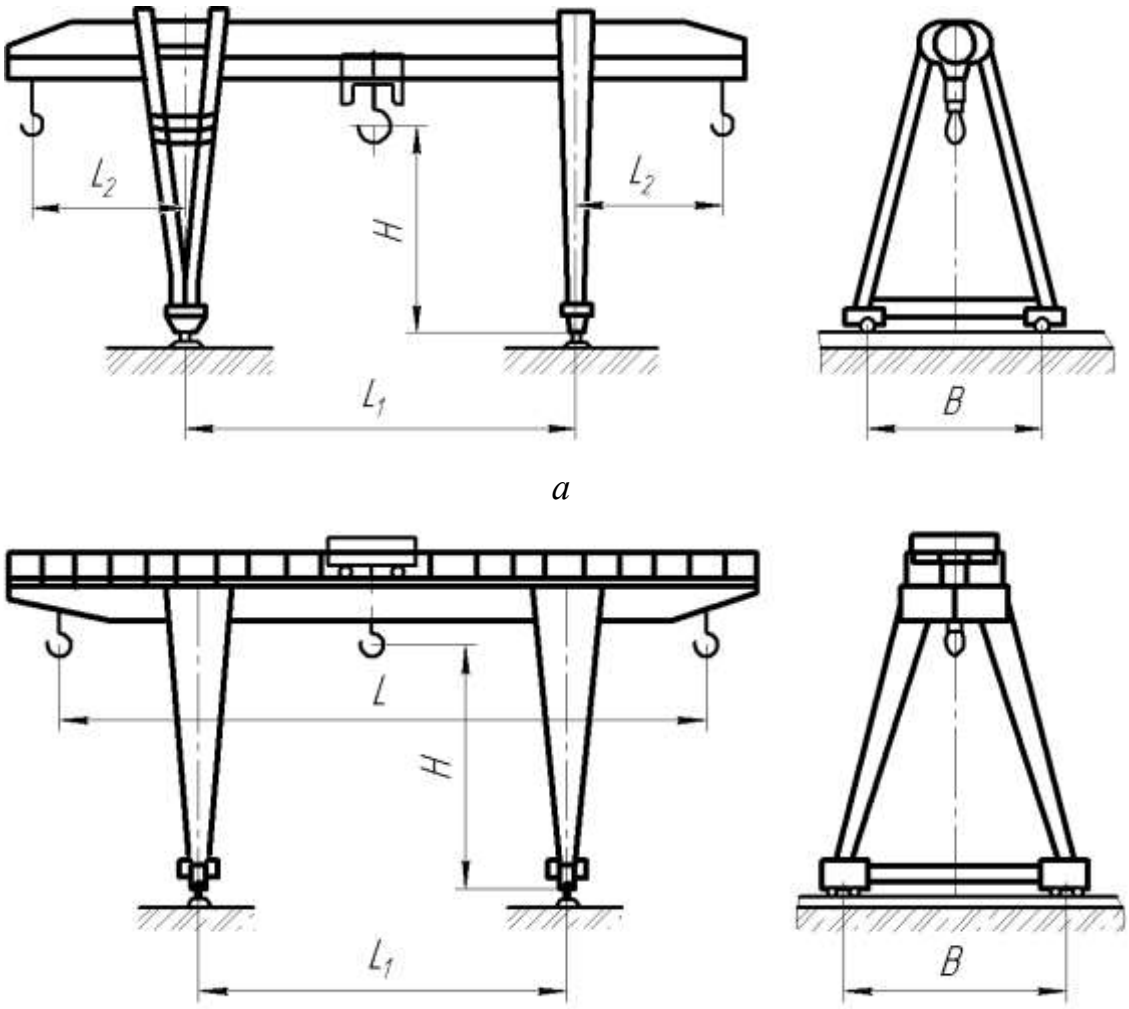
Пересування вантажного візка виконується за допомогою канатів електрореверсивної фрикційної лебідки *15* (рис. 6.9, *г*). Підіймання вантажу здійснюється двома поліспастами, канати яких закріплено на барабанах лебідок *13*, *14* (рис. 6.9, *б*, *в*). Підіймання вантажу може бути виконане однією лебідкою або, для збільшення швидкості підіймання, – двома. На деяких великовантажних кранах з метою більш широкого маневрування швидкістю підіймання застосовують чотири вантажопідйомні лебідки.

Переміщення вантажного візка здійснюється за допомогою канатної тяги від лебідки пересування візка або від механізму пересування, встановленого безпосередньо на візку.

Ходові візки крана оснащують пристроями проти угону, які автоматично вмикаються в роботу за швидкості вітру, вищої за допустиму.

Міст (ригель) козлового крана, що складається з однієї або двох ґратчастих ферм три- або чотирикутного перерізу з постійним або змінним перерізом на консолях, може бути попередньо навантаженими або ненавантаженим. Мости кранів малої (до 5 т) вантажопідйомності виготовляють у вигляді просторової ферми та їздової балки двотаврового профілю. Мости кранів середньої та великої вантажопідйомності виконують у вигляді чотирипоясної ґратчастої ферми прямокутного або трапецеподібного перерізу. На перевантажувальних кранах обидві опори можуть мати просторову форму з кутового профілю. Значного поширення набули козлові крани, які виготовляють із суцільних металоконструкцій зі застосуванням спеціальних профілів коробчастого типу.

До основних параметрів козлових кранів належать вантажопідйомність Q (рис. 6.10) як основного, так і допоміжного механізмів підіймання вантажу, прогін крана L_1 (або колія крана, тобто відстань між вертикальними осями ходових коліс, розміщенних на різних рейках), довжина ходу вантажного візка L, висота підіймаих гака H та база крана B – відстань між шарнірами ходових візків, встановлених на одній рейці.



а

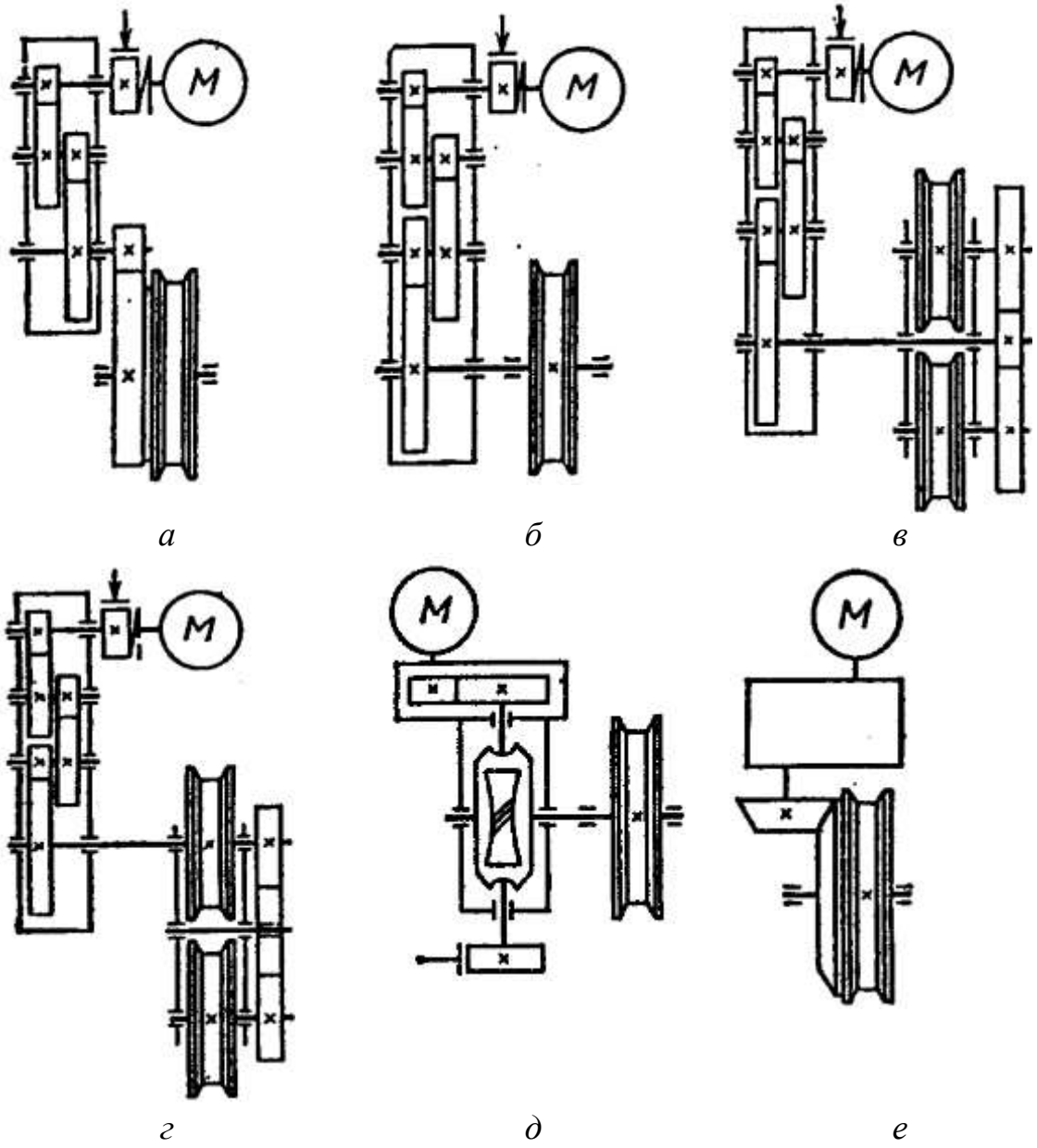
б

Рис. 6.10. Основні параметри козлового крана:
а – з переміщенням вантажного візка по нижній балці;
б – те саме по верхній балці

Механізм пересування козлових кранів встановлюють на ходовій рамі порталу. Крани зазвичай мають від 8 до 24 ходових коліс, половина з яких – привідні. Привідні механізми розміщуються по обидва боки крана.

Крани вантажопідйомністю до 20 т спираються на чотири одноколісні візки (два з них – привідні); за вантажопідйомності 30 т та більше – на чотири візки двоколісні балансирні (два з них привідні) – для рівномірного навантаження на кожне колесо. Ходові колеса циліндричні дворебордні, встановлені на двох роликопідшипниках сферичних. Незалежно від навантаження потрібно брати ходові колеса діаметром не менш ніж 400 мм. Це запобігає поштовхам під час переходу через стики рейкових шляхів.

Механізми пересування козлових кранів загального призначення виконують з роздільним електроприводом. Редуктори зазвичай застосовують циліндричні, рідше черв'ячні або конічні. Конструктивно кранові механізми пересування виконують у вигляді скріплених з основою стійкою опор одно- або двоколісних візків і рідше ходових балок, на які попарно спираються дві стійки. Застосовують декілька схем приводів механізмів пересування козлових кранів (рис. 6.11).



а *б* *в*

г *д* *е*

Рис. 6.11. Кінематичні схеми механізмів пересування козлових кранів:
а – з проміжною відкритою зубчастою передачею; *б* – з навішеним на кінець вала ходового колеса редуктором; *в*, *г* – з проміжною відкритою зубчастою передачею і двома привідними колесами; *д* – з черв'ячною передачею; *е* – з конічною передачею

На рис. 6.12 представлено ходовий привідний візок козлового крана ККС-10 (за схемою *а* на рис. 6.11). Рама візка, на якому встановлено механізм пересування, виготовлена з двох балок швелера *1*. Вал-шестерню відкритої зубчастої передачі, що обертається на двох опорах, з'єднано з вихідним валом редуктора за допомогою зубчастої муфти. Таке з'єднання хоча і дещо збільшує габарити механізму, проте є технологічним для складання та ремонтів.

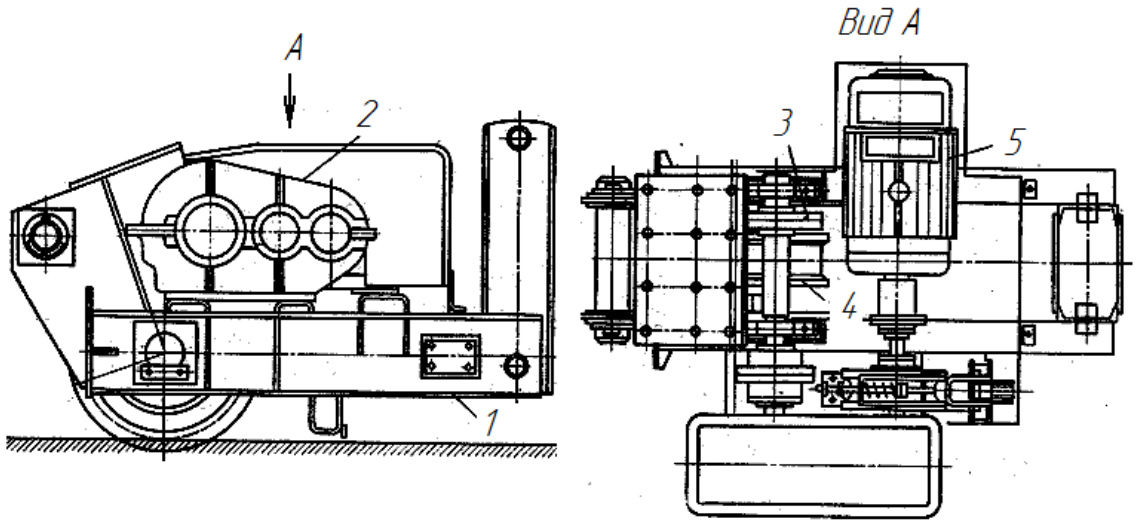


Рис. 6.12. Ходовий візок козлового крана ККС-10:
1 – рама візка; *2* – циліндричний горизонтальний редуктор; *3* – відкрита зубчаста передача; *4* – ходове колесо; *5* – електродвигун

Механізми крана мають електричний привід і живляться від зовнішньої електромережі (змінний струм напругою 380 В) через тролеї (рис. 6.13) з кабелеукладачем або гнучким кабелем. Для збереження кабелю застосовують кабельні барабани, що збирають на свою поверхню кабель або розстеляють його (під час руху крана) по дерев'яному коробі, розміщеному між рейками або збоку від нього.

У конструкціях деяких кранів на вантажному візку, що переміщається по верхньому поясу моста, встановлюють шеври (отримують опорний стріловий кран, який має можливість змінювати виліт), що мають вантажопідйомність до 10 т, виліт гака – до 10 м. Кабіна керування (одна або дві), яку встановлюють в опорі крана або підвішують до вантажних візків, переміщується разом з ними вздовж нижнього поясу моста крана.

Усі козлові крани обладнано приладами безпеки. Ходові візки крана оснащують протиугінними пристроями, які автоматично спрацьовують за швидкості вітру, вищої за допустиму.

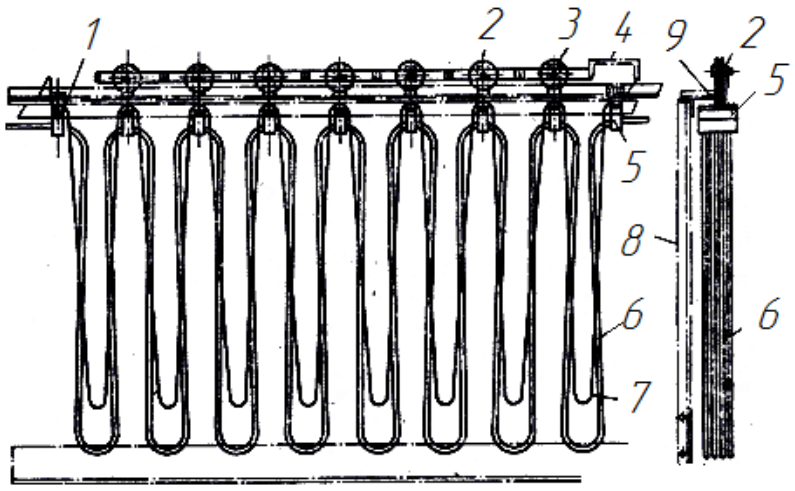


Рис. 6.13. Кабельне підведення струму від тролеї:
1 – нерухоме кріплення кабелю; *2* – каретка; *3* – ролик каретки; *4* – поводок; *5* – затискач; *6* – гнучкий кабель; *7* – допоміжний канат; *8* – опора; *9* – тролея

Залежно від параметрів, місця встановлення та тривалості роботи козлових кранів застосовують підкранові шляхи, що складаються з дерев'яних шпал або залізобетонних блоків (плит) з піщаною або щебеневою основою, а також з дерев'яних шпал на бетонній основі, на які встановлюють рейки.

Монтаж козлових кранів здійснюють такими способами:

- за допомогою одного або двох стрілових самохідних кранів (рис. 6.14);
- за допомогою однієї або чотирьох підйомних щогл з комплексом поліспастів та лебідок;
- склад на землі з подальшим підійманням (з поворотом на 90°);
- підіймання крана за допомогою його власних механізмів та стягувальних поліспастів.

У разі монтажу крана за допомогою його механізмів опори крана шарнірно прикріплюють до балки і, стягуючи їх канатом, виконують монтаж крана. Після підіймання крана опори з'єднують між собою тягою. Зусилля F, потрібне для підіймання крана вагою G_0, залежить від кута α нахилу ніг:

$$F = \frac{kG_0}{4tg\alpha}, \qquad (6.1)$$

де k = 1,25 – коефіцієнт, що відображає тертя в шарнірах й опір пересуванню візків.

Для збільшення кута α в початковий період підіймання крана під час монтажу під головну ферму підкладають дерев'яні бруси.

Рис. 6.14. Монтаж козлового крана за допомогою стрілових кранів

Перевозять козлові крани з об'єкта на об'єкт автотранспортом або залізницею в розібраному вигляді укрупненими вузлами.

Козлові крани прості за конструкцією, виготовленням та надійні в експлуатації, а П-подібна конструкція кранів дає змогу досягти сталої вантажопідйомності на всьому прогоні крана. Є конструкції козлових кранів, у яких міст може бути повністю використаний для мостового крана (з встановленням на ньому уніфікованих ходових візків з механізмом пересування). Сучасні козлові крани характеризуються універсальністю виконання, що дає можливість застосовувати близько 40 схем складання, які розрізняються між собою висотою підіймання гака, прогоном та вантажопідйомністю. При цьому важкі крани мають від одного до чотирьох основних і один-два допоміжних вантажопідйомних гаки.

Вантажопідйомність сучасних козлових кранів знаходиться в межах від 3 до 500 т, висота підіймання гака – до 52 м, прогін – до 75 м, довжина консолі – до 12 м. Для монтажу важкого промислового устаткування – цементних печей, казанів, турбогенераторів – застосовують козлові крани вантажопідйомністю 100…125 т з прогоном 20…25 м та висотою підіймання 12,5…25 м. На будівництві атомних станцій працюють козлові крани вантажопідйомністю до 400 т.

У напівкозлового крана (рис. 6.15) міст спирається на одну жорстку опору (як у козлового крана) і на конструкцію будівлі.

Рис. 6.15. Напівкозловий кран

Кран пересувається по рейкових шляхах, укладених на підлозі будівлі і на його будівельній конструкції. Для зменшення навантажень на конструкцію будівлі механізми підіймання і пересування вантажного візка встановлюють на жорсткі опори. Напівкозлові крани застосовують для монтажу устаткування і навантажувально-розвантажувальних робіт. Їхня вантажопідйомність становить 10…30 т, прогін – 11…28 м.

Швидкість підіймання вантажів кранами, обладнаними електроталями – 8 м/хв, двошвидкісними талями– 8/2,8 м/хв. Для кранів з іншими вантажопідйомними пристроями швидкість дарівнює 6,3; 8; 10; 16 та 20 м/хв залежно від призначення крана. Швидкість пересування електроталі або вантажного візка – 20, 32 та 40 м/хв; швидкість пересування крана – 20, 32, 40, 63 та 80 м/хв.

Козлові крани з прогоном між осями підкранових колій понад 30 м (до 120 м) з однією або двома консолями і грейферним візком, які використовують для перевантаження сипких матеріалів, називаються перевантажувальними мостами (рис. 6. 16).

Розрахунок механізмів козлового крана аналогічний розрахунком для механізмів мостового крана, тільки при цьому у більшості випадків потрібно брати до уваги вітрове навантаження.

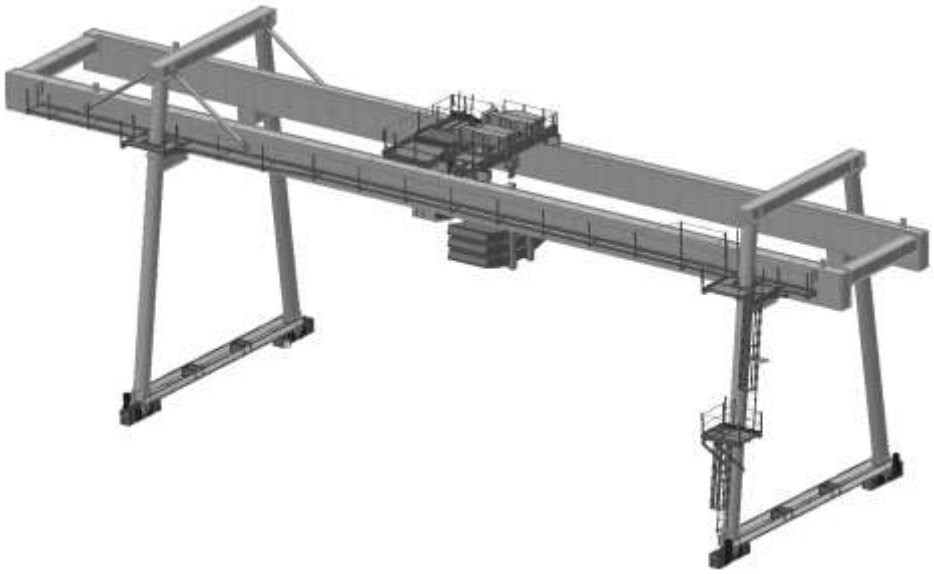


Рис. 6.16. Конструкція перевантажувального двобалкового моста

6.2. Пересувні стрілові крани

Пересувні стрілоподібні крани можна поділити на прості пересувні стрілоподібні й універсальні пересувні стрілоподібні крани. До простих пересувних стрілоподібних кранів можна віднести монорейкові і консольні стріловидні пересувні крани. До універсальних пересувних кранів належать баштові, портальні, самохідні стрілові крани.

Прості пересувні стрілоподібні крани

Монорейкові крани, що переміщаються по одній нитці рейки, на практиці дістали назву велосипедних кранів.

Монорейкові крани широко застосовують у цехах з вузькими проходами і за невеликої висоти цеху, там, де встановлення мостових або інших вантажопідйомних машин викликає значні труднощі, наприклад, у залізничних депо, на металургійних підприємствах, як допоміжний підйомно-транспортний засіб на складах та ін.

На рис. 6.17 представлена схема монорейкового пересувного крана.

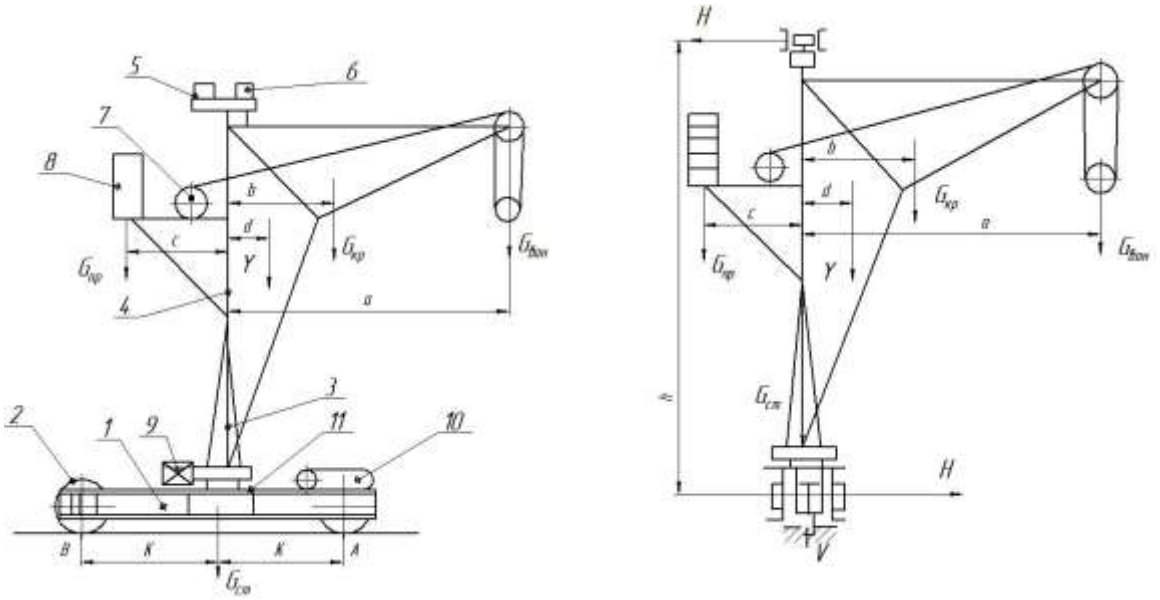


Рис. 6.17. Схема монорейкового пересувного крана

Монорейковий кран складається з легкої конічної колони *3*, закріпленої у втулці *11*, яка жорстко зв'язана за допомогою болтів з рухомим монорелаковим ходовим візком *1*, встановленим на двох ходових колеса, що переміщаються по одній рейці. На колону *3* спирається металоконструкція крана *4*, що має у верхній частині траверсу *5*, в якій встановлено горизонтальні ролики *6* з обох боків охоплених напрямними, прокладеними уздовж шляху переміщення крана (ділянки, цеху). На консолі металоконструкції розміщується противага *8* і механізм підйому вантажу *7*. На рамі монорейкового ходового візка встановлюють механізм пересування крана *10* і механізм повороту крана *9*.

Основні параметри монорейкового пересувного стрілоподібного крана: вантажопідйомність Q – до 10 т; виліт крана a – до 7 м; висота підіймання h – до 6 м; швидкість підіймання вантажу $V_в$= 8…12 м/хв; швидкість пересування крана $V_к$= 40…80 м/ хв; частота обертання крана n = 1…3 об/хв.

Монорейкові крани виконують три рухи - підіймальні, поворотні і поздовжньо-поступальні. Залежно від типу металоконструкції монорейкові крани поділяють так:

- типової ґратчастої конструкції (рис. 6.18, *а*);
- ромбічної конструкції (рис. 6.18, *б)*;
- молотоподібної конструкції (рис. 6.18, *в*);
- суцільностінної конструкції (рис. 6.18, *г*).

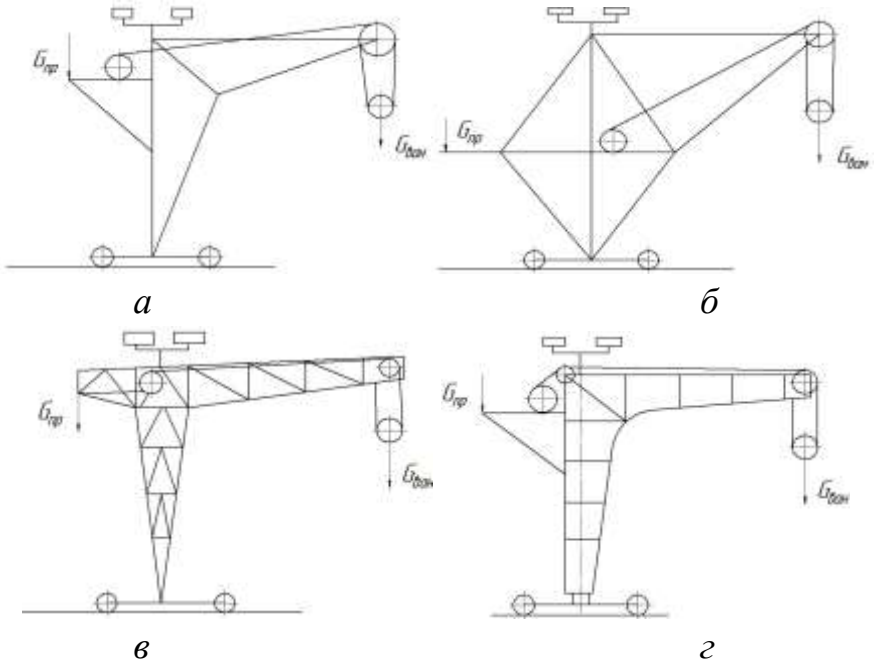


Рис. 6.18. Монорейкові крани за типом металоконструкції

Визначення навантаження на ходові колеса монорейкового крана

Для вибору і розрахунку ходових коліс монорейкового крана потрібно визначити величину їх навантаження (рис. 6. 19).

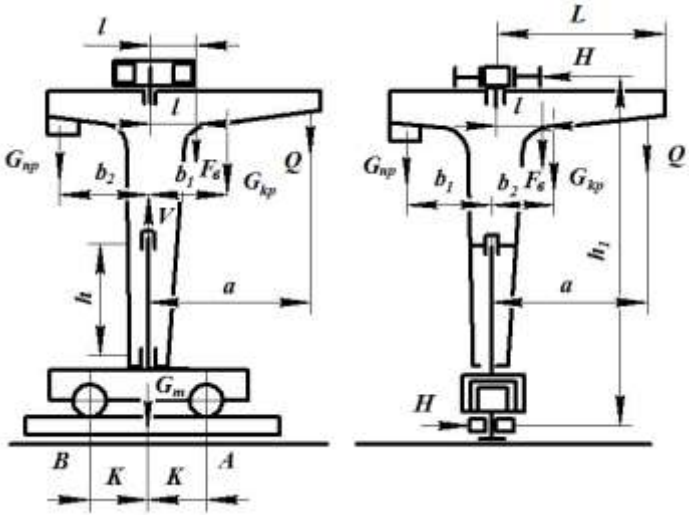


Рис. 6. 19. Визначення навантаження на ходові колеса

У разі положення стріли монорейкового крана вздовж рейкового шляху навантаження на ходові колеса дорівнюватиме:

$$R_A = \frac{G_т}{2} + \frac{F_в(l+k)}{2k};$$

$$R_B = \frac{G_Т}{2} + \frac{F_в(k-l)}{2k},$$

де $G_т$ – вага візка, Н; $F_в = Q + G_{кр} + G_{пр}$; $Q, G_{кр}, G_{пр}$ – відповідно вага вантажу, крана, противаги, Н.

Горизонтальна реакція в такому разі дорівнює нулю: $H = 0$.

У разі положення стріли монорейкового крана перпендикулярно рейковому шляху вертикальне навантаження на ходові колеса дорівнюватиме:

$$R_A = R_B = \frac{\sum V + G_T}{2};$$

горизонтальне навантаження на верхні ролики:

$$H = \sum V \frac{l}{h_1}.$$

Консольні крани

Консольні крани належать до монорейкових стрілоподібних пересувних кранів. Настінні консольні крани призначені для обслуговування робочих площ безпосередньо біля стін цеху, де обслуговування мостовими кранами утруднене.

Консольні крани класифікують за кількома ознаками:

за конструктивною ознакою:

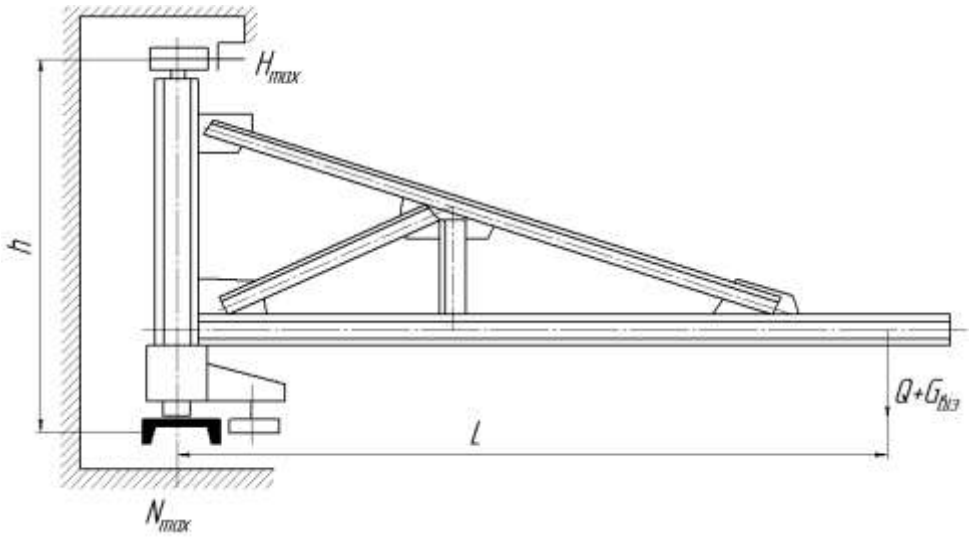
- настінні консольні пересувні неповоротні крани;
- настінні консольні пересувні поворотні крани,

за типом металоконструкції консолі:

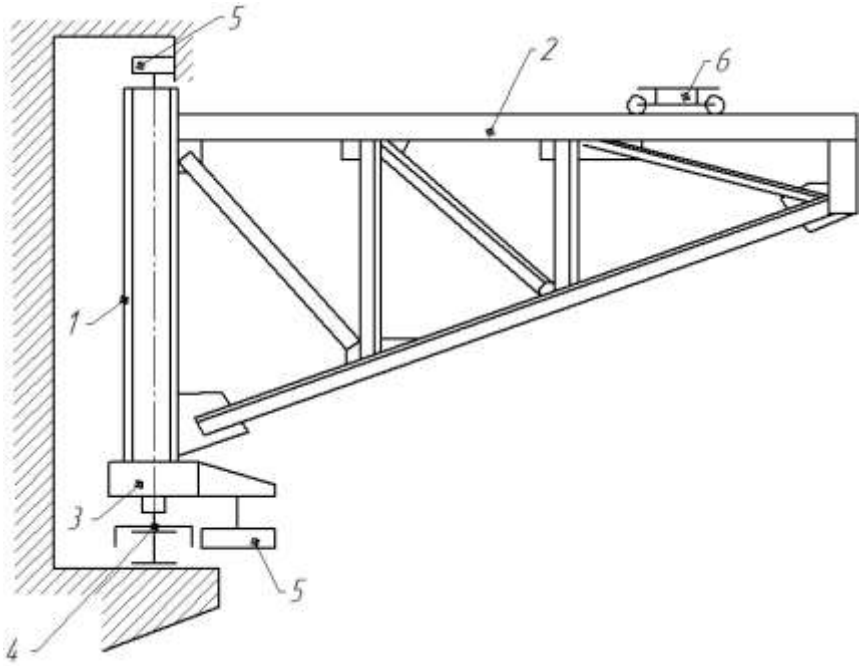
- консольні крани з їздою по верхньому поясу;
- консольні крани з їздою по нижньому поясу.

Консольні неповоротні крани

Зміна вильоту стріли у неповоротних консольних кранів здійснюється за допомогою вантажного візка, що пересувається по консолі крана по верхньому або нижньому поясу (рис. 6. 20 *а, б*).



а



б

Рис. 6. 20. Настінний консольний кран з їздою:
а – «по низу»; *б* – «по верху»

Консольний кран складається з жорсткої вертикальної рами *1*, консолі *2*, ходового візка *3*, двох ходових коліс *4*, верхнього і нижнього горизонтальних роликів *5* і вантажного візка *6*.

Вертикальна рама консольного крана повинна бути достатньо жорсткішою і міцнішою, тому її виконують у вигляді ґратчастої конструкції з прокатних профілів або листів (рис. 6. 21).

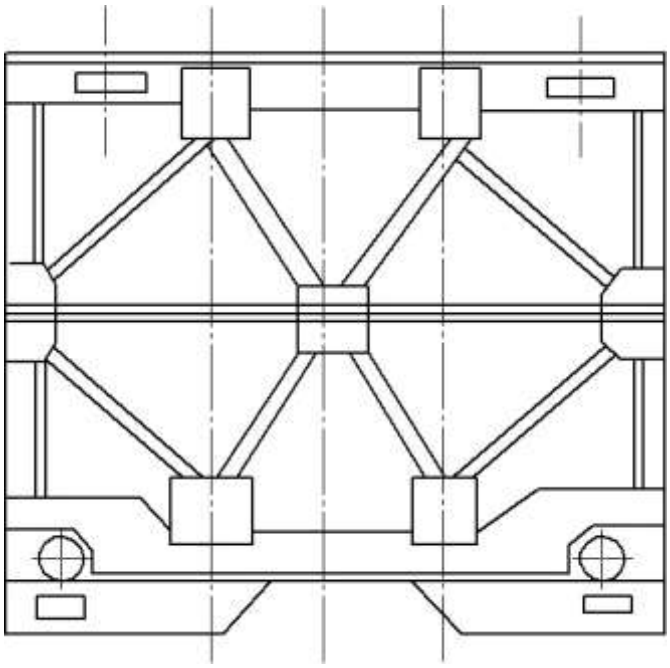


Рис. 6.21. Гратчаста рама вертикальної рами консольного крана

На конструкцію консольного крана істотний вплив справляє обрана схема механізму підіймання вантажу, отже, і компонування вантажного візка в цілому.

Якщо як механізм підіймання обрано електроталь, то для її пересування звичайно застосовують двотавр, прикріплений знизу до консолі крана – кран з їздою по нижньому поясу.

Якщо механізм підіймання виконано аналогічно механізму підіймання мостового крана, то використовують типовий візок крана. У такому разі консоль крана є двобалковою конструкцією з рейками для вантажного візка, переміщуваною по верхньому або нижньому поясу консолі. Головні ферми консольного крана виконують як гратчастими, так і суцільностінними.

Потрібну кількість привідних коліс визначають за запасом зчеплення ходових привідних коліс з рейкою.

Механізм пересування (рис. 6.22) складається з двигуна *1*, гальма *3*, двох черв'ячних або конічних редукторів *4*, муфт *2* і ходових коліс *5*.

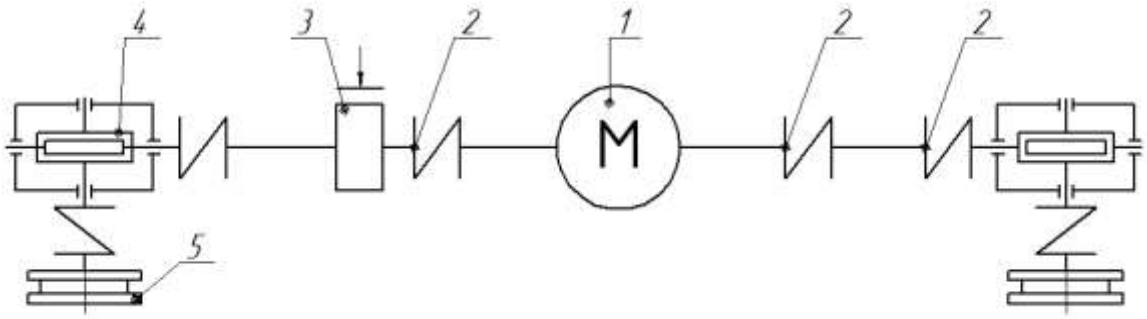


Рис. 6. 22. Механізм пересування консольного крана

Вертикальні ходові колеса виконують дворебордними, встановленими на буксах викочувань.

Горизонтальні ролики для уникнення їх затискання внаслідок деформації балок виготовляють зі сферичною поверхнею катання.

Консольні поворотні крани

Консольний поворотний кран (рис. 6. 23) складається з поворотної і неповоротної частин. Неповоротна частина крана має візок *1*. У центрі візка встановлено нерухому колону *2*, яка слугує для передавання зусиль поворотної частини і згинального моменту, що діє на кран, з поворотної конструкції крана на неповоротну частину крана.

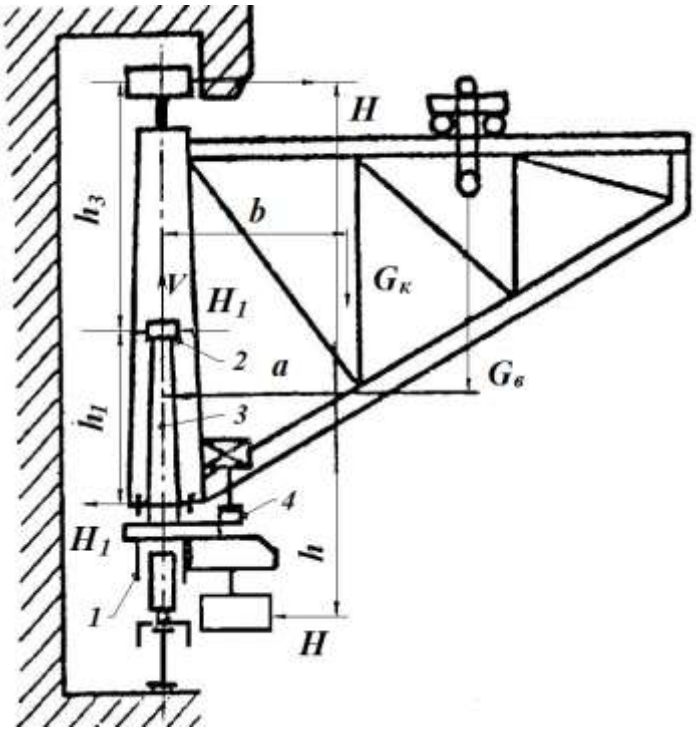


Рис. 6. 23. Розрахункова схема консольного поворотного крана

У траверсі колони крана *3* для передавання вертикальних і горизонтальних навантажень встановлено опорний і радіальний підшипники. Внизу на конструкції крана, що обертається, встановлено роликову коробку *4*, яка сприймає горизонтальні навантаження від перекидного моменту вантажу, зумовленого масою, вантажним візком і стрілоподібною поворотною частиною крана.

Зміна вильоту стріли поворотних консольних кранів відбувається, якщо кран без вантажного візка, шляхом повороту консолі, та якщо кран має вантажний візок, то одночасно поворотом консолі і пересуванням візка.

У положенні консолі паралельно рейковому шляху верхні і нижні горизонтальні ролики не навантажені:

$$V = G_к + G_в; \qquad H = 0.$$

Горизонтальна реакція, що діє на радіальний підшипник траверси і роликову коробку, становитиме:

$$H_1 = \frac{G_в a + G_к b}{h_1}.$$

У разі положення консолі перпендикулярно до рейкового шляху верхні і нижні ролики сприймають максимальне навантаження, що дорівнює:

$$н_{max} = \frac{G_в a + G_к b}{h}.$$

Навантаження на колону крана внаслідок повороту консолі залежить від кута поворота консолі.

У наслідок повороту консолі на кут «α» навантаження на горизонтальні ролики збільшується і досягає максимального значення за «$\alpha = 90^o$», навантаження на нерухому колону крана при цьому зменшується.

Стрілові самохідні крани

Самохідні стрілові крани застосовують у будівництві на вантажних і монтажних роботах. Вони вирізняються мобільністю, великою різноманітністю змінного робочого обладнання.

Класифікують самохідні крани за типом ходового обладнання (пневмоколісні, на спеціальному шасі автомобільного типу, гусеничні, на тракторі, причіпні, автомобільні), за типом приводу (одно- чи багатомоторний, електричний, гідравлічний, дизель-електричний або комбінований), за видом стрілового обладнання (сталої довжини, висувними і телескопічними стрілами).

Індексація самохідних кранів (рис. 6. 24) містить перші дві букви – КС (кран стріловий) і чотири цифри. Перша цифра означає розмірну групу, друга – тип ходового обладнання, третя – виконання стрілового обладнання, четверта – порядковий номер моделі. Можливі букви після цифр – А, Б, В – чергова модернізація; ХЛ, Т, ТВ – виконання для кліматичних зон (північне, тропічне, або для роботи у вологому тропічному кліматі).

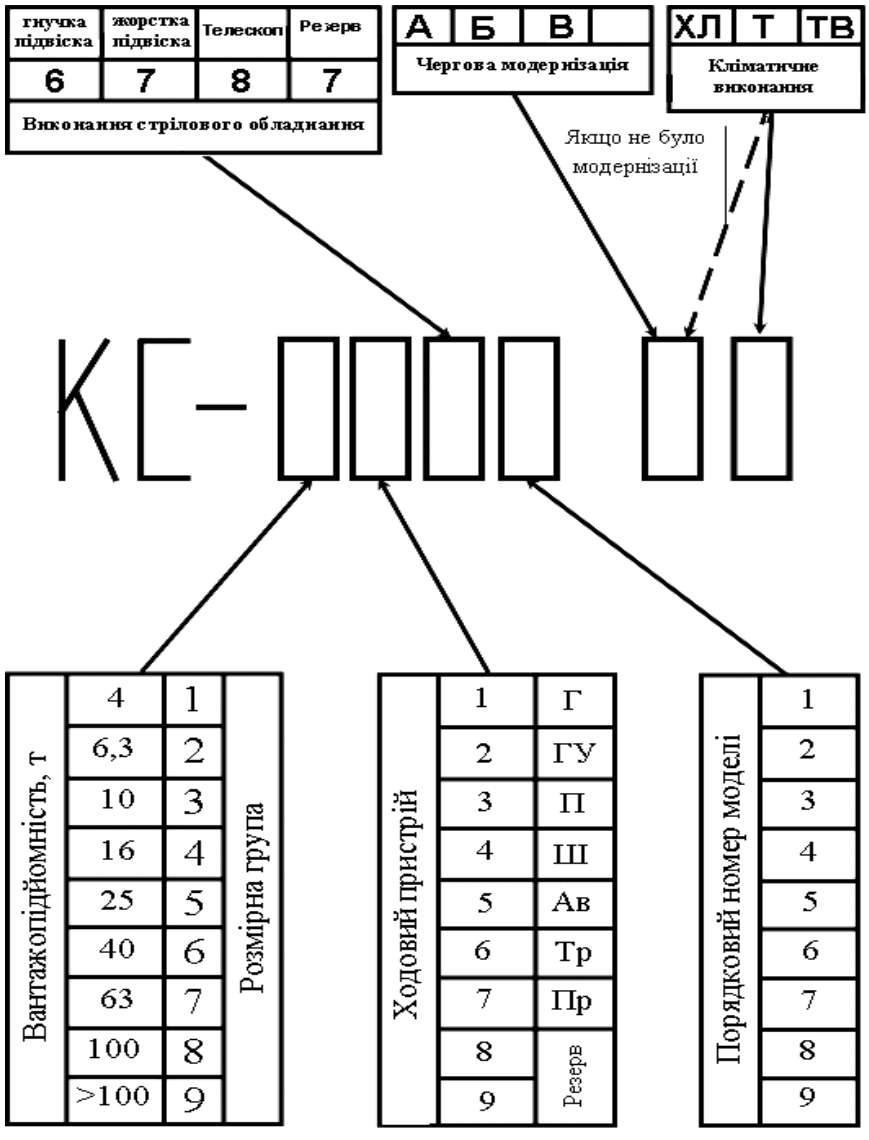


Рис. 6. 24. Схема індексації стрілових самохідних кранів

Наприклад, індекс КС-658АХЛ означає таке: кран стріловий вантажопідйомністю 40 т, автомобільний з телескопічною стрілою, четвертої моделі, першої модернізації у північному виконанні. Існують й інші індексації: МКТ, МКП, МКА, СКГ (монтажний кран гусеничний, монтажний кран пневмоколісний, монтажний кран автомобільний, стріловий кран гусеничний). У цифрових позначеннях цих індексацій вказується вантажопідйомність, наприклад СКГ- 40 – стріловий кран гусеничний вантажопідйомністю 40 т.

Відповідно до держстандарту 22827-85 стрілові самохідні крани залежно від конструкції ходового пристрою позначають так: КА – автомобільні, КП – пневмоколісні; КГ – гусеничні; КШ – на спеціальному шасі автомобільного типу; КК – на короткобазовому шасі. Число, яке стоїть у літерному позначенні, вказує на вантажопідйомність крана. За стандартом [16] індекс стрілових самохідних кранів розшифровується так: КА-10 – автомобільний кран вантажопідйомністю 10 т; КП-25 – пневмоколісний кран вантажопідйомністю 25 т; КГ-250 – гусеничний кран вантажопідйомністю 250 т; КШ-63 – кран на спеціальному шасі автомобільного типу вантажопідйомністю 63 т; КК-16 – короткобазовий кран вантажопідйомністю 16 т.

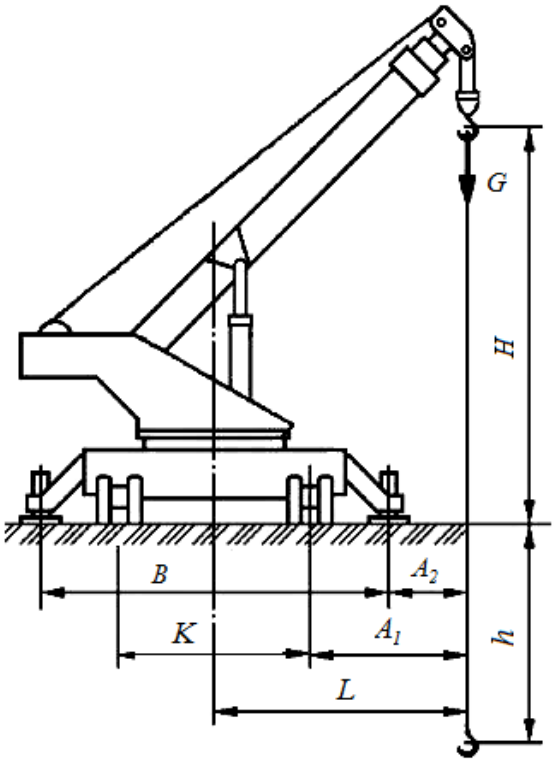


Рис. 6. 25. Схема геометричних параметрів стрілового крана

Основними параметрами самохідних стрілових кранів (рис. 6. 25) є такі: маса крана, вантажний момент, максимальна вантажопідйомність, виліт гака *l*, ребра перекидання A_1 та A_2 відповідно відносно осі обертання поворотної платформи без виносних опор та з виносними опорами (ребром перекидання називається вісь, відносно якої можливе перекидання крана в разі втрати стійкості), максимальна висота підіймання гака *H*, глибина його опускання *h*, колія ходового візка *K*, база *B*, питомий тиск на ґрунт (для гусеничних кранів) або навантаження на ходову вісь (для кранів на пневматичних колесах), швидкість підіймання, опускання,

посадки, відриву, горизонтального переміщення вантажу, частота обертання поворотної частини, робоча і транспортна швидкість пересування, потужність силової установки, продуктивність крана та ін.

Розрізняють стрілові самохідні крани *загального призначення* для будівельно-монтажних і вантажно-разважувальних робіт широкого профілю та *спеціальні* для виконання технологічних операцій певного виду (крани-трубоукладачі, залізничні та плавучі крани).

Як вказано раніше, найбільшого поширення набули автомобільні крани. Вони випускаються вантажопідйомністю 4; 6,3; 10; 16; 25 і 40 т.

Вантажопідйомне і поворотне обладнання монтують на дво- чи тривісних шасі автомобілів, що серійно випускаються. На рамі автомобіля *13* (рис. 6. 26) закріплюється рама поворотної платформи *7*; на рамі автомобіля кріпляться також виносні опори *11* і стабілізатор, який блокує підвіску автомобіля під час роботи крана. На поворотній платформі закріплено відсік з лебідкою та механізмами крана *12*, стріла *5, 6* і противаги *9,10*. Привід кранових механізмів здійснюється від двигуна автомобіля. Потужність від двигуна надходить до механізмів крана через коробку відбору потужності, яка з'єднується з гідронасосом.

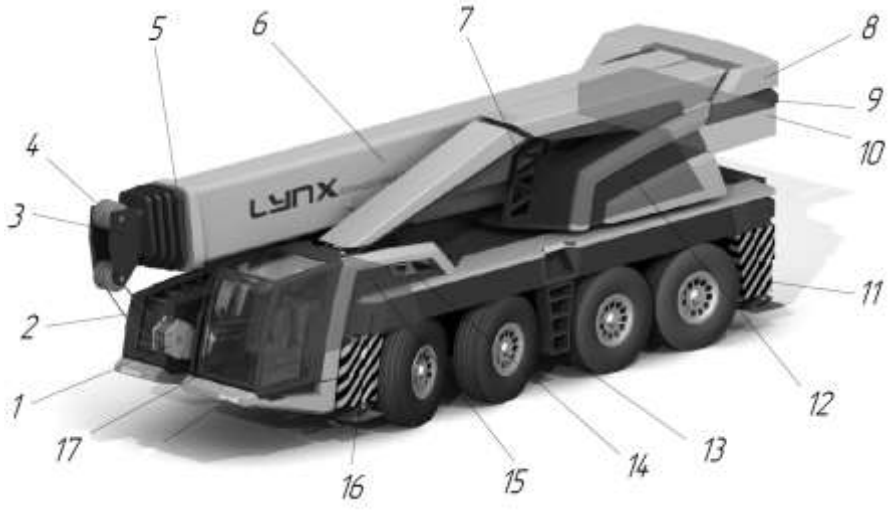


Рис. 6. 26. Самохідний стріловий кран на пневмоходу:

1 – гакова підвіска; *2* – вантажний поліспаст; *3* – обойма блоків; *4* – блоки; *5, 6* – телескопічна стріла; *7* – рама поворотної платформи; *8* – портал стріли; *9* – стаціонарна противага; *10* – додаткова функціональна противага; *11* – виносні опори; *12* – відсік з лебідкою та механізмами крана; *13* – рама автомобіля; *14* – повітрозбірник двигуна; *15* – двигун крана; *16* – самохідне пневмоколісне шасі; *17* – кабіна керування

У ряді типів механічних кранів застосовується електромеханічний привід. Двигун автомобіля обертає ротор генератора; електроенергія, яка виробляється генератором, живить електродвигуни приводів окремих механізмів крана.

Автокрани сучасних конструкцій можуть працювати без встановлення на аутригери (виносні опори) і переміщуватися по будівельному майданчику з вантажем на гаку. Але при цьому їх вантажопідйомність зменшується на 60...80% від максимальної.

Основними збірними одиницями автомобільного крана такі: неповоротна (спеціальна) та поворотна рами; опорно-поворотний пристрій; виносні опори; стрілове устаткування; вантажна лебідка; механізм повороту; кабіна машиніста.

Неповоротна рама КТА-25 (рис. 6. 27) являє собою просторову зварну конструкцію, що складається з поздовжніх балок *1* і *2,* з'єднаних із середньою частиною – рамою *3,* до якої приварене кільце *4.* Кільце слугує опорною частиною між неповоротною і поворотною рамами. До поздовжніх балок приварено поперечні балки *5*. В конструкції рами застосовуються переважно листи з дрібнозернистої сталі. В нижній частині неповоротної рами приварено спеціальні кронштейни для прикріплення рами до базової рами шасі автомобіля.

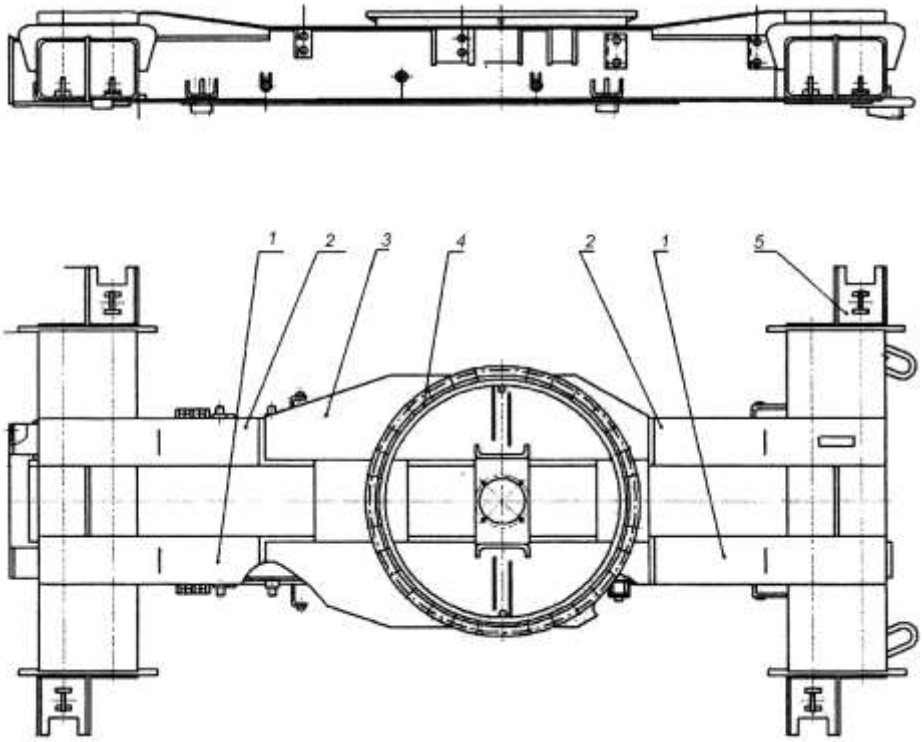


Рис. 6. 27. Неповоротна рама крана КТА-25

На неповоротній рамі закріплюють опорно-поворотний пристрій, виносні опори (аутригери), механізм блокування підвіски шасі крана (стабілізатори крана).

Опорно-поворотний пристрій (рис. 6. 28), призначений для здійснення повороту поворотної частини крана відносно неповоротної, складається з двох напівобойм і зубчастого вінця, між якими хрестоподібно розміщено ролики або кульки. Між напівобоймами встановлено прокладку. Напівобойми і вінець опорно-поворотного пристрою кріплять до неповоротної і поворотної рам за допомогою болтів і затягують гайками з моментом 350- 400 Н·м.

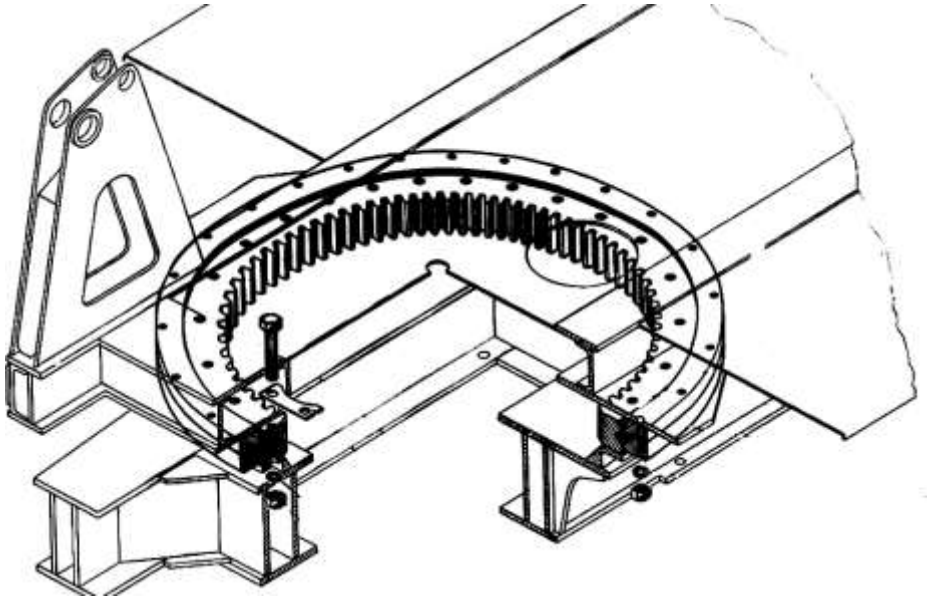


Рис. 6. 28. Опорно-поворотний пристрій на крані КС-4561А

Виносні опори (рис. 6. 29), що слугують для збільшення стійкості крана, складаються із опор *1*, які висуваються гідроциліндрами *3*, закріпленими на опорах осями *2*. Для встановлення крана на виносних опорах кладуть підставки *5*, вмикають гідроциліндри *4*, і тиск передається на раму і підставки, завдяки цьому досягають стійкого положення крана.

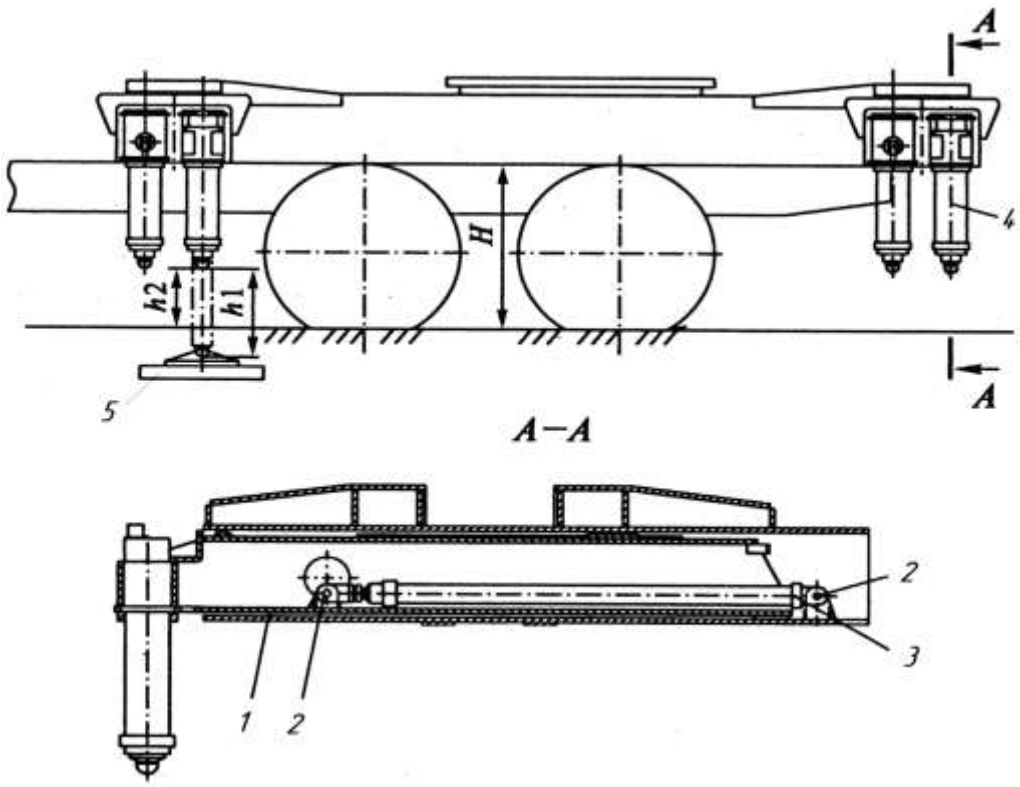


Рис. 6. 29. Висувні виносні опори

Конструкції відкидних та поворотних висувних опор стрілових кранів зображено на рис. 6. 30 та 6. 31.

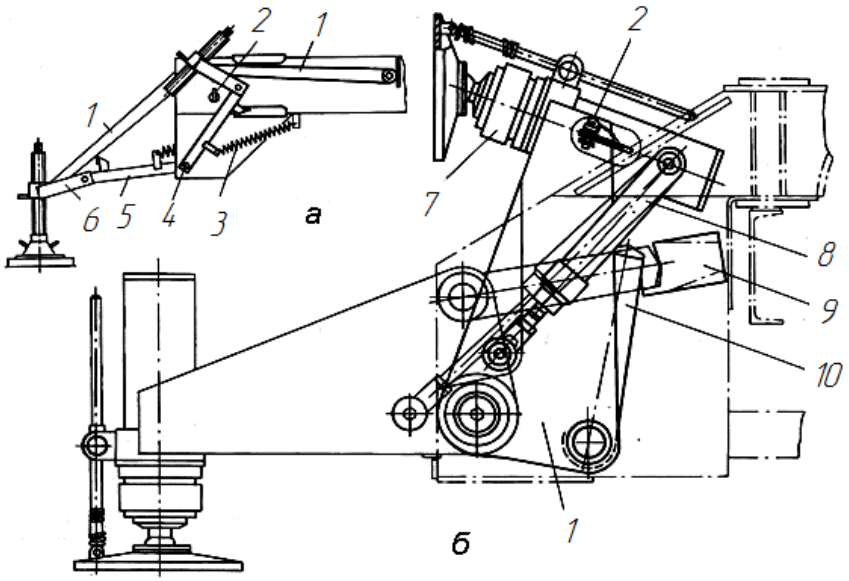


Рис. 6. 30. Відкидні виносні опори кранів КС-2561Д (*а*) та КС-4561А (*б*):
I, II – робоче та транспортне положення;
1 – опора; *2* – фіксатор (палець); *3* – пружина, *4* – вісь; *5, 6* – тяги;
7, 8 – гідроциліндри; *9* – упор; *10* – кулачок

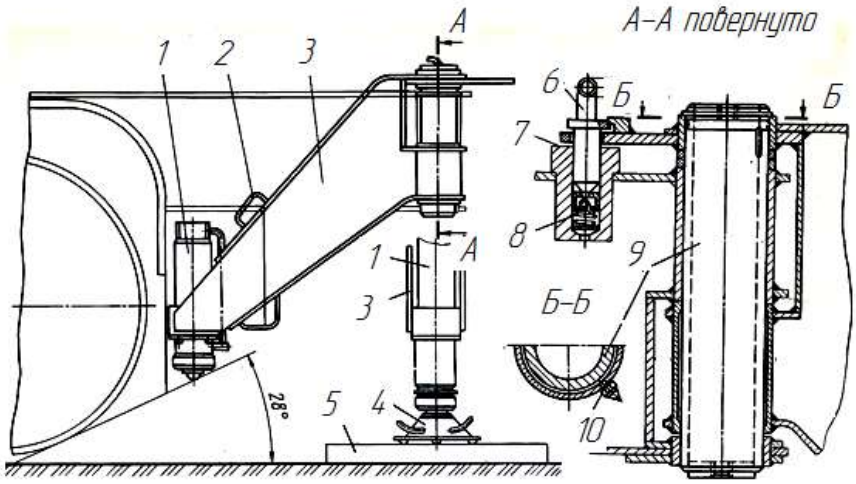


Рис. 6. 31. Поворотні виносні опори:

I, II – робоче та транспортне положення;

1 – гідроциліндр; *2* – ручка; *3* – балка; *4* – башмак; *5* – прокладка; *6* – палець; *7* – фіксатор; *8* – пружина; *9* – шкворінь; *10* – маслянка

Механізм блокування підвіски шасі крана (стабілізатори крана), який встановлюють на повздовжніх балках нижньої рами, використовують під час роботи кранової установки для жорсткого з'єднання шасі з неповоротною рамою. На рис. 6. 32 зображено механізми блокування підвісок крана.

Механізм складається з шарнірно закріплених в нижній частині рами тяг *2, 15*, які під дією гідроциліндрів та системи важелів притискаються до підвіски автомобіля (ресор), що унеможливлює її прогин від навантаження. В транспортному положенні штоки привідних гідроциліндрів втягнуті, а тяги виведені із зачеплення, не перешкоджають переміщенню заднього моста.

Поворотна рама крана призначена для встановлення на ній робочого обладнання (стріли, башти) та механізмів крана. Поворотні рами стрілових самохідних кранів однотипні за конструктивним виконанням і складаються з трьох частин: рами і двох бічних майданчиків – балконів. Основна несуча частина поворотної рами крана зазвичай складається з двох поздовжніх балок коробчастого поперечного перерізу, з'єднаних між собою поперечними балками. Вікна між поздовжніми і поперечними балками перекриті листовим прокатом. До балок приварюють стійки й вушка для закріплення стріли крана.

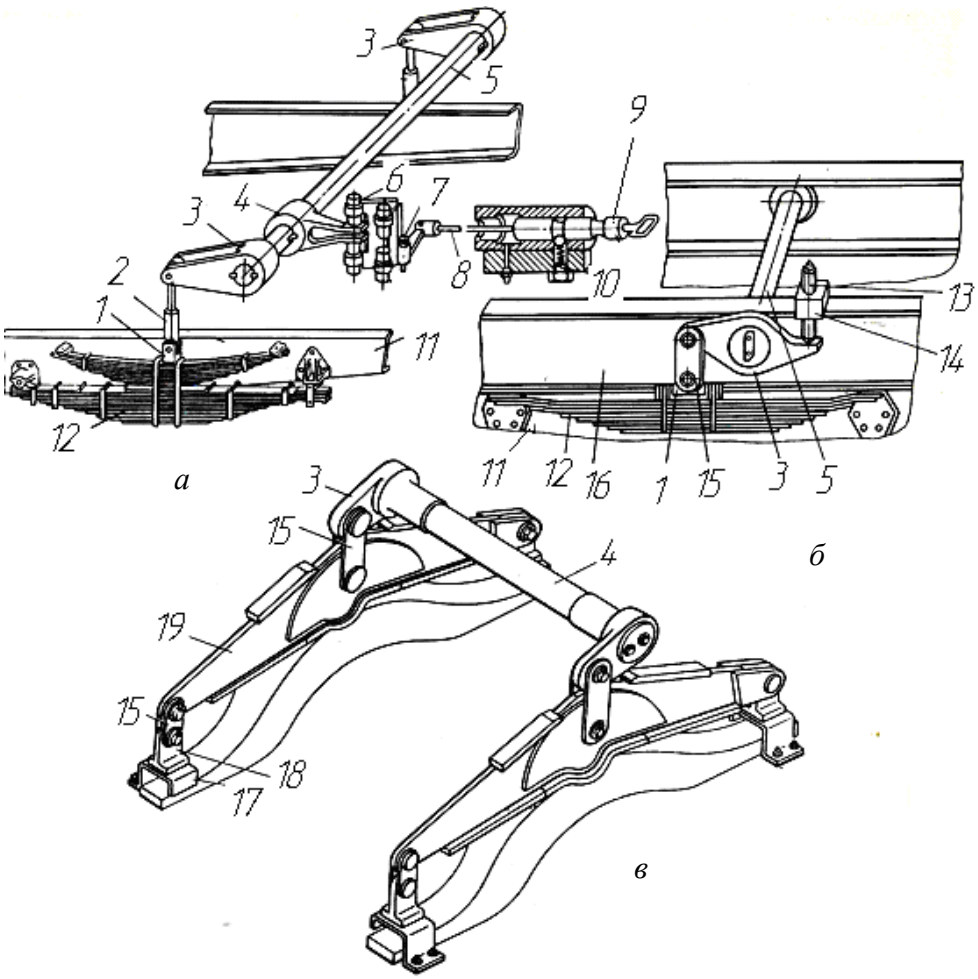


Рис. 6. 32. Стабілізатори кранів з одним заднім мостом (*а, б*) та із задньою кареткою (*в*):

1 – подушка ресор; *2, 8* – тяги; *3, 4* – важелі; *5* – вал; *6* – упори; *7* – вісь; *9* – шток; 10 – фіксатори; *11* – лонжерон, *12* – ресори, *13* – гвинт; *14* – гайка; *15* – серги; *16* – ходова рама крана; *17* – арка; *18* – провушина; *19* – траверса

У кранах з гнучкою підвіскою стріли на поворотній рамі розміщують також двоногу стійку для підвішування стріли та відповідні кронштейни, котрі запобігають повороту стріли в крайньому положенні.

На балконах розміщують складальні одиниці, агрегати крана і допоміжне обладнання, а також кабіну з пультом керування. По верхній площині рами в необхідних місцях зроблено люки з кришками, що забезпечують доступ до механізмів крана для їх монтажу та технічного обслуговування. На нижній площині приварено накладки, якими рама спирається на зовнішню обойму опорно-поворотного пристрою.

Поворотна рама гідравлічного крана (6. 33) являє собою зварну конструкцію, основними елементами якої є балкон *1*, на якому

передбачено розміщення кабіни, рама *4*, що використовується для встановлення верхньої частини опорно-поворотного пристрою. Основними елементами рами є стальні листи *3, 8* з кронштейнами 2, *6*, низка косинок *9*, швелер 7, платик 5.

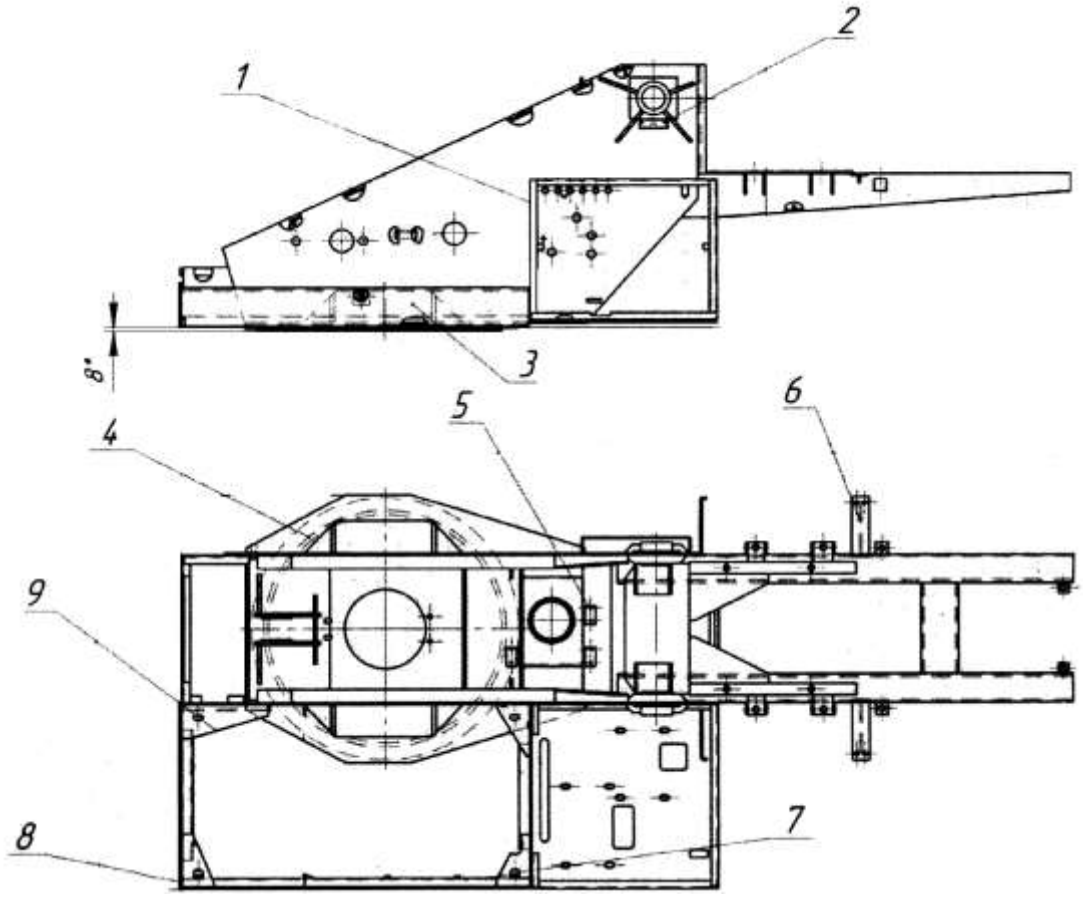


Рис. 6. 33. Поворотна рама гідравлічного крана КТА-25

Стрілове обладнання автомобільних кранів виконується з канатною підвіскою чи утримується гідроциліндрами в заданому положенні. Конструкція стріл переважно об'ємно-ґратчаста з профільного прокату. Однак останнім десятиліттям набувають поширення телескопічні висувні стріли суцільного коробчастого перерізу. На деяких типах кранів встановлюють стріли-гусачки або пристрої для збільшення вильоту стріли. У самохідних кранах застосовуються прямі короткі стріли (рис. 6. 34, *ж*) для перевантажувальних робіт та робіт зі штучними й сипкими вантажами.

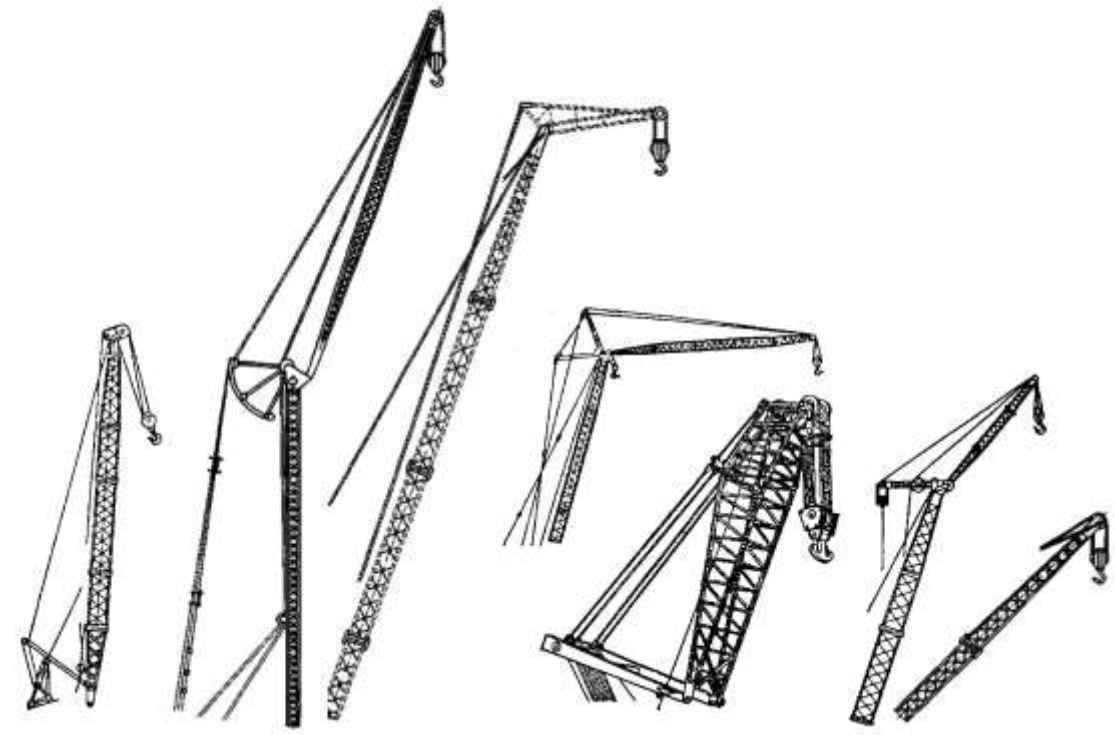


Рис. 6. 34. Стрілове обладнання самохідних кранів з механічним приводом

Такі стріли називають *основними*. Для них визначають номінальну вантажопідйомність крана на всіх вильотах. Для підіймання вантажів на велику висоту основні стріли можуть бути обладнані *подовженими секціями* (рис. 6. 34, *а*, *в*) та *ріжками* (рос. «*гуськом*») (рис. 6. 34, *б, е*) з оснащенням гаком допоміжного підіймання (рис. 6. 34, *г*) для перевантажувальних робіт з об'ємними штучними вантажами, зокрема з контейнерами, що потребує більших розмірів простору під стрілою. Один кінець ріжка кріпиться до оголовка стріли шарнірно, а другий його кінець закріплюють гнучкою відтяжкою біля основи стріли. Для виконання монтажних робіт ріжок виконують керованим завдяки закріпленню одного кінця канатної відтяжки на барабані лебідки. Для подавання вантажів вглиб будівлі, яку зводять, а також для монтажу об'ємних об'єктів використовують баштово-стрілове обладнання, що складається з встановленої майже вертикально з незначним нахилом (3...5°) основної стріли та горизонтально встановленого ріжка (рис. 6. 34, *г*).

Інший різновид стріл становлять телескопічні стріли, якими обладнують переважно крани з гідроприводом – автомобільні і на спеціальних самохідних шасі. Залежно від вантажопідйомності крана телескопічні стріли виконують як дво-, три-, чотири- та багатосекційні. Можуть застосовуватися також висувні стріли, у яких висувається одна

секція, найчастіше вручну. Довжину висувних стріл можна змінити лише в неробочому стані крана, телескопічних – за робочого навантаження. Найчастіше застосовують крани, оснащені чотирисекційними телескопічними стрілами.

На рис. 6. 35 наведено приклад трисекційної телескопічної стріли.

Стрілоподібне устаткування складається з телескопічної стріли *3*, гакової підвіски *1*, гідроциліндра підіймання стріли *4* і вантажного каната *2*. Послідовне висунення секцій виконують за допомогою клапанного блоку, для втягування секцій працюють механізми блокування.

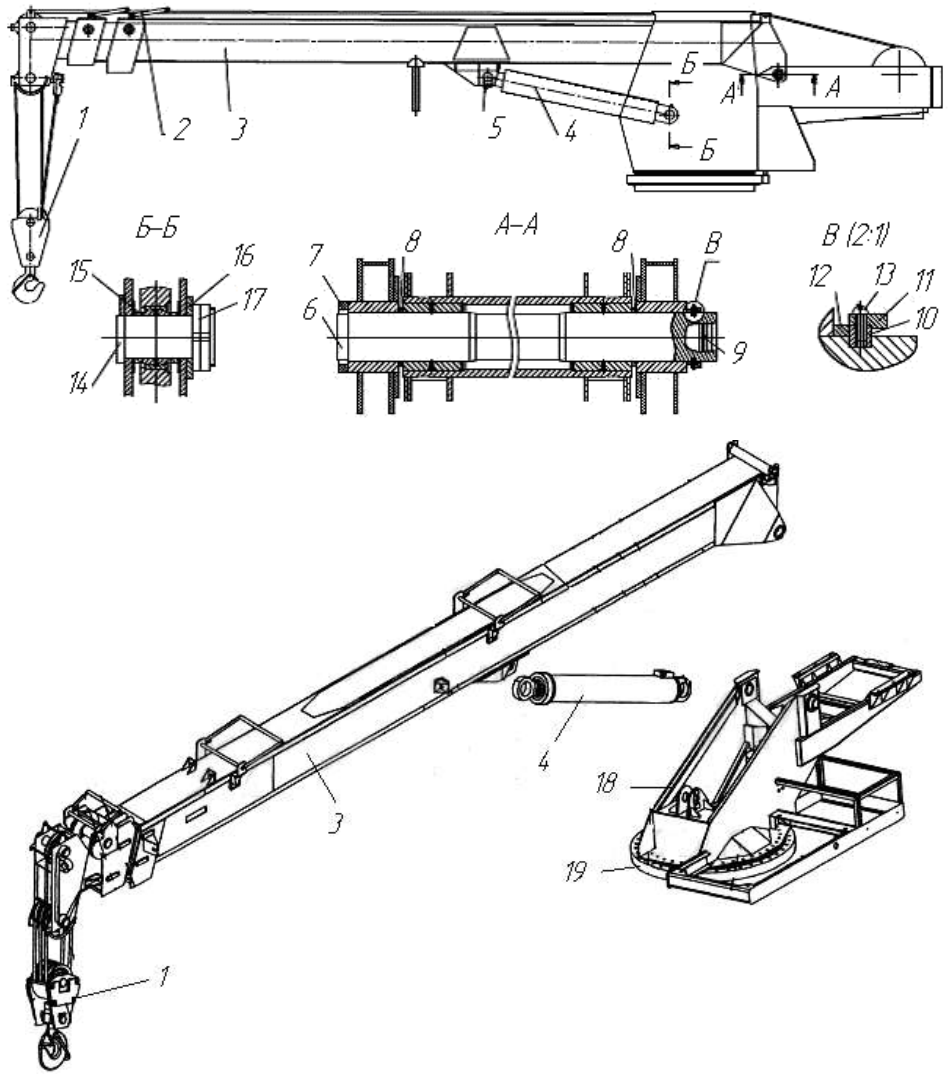


Рис.6. 35. Телескопічне стрілове обладнання кранів:

1 – гакова підвіска; *2* – вантажний канат; *3* – телескопічна стріла; *4* – гідроциліндр підіймання; *5* – шарнір гідроциліндра; *6* – палець стріли; *7* – вісьотримач; *8* – ущільнення; *9* – отвір під маслянку; *10, 16* – шайба; *11, 12, 15* – втулки; *13* – замок; *14* – скоба; *17* – палець; *18* – поворотна платформа; *19* – опорно-поворотний пристрій

Створення оптимальних конструкцій телескопічних стріл, за умови застосування сталей із σ_T = 900…1000 МПа, значною мірою залежить від вибору форми поперечного перерізу стріли, на що впливають як умови міцності та стійкості, так і технологічні можливості кожної окремої форми. Тому застосовується велика кількість варіантів конструкцій телескопічних стріл. Для кранів малої вантажопідйомності до 30…32 т використовують переважно стріли прямокутного перерізу, зварені з чотирьох плоских листів як найбільш прості і технологічні. При цьому для поясів використовують листи більшої товщини, а для бічних стінок – меншої (рис. 6. 36). Таким чином досягається полегшення конструкції стріли.

Трапецієподібні стріли зі звуженим верхнім поясом (рис. 6. 36, *б*) порівняно з прямокутними краще сприймають навантаження від верхніх опорних вузлів секцій, знижуючи місцеві напруження від дії рухомих опор. Для полегшення подібних стріл вони можуть мати вирізи в бічних стінках (ділянці нейтральної осі стріли) та зміцненні обичайками.

Гнутий потовщений нижній пояс (рис. 6. 36, *в*, *г* та *д*) також дає змогу знизити центр тяжіння поперечного перерізу і зменшити напруження в стислому нижньому поясі. Скошені нижні кути в перерізі (45°) і закруглені по великому радіусу верхні кути зводять до мінімуму місцеві напруження від опор. Секції стріл зварюють з двох фасонних профілів із закругленими кутами, причому верхню частину перерізу виготовляють з тоншого фасонного прокату, а нижню частину – з більш грубого.

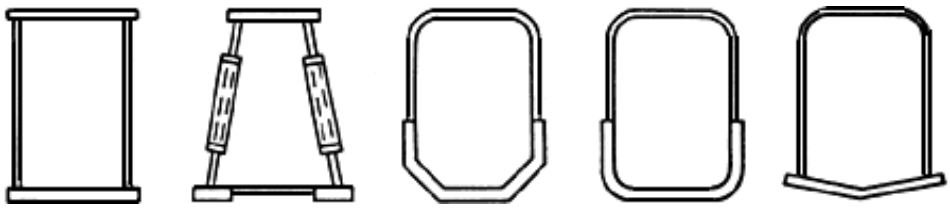


Рис. 6. 36. Найбільш поширені профілі поперечних перерізів телескопічних стріл:
а – прямокутний переріз (крани фірм PPM, Kato, DAK та ін.);
б – трапецієподібного перерізу (крани фірми Grove); *в*, *г* – переріз із закругленими кутами (крани фірм Krupp, Demag, Liebherr, TEREX);
д – із гнутою нижньою полицею (крани фірми Liebherr)

Залежно від застосовуваного типу механізму висування телескопічних секцій може здійснюватися за трьома принциповими схемами: послідовне, одночасне та незалежне. У першому випадку секції висуваються одна за одною в певній послідовності. За другою схемою виконується синхронне одночасне висування всіх телескопічних секцій.

У третьому випадку секції можуть висуватися незалежно одна від одної в будь-якій послідовності. На кранах із шасі підвищеної прохідності в нинішній час застосовують всі задані схеми висування (рис. 6. 37).

Ступеневе послідовне висування секцій телескопічної стріли одним гідроциліндром здійснюється, наприклад, на кранах фірми «РРМ» моделей 230АТТ та 280АТТ, на крані КА-800 фірми «Kato». Одночасне синхронне висунення секцій передбачено у багатьох моделях кранів. При цьому застосовуються два типи механізмів висування: механізм, що складається з декількох гідроциліндрів (рис. 6. 37, *а* та *г*), та механізм, що поєднує гідроциліндри з канатним поліспастом (рис. 6. 37, *б* та *в*).

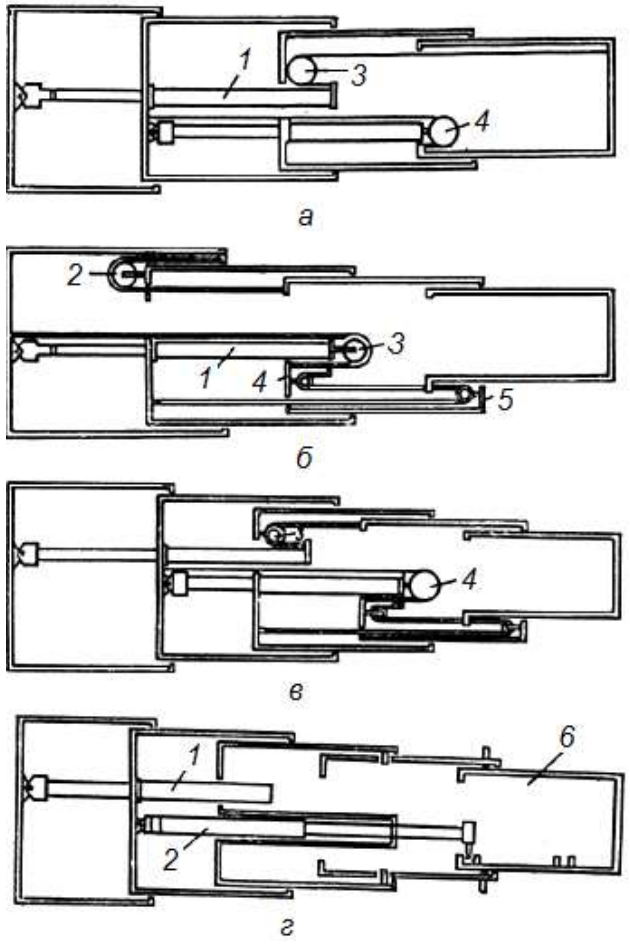


Рис. 6. 37. Системи висунення секцій телескопічних стріл:

а – чотирисекційна телескопічна стріла з однократним поліспастом; *б* – те ж з двократним поліспастом; *в* – п'ятисекційна телескопічна стріла з двократним поліспастом; *г* – те ж з гідроциліндрами, оснащеними фіксаторами секцій;

1, 2 – гідроциліндри; *3, 4, 5* – поліспасти секцій; 6 – установча секція

Відомо декілька схем канатно-гідравлічних механізмів висунення. На рис. 6. 37 наведено приклади кінематики деяких канатно-гідравлічних механізмів телескопування. Слід зазначити, що, вилучивши зі схеми з однократним поліспастом (див. рис. 6. 37, *а*) першу секцію з гідроциліндром *1*, отримаємо канатно-гідравлічну систему висування для трисекційної стріли.

На рис. 6. 37, *г* наведено схему висування телескопічних секцій за допомогою гідроциліндрів. Для фіксування секцій в певних положеннях після їх висунення застосовують спеціальні фіксатори, що дають змогу розвантажити гідроциліндри від осьових навантажень або забезпечити висунення додаткової секції.

Значного поширення набули шарнірно зчленовані багатоланкові стріли, які використовують в кранах-маніпуляторах. Шарнірні стріли з однією ланкою в маніпуляторах майже не застосовують, оскільки рух гака здійснюється тільки по простій коловій кривій, що є неефективним порівняно зі стріловим краном.

Найбільшого поширення дістали шарнірні стріли з мінімальною кількістю ланок – дволанкові (рис. 6. 38, *а*), зона роботи яких найбільш повно задовольняє умови експлуатації. Причому дволанкові стріли можуть були з одним шарнірним з’єднанням та телескопічною секцією або з двома шарнірними з’єднаннями. Триланкові шарнірні стріли (рис. 6. 38, *б*) мають велику та складну зону обслуговування, їх застосовують для виконання спеціальних робіт, коли не можна використовувати дволанкові стріли.

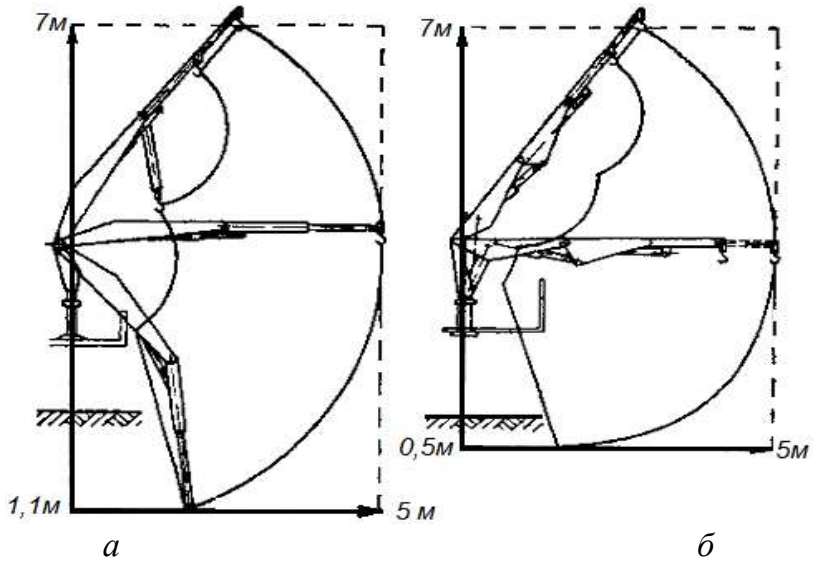
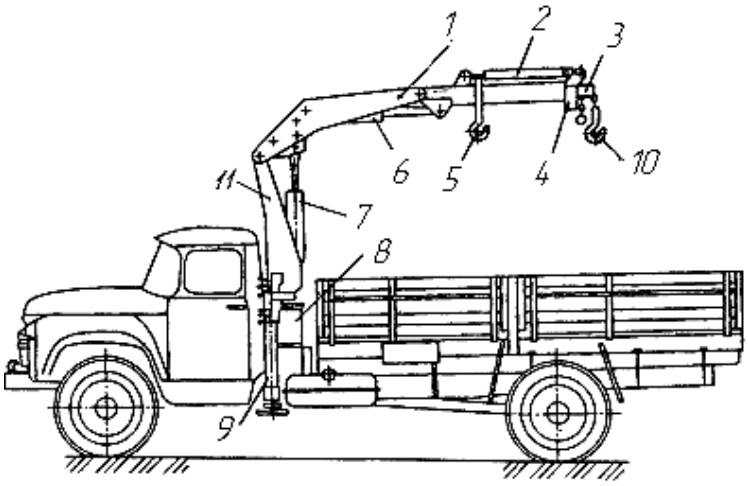
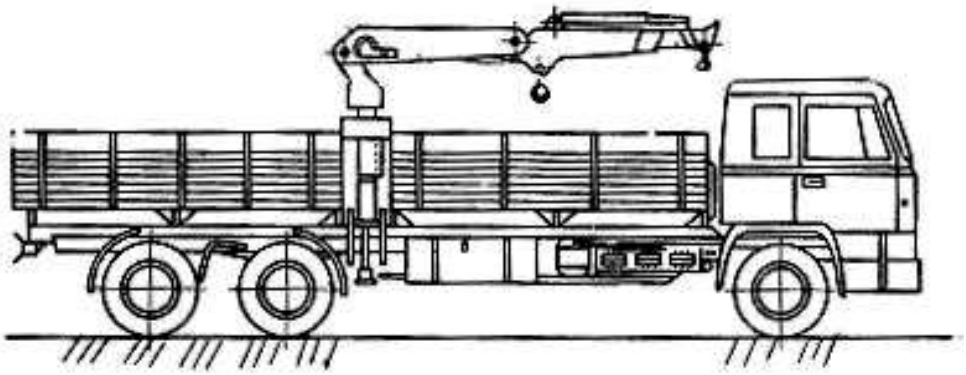


Рис. 6. 38. Схеми шарнірно зчленованих стріл:
а – дволанкової; *б* – триланкової

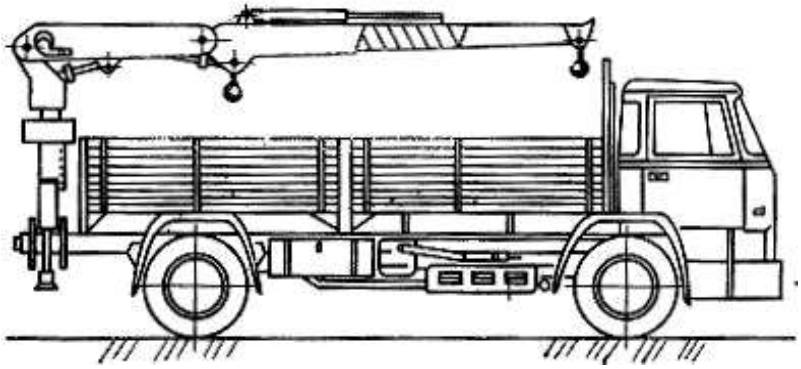
На рис. 6. 39 показано автомобільні крани-маніпулятори з об’ємним гідроприводом, які використовують для самонавантаження та розвантаження кузова автомобіля. Кранове обладнання може бути встановлене на рамі спереду кузова (рис. 6. 39, *а*) для навантаження штучних вантажів, контейнерів автомобіля, що стоять поряд.



а



б



в

Рис. 6. 39. Розміщення крана-маніпулятора на автомобілі

Для перевезення довгих труб, будівельних паль, прокату, дерев'яних балок тощо. кранове обладнання розміщують посередині кузова довгобазового автомобіля (рис. 6. 39, *б*).

Розміщення кранового обладнання позаду кузова базового автомобіля (рис 6. 39, *в*) є доцільним під час роботи з причепами для навантаження, перевезення та розвантаження вантажів.

Технічні характеристики маніпуляторів наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Технічні характеристики маніпуляторів

Марка	Базова машина	Максимальна вантажопідйомність, т	Максимальний вантажний момент, т·м	Максимальний виліт, м
СГГ-1	ГАЗ-3309	1,6	2,88	3,6
МКС-4032	КамАЗ, УРАЛ, ЗИЛ	4,0	8,9	12,1
БМ-111	КамАЗ-43101	3,5	7	6,5
МКС-5531	КамАЗ-53212	5,0	10	16,1
СМТ-6131	Т-150К	4,0	15,6	12,3

Вантажна лебідка (рис. 6. 40), встановлена на поворотній рамі крана, складається із гідромотора *2,* який через муфту *3* передає рух на редуктор *4.* З вихідного вала *4* редуктора оберти через спеціальну втулку передаються на барабан *5* лебідки, установлений на підшипниках *8,* завдяки цьому здійснюється намотування троса.

Для компактного розміщення механізмів на крані застосовують також лебідки, які мать конструкцію, представлену на рис. 6. 41. В такій лебідці немає редуктора, а зміну кількості обертів гідромотора *15* виконують за допомогою зубчастих передач, елементами яких є шестерні *3, 11*, зубчасте колесо *10* та зубчастий вінець *12.* Барабан лебідки встановлюють на пустотілу вісь, у середині якої розміщується вал *1*.

Механізм обертання крана може розміщуватися або на поворотній платформі, або на нерухомій рамі.

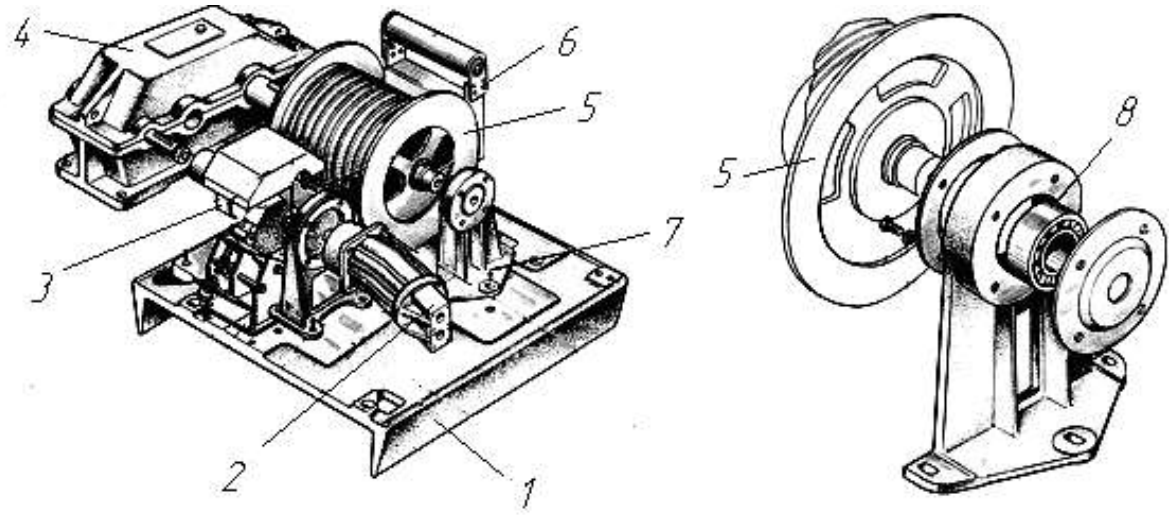


Рис. 6. 40. Вантажна лебідка кранів КТА-25, КС-3575 та подібних:
1 – рама; *2* – гідромотор; *3* – муфта; *4* – редуктор; *5* – барабан;
6 – відвідний ролик; *7* – опора; *7* – опора барабана; *8* – підшипник

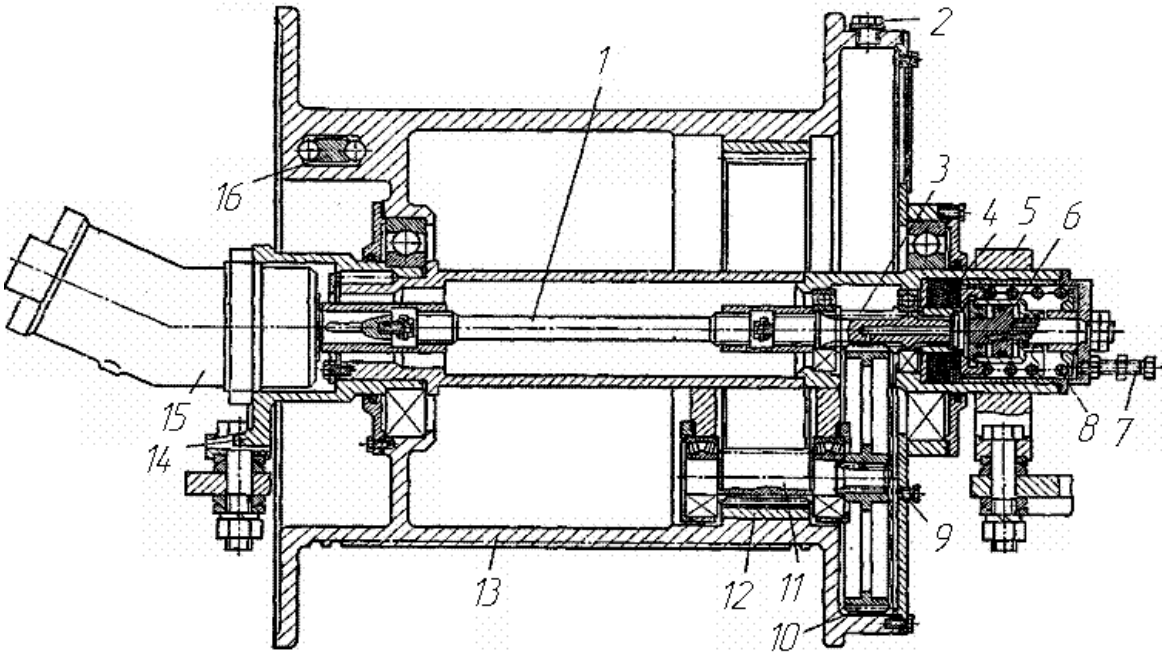


Рис. 6. 41. Вантажна лебідка крана КС-6471:
1 – вал; *2, 9* – пробки; *3* – вал-шестерня; *4* – дискове гальмо; *5* – кронштейн; *6* – гідроциліндр; *7* – болт; *8* – пружина; *10, 11* – шестерні; *12* – зубчастий вінець; *13* – барабан; *14* – кронштейн; *15* – гідромотор; *16* – клин

Механізми обертання кранів виконують компактними за декількома схемами, а саме: з конічно-циліндричним триступінчастим редуктором (рис. 6. 42); з двоступеневим циліндричним редуктором; з черв'ячним редуктором (рис. 6. 43).

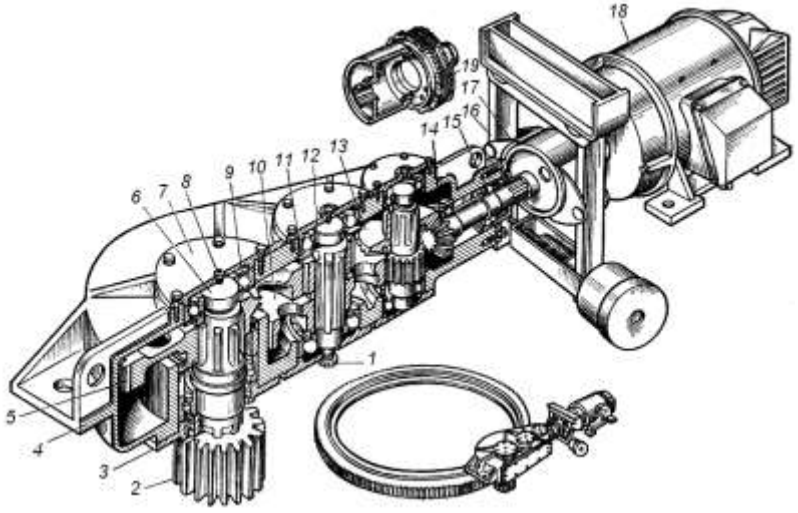


Рис. 6. 42 Механізм обертання крана КС-5363:

1 – пробка; *2, 11* – шестерня; *3, 7* – кришки; *4* – корпус редуктора; *5, 10, 13* – зубчасте колесо; *6* – вертикальний вал; *8* – маслянка; *9, 15* – підшипники; *12* – вал; *14* – вал-шестерня; *16* – гальмо; *17* – шків; *18* – електродвигун; *19* – ланцюгова муфта

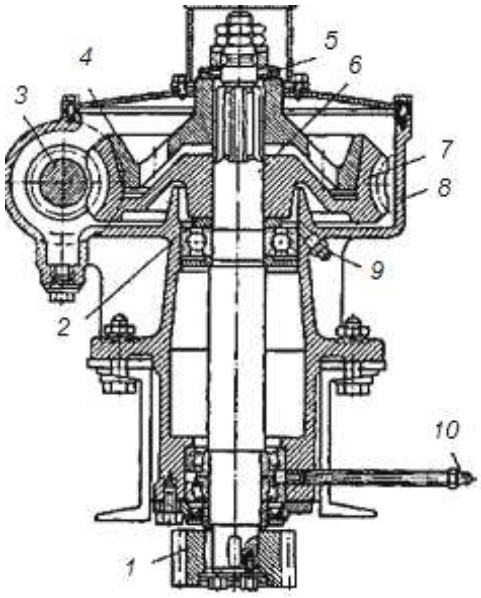


Рис. 6. 43. Редуктор механізму обертання крана КС-2561К-1:

1 – шестерня; *2* – шайба; *3* – черв'як; *4* – натискний диск; *5* – пружина; *6* – вал; *7* – черв'ячне колесо; *8* – корпус; *9, 10* – маслянки

Механізм обертання з конічно-циліндричним редуктором, що використовується у крані КС-5363 (рис. 6. 42), складається з двигуна *18*, колодкового гальма *16*, ланцюгової муфти *19*, редуктора *4* та привідної шестерні *2*.

Механізм повороту з черв'ячним редуктором, який встановлюють на кранах типу КС-32561К-1, складається із запобіжної фрикційної конічної муфти, черв'ячного редуктора та привідної шестерні. Вал *6* (рис. 6. 43) з черв'ячним колесом *7* встановлено в чавунний корпус *8* редуктора на підшипниках кочення. На нижньому кінці вала на шпонці закріплено циліндричну шестерню *1*, що постійно зачеплене з зубчастим вінцем опорно-поворотного пристрою. Черв'ячне колесо знаходиться в постійному зачепленні з однозахідним самогальмівним черв'яком *3*. Рух від реверсивно-розподільного механізму крана передається на черв'як, а від нього через черв'ячне колесо та конічну муфту – на вал, разом з яким починає обертатися шестерня. Пружиною *5* забезпечують необхідне притискання муфти для передавання номінального крутного моменту.

Пневмоколісні крани мають вантажопідйомність до 100 т, висота підіймання – до 60 м, виліт – до 40 м. Крани широко застосовують у промисловому будівництві, мостобудуванні, на будівництві атомних і теплових електростанцій, монтажі технологічного обладнання.

На рис. 6. 44 зображено пневмоколісний кран вантажопідйомністю 100 т. На крані встановлено основну стрілу завдовжки 15 м; у комплект стрілового обладнання входять також додаткові секції, за допомогою яких довжину стріли можна збільшити до 25; 30; 40; 50 і 55 м. На стріли довжиною до 40 м встановлюють некеровані гусачки довжиною до 30 м, а на стріли завдовжки понад 40 м – керовані гусачки.

Одночасно з підійманням і опусканням вантажу кран може виконувати також поворот навколо вертикальної осі, підіймання й опускання стріли. Кран оснащено дизельним двигуном і двома генераторами, основним і допоміжним. Струм, який виробляє основний генератор, подається на електродвигуни підіймання вантажу, стрілопідйомного механізму і механізму пересування крана. Струм від допоміжного генератора надходять на механізм обертання крана. Дизельний двигун слугує приводом насоса гідросистеми керування виносними опорами. В умовах тривалої роботи на будівельному майданчику замість дизеля в роботу включають двигун змінного струму, з'єднаний з валом головного привода.

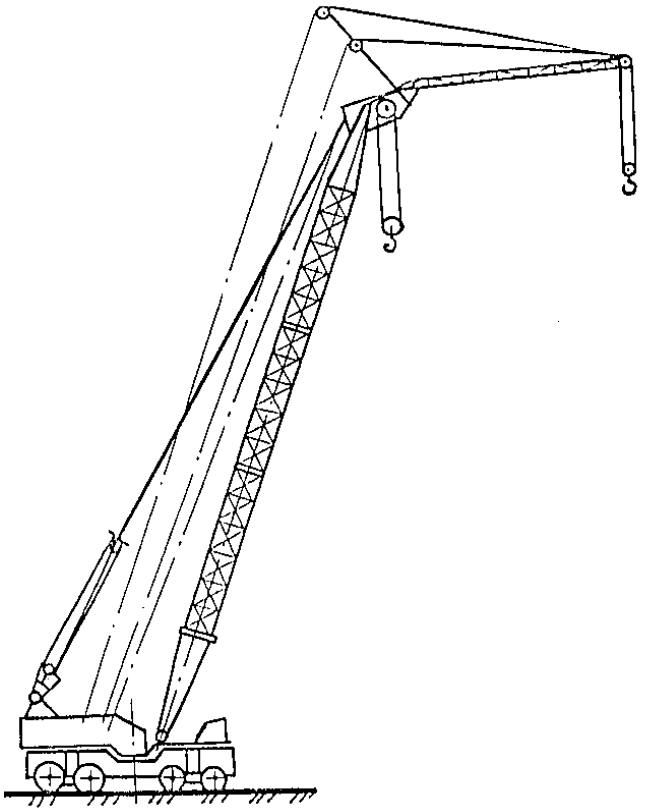


Рис. 6. 44. Кран пневмоколісний

Крани на гусеничному ходу (рис. 6. 45) обладнують короткими стрілами, якщо вони призначені для вантажно-розвантажувальних робіт, або довгими, якщо призначені для монтажних робіт. Вантажопідйомний і стріловий механізми, опорні стояки і стрілу монтують на поворотній платформі, яка обертається відносно несучої рами в опорно-поворотному крузі. Привід кранових механізмів – одномоторний, від вала відбору потужності двигуна машини. Для підвищення стійкості крана і розвантаження ресор крани обладнують двома висувними опорами (гідравлічними домкратами). У разі пересування з вантажем ресори машини вимикають.

Максимальна вантажопідйомність кранів на базі промислових тракторів – 6 т, довжина стріли – 12 м.

Крани на спеціальному шасі автомобільного типу довго- і короткобазові є розвитком автокранів, мають ті самі переваги і використовуються для виконання тих самих технологічних операцій і процесів. Їх типорозмірний ряд охоплює крани вантажопідйомністю 25; 40; 63; 100 і 160 т. За кордоном випускають такі крани вантажопідйомністю до 1200 т.

Ці крани обладнано телескопічними стрілами (дво-, три- і чотирисекційними) на жорсткій підвісці, мають дизельний двигун руху і двигун, який надає дії гідронасосу для підіймання гака, підіймання повороту стріли, висування аутригерів.

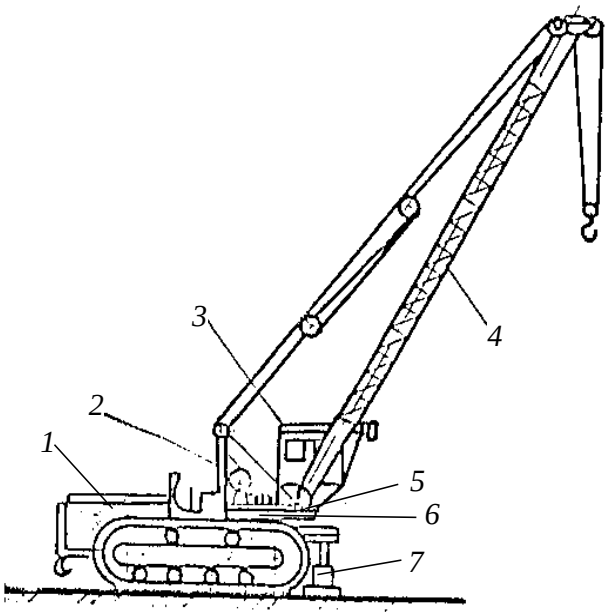


Рис. 6. 45. Кран гусеничний:

1 – базова машина; *2* – механізми підіймання вантажу і стріли; *3* – кабіна; *4* – стріла; *5* – поворотна платформа; *6* – опорно-поворотний круг; *7* – опори (аутригери)

Багатоосьове шасі довгобазових кранів (рис. 6. 46) з тяговими і веденими осями, що мають балансирну підвіску, забезпечує їх рух дорогами різної категорії зі швидкістю до 60 км/год. Габаритні розміри і високі мобільні властивості дають таким кранам змогу рухатися у транспортних потоках.

Рис. 6. 46. Самохідний кран на спеціальному довгобазовому шасі

Короткобазові крани (рис. 6. 47) мають транспортну швидкість до 40 км/год, жорстку підвіску двох- і трьохосного шасі, завдяки малому радіусу повороту (близько 5 м) вони зручні для роботи в тісних умовах будівельних майданчиків, під час реконструкції цехів підприємств, їх технічного переоснощеня.

Рис. 6. 47. Кран LTC 1055-3.1 (Liebherr) на короткобазовому шасі (55 т)

У зв'язку зі значно меншою серійністю випуску спеціальних шасі порівняно з вантажними автомобілями і їх більшою конструктивною складністю оптові ціни кранів на спеціальному шасі автомобільного типу на одиницю їх максимальної вантажопідйомності в середньому у 2,5 раза вищі, ніж в автокранів, що знижує економічну ефективність їх застосування.

Експлуатаційна продуктивність кранів може бути визначена за формулами:

$$П = 3600 \frac{Q_{ср}}{T_ц} k_в; \tag{6.2}$$

$$T_ц = 120\left(\frac{L_{пер}}{\upsilon_{пер}} + \frac{H_{під}}{\upsilon_{під}} + \frac{60\beta}{360n}\right)A, \tag{6.3}$$

де $Q_{ср}$ – середня маса вантажів, які піднімають, кг; $T_ц$ – тривалість робочого циклу, с; $k_в$ – коефіцієнт використання часу зміни; $L_{пер}$ – відстань переміщення вантажу по горизонталі, м; $H_{під}$ – висота підйому вантажу, м; β – кут повороту стріли, град.; $\upsilon_{пер}$ – швидкість

переміщення вантажу по горизонталі, м/с; $\upsilon_{під}$ – швидкість підіймання вантажу; n – частота обертання стріли, хв$^{-1}$; A – коефіцієнт суміщення операцій, який відображає ймовірність їх одночасного виконання (за зміни β в діапазоні 90...130° A = 1,0951-0,0022 β).

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Поясніть призначення й особливості будови монорейкових кранів.
2. Які типи конструкцій консольних кранів вам відомі?
3. Які крани називають козловими?
4. Які крани належать до перевантажувальних?
5. Як монтують козлові крани?
6. Скільки розмірних груп самохідних стрілових кранів вам відомо?
7. Як класифікують самохідні стрілові крани?
8. Які типи стріл можна встановити на самохідний стріловий кран?
9. Які типи підвісок стріли застосовують в самохідних стрілових кранах?
10. Які механізми встановлюють на автомобільних стрілових кранах?

Лекція 7. Пристрої безпечної експлуатації кранів

Попередження про можливу небезпеку під час роботи вантажопідйомних кранів, що приводить до аварій та робочого травматизму, повинні забезпечувати прилади та пристрої безпеки згідно з «Правилами» Державної служби України з питань праці. Розміщення на кранах автоматичних обмежувачів запобігає аваріям в разі несвоєчасного вимкнення машиністом електродвигуна.

Запобіжні пристрої можуть бути різного призначення – кінематичні та силові.

До кінематичних належать пристрої, що обмежують висоту підіймання гака, кут підіймання стріли, хід візка або крана по горизонталі, обмежники повороту платформи (поворотного крана).

До силових належать пристрої для обмеження вантажопідйомності, вантажного моменту (стрілових кранів).

Будь-який обмежувач має елемент (важіль та ін.), що сприймає і передає імпульс та реагувальний кінцевий вимикач.

7.1. Обмежувачі в механізмах та елементах крана

Обмежувачі в механізмах підіймання вантажу

На рис. 7.1 наведено пристрій для автоматичного вимикання механізму підіймання вантажу мостового (козлового) крана у разі наближення рухомої обойми поліспаста до граничного верхнього положення. Кінцевий вимикач *1* типу КУ-503 встановлюють на рамі візка. У нормальному положенні важіль *2* кінцевого вимикача під дією вантажу *5* впирається в раму візка. Під час підіймання обойми плече *7* піднімає вантаж *5*, натяг канату *4* зменшиться і противага *3* поверне важіль *2* проти руху годинникової стрілки. При цьому контакти вимикача розімкнуться і механізм зупиниться. Після цього механізм підіймання можна ввімкнути тільки на опускання.

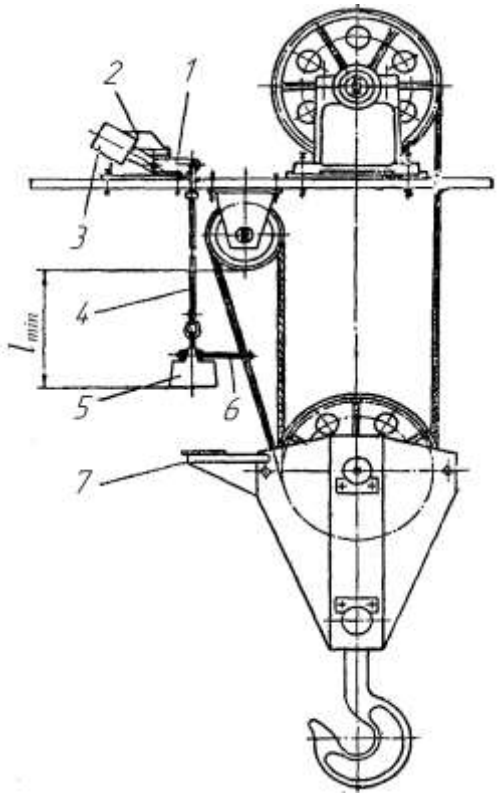


Рис. 7.1. Пристрій кінцевого вимикача механізму підіймання вантажу

Під час опускання гакової обойми вантаж *5* звільниться та поверне важіль вимикача у вихідне положення, контакти кінцевого вимикача замкнуться й електрична схема підіймання вантажу повернеться до

нормальної роботи. Для того щоби під час підіймання обойм вантаж *5* не відхилився від виступу *7*, його обладнують скобою *6*, через яку пропускають канат поліспаста.

Другим запобіжним пристроєм механізму підіймання, який встановлюють в певних випадках, обумовлених «Правилами», – *обмежувач вантажопідйомності*.

Обмежувач вантажопідйомності повинен забезпечувати обмеження ваги вантажу, який піднімають, у разі перевищення на 10% щодо номінального, мати точність спрацьовування 2-3% і не спрацьовувати за короткочасного перевантаження, в період пуску, менше 0,8. Такі жорсткі вимоги зумовили появу великої кількості конструкцій обмежувачів вантажопідйомності:

1) пружинні обмежувачі вантажопідйомності;
2) ексцентрикові обмежувачі вантажопідйомності;
3) торсіонні обмежувачі вантажопідйомності;
4) електричні обмежувачі вантажопідйомності;
5) пневматичні або гідравлічні обмежувачі вантажопідйомності.

Незалежно від конструкції всі обмежувачі вантажопідйомності складаються з датчика посилення, передавального механізму і врівноважувального елемента.

Передавальні механізми можуть бути такими:

1) важельні;
2) ексцентрикові;
3) безпосередньої дії (зусилля від вантажу діє на силовимірювальний елемент);
4) гідравлічні.

Урівноважувальний елемент виконують у вигляді пружини, торсіонів і гідравлічних або пневматичних елементів.

Обмежувачі включаються в електричний ланцюг механізму підіймання, схема якого повинна передбачати можливість вмикання механізму після його вимкнення обмежувачем тільки на роботу у зворотному напрямі, тобто на спуск.

Пружинні обмежувачі вантажопідйомності

Механічні (пружинні) обмежувачі вантажопідйомності прості у використанні (рис. 7.2).

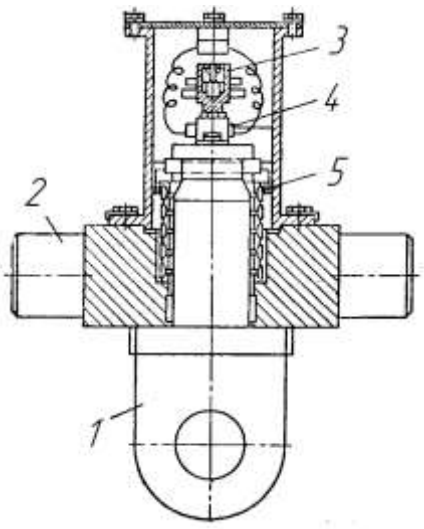


Рис. 7.2. Механічний (пружинний) обмежувач вантажопідйомності

Зрівняльний блок обмежувача закріплюють в рамі візка через пружини. На траверсу *2* через пакет кільцевих пружин *5* спирається шток *1*, до вушок якого приєднується кінець каната. На кінці штока змонтований мікровимикач *4*, що взаємодіє з регульованим гвинтом *3*. Пакет кільцевих пружин має високу поглинальну здатність, прямолінійність характеристики робочого і холостого ходу і стабільність в експлуатації. Підвищене тертя між кільцями створює достатнє демпфування коливань, що виникають під час роботи крана.

Торсіонні обмежувачі вантажопідйомності

Торсіонні обмежувачі вантажопідйомності мають торсіонний врівноважувальний елемент (рис. 7.3). До кронштейна *4* жорстко прикріплено трубу *2*, з кришкою торця якої жорстко сполучено кінець торсіонного вала *1*. Другий кінець вала спирається на підшипники *9*, закріплені в кронштейні *4*, з тим самим кінцем вала жорстко сполучено кривошип *5*. На його кінці шарнірно встановлено підвіску *3* із зрівняльним блоком *7* поліспаста. Косинець *6* взаємодіє з кінцевим вимикачем *8*. За наявності на крюку підвіски вантажу, більшого за допустимий, збільшується і натягнення в гілках каната, що огинають зрівняльний блок. При цьому торсіонний вал закручується, і косинець натискає на важіль вимикача. Завдяки невеликому передатному числу обмежувач має високу чутливість.

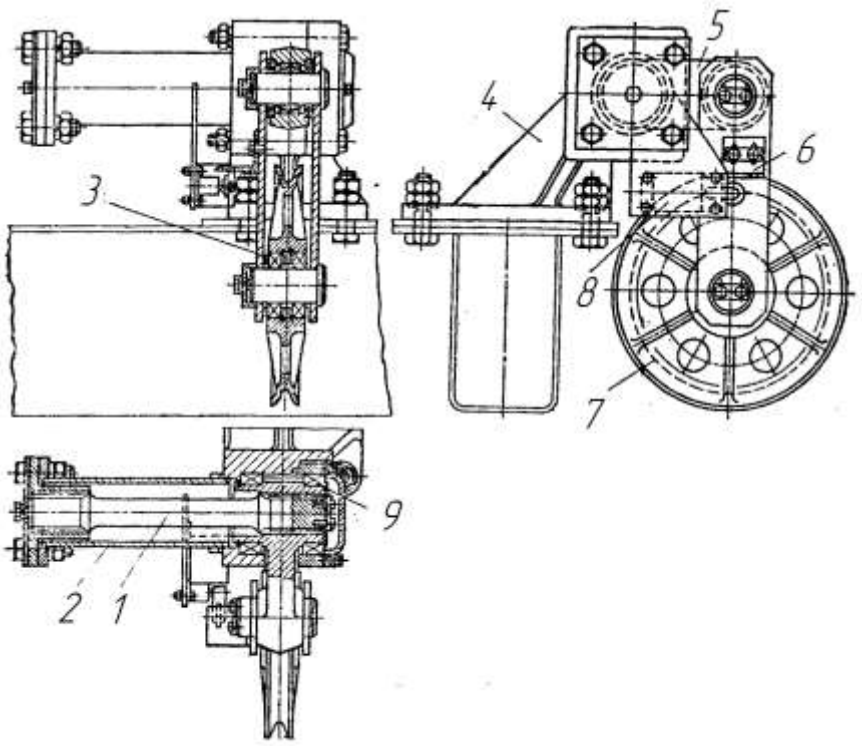


Рис. 7.3. Торсіонний обмежувач вантажопідйомності

Ексцентрикові обмежувачі вантажопідйомності

Ексцентриковий обмежувач вантажопідйомності (рис. 7.4) має зрівняльний блок *1* поліспаста, розміщений на ексцентриковій осі *2*. На осі закріплюється також підпружинений важіль *3*, кінець якого взаємодіє з кінцевим вимикачем *4*. З метою отримання стабільності коефіцієнта тертя опорні елементи обмежувача змонтовано на підшипниках кочення.

Під час використовування електричних обмежувачів в електричний ланцюг додають силовимірювальний елемент – месдозу, опір в якому змінюється залежно від навантаження. Нарешті, в гідравлічних обмежувачах, використовуваних в кранах з гідроприводом, застосовуються запобіжні клапани, які перемикають напірну магістраль на злив у разі перевищення в ній тиску, викликаного перевищенням величини вантажу, який піднімають.

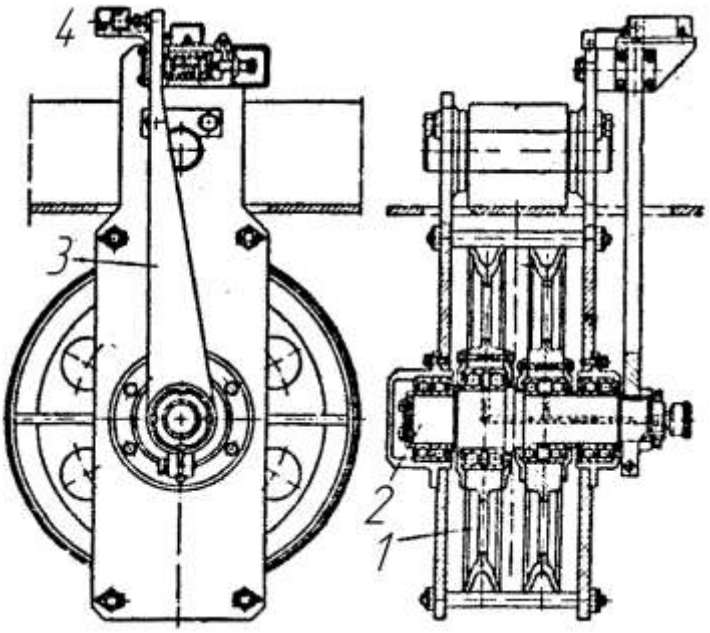


Рис. 7.4. Ексцентриковий обмежувач вантажопідйомності

Досить широко в стрілових кранах використовуються *електромеханічні обмежувачі вантажного моменту.* Вони реагують одночасно на масу вантажу та на зміну вильоту, якщо перекидний момент досягає граничного значення. Електромеханічний обмежувач вантажного моменту (рис. 7.5, *а*) складається з перетворювача сили, перетворювача кута нахилу стріли та релейного блока.

Перетворювач сили *3* розміщується між сталевими розпірками *1* та канатними розтяжками *2*, які з'єднують стрілу з рухомою обоймою *4* поліспаста підіймання стріли. Перетворювач сили являє собою пружне кільце – динамометр з безконтактним трансформаторним перетворювачем, який через роздільну систему – потенціометр перетворює силу, що діє на динамометричне кільце, в пропорційний електричний сигнал. Під дією сил в розтяжках *2* це кільце розтягується пропорційно масі вантажу. Необхідне співвідношення між силою в розтяжках і силою, що діє на кільце, встановлюють за допомогою нарізної муфти *5*, яку фіксують контргайками *6*. Перетворювач вмонтовано в механічний корпус водозахисного виконання.

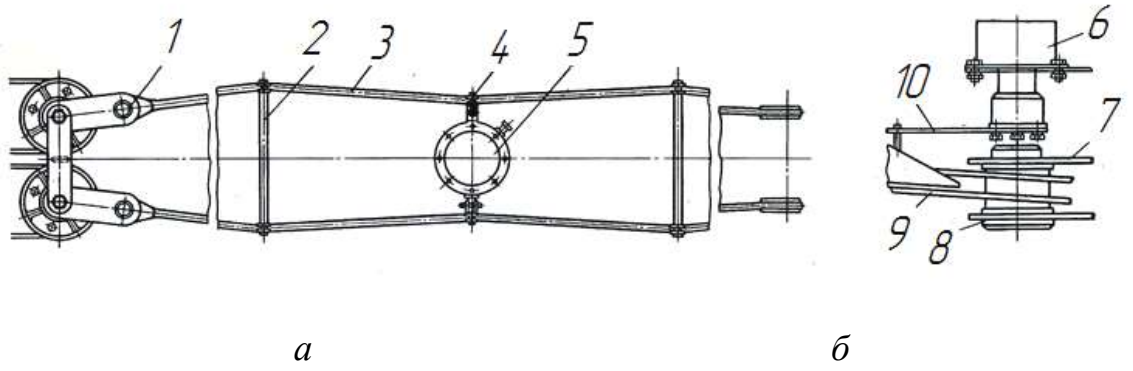


Рис. 7.5. Електромеханічний обмежувач вантажного моменту:
а – розміщення перетворювача сили; *б* – розміщення кута нахилу стріли

Перетворювач кута нахилу *7* (рис. 7.5, *б*) встановлюють на кронштейні *8* співвісно з віссю повороту стріли *9*. Він пов'язаний важелем *10* з пальцем *11*, встановленим на стрілі.

Перетворювач являє собою потенціометр, який перетворює за допомогою важеля кут нахилу стріли в пропорційний електричний сигнал.

Для вмикання в електромережу обмежувача два перетворювачі (сили і кута нахилу стріли) та апаратуру керування обладнано штепсельними розетками.

Релейний блок зрівнює електричний сигнал від перетворювача сили з сигналом до перетворювача кута нахилу стріли. Прилад спрацьовує за однакових електричних сигналів, відповідних найбільшій вантажопідйомності за відповідного вильоту стріли.

Обмежувачі вантажного моменту з гідроприводом, які застосовують на поворотних кранах з гідроприводом і телескопічними стрілами, призначені для вимикання механізмів крана, коли маса вантажу перевищує допустиме значення для вильоту за вантажною характеристикою.

На кранах використовують безконтактний обмежувач вантажного моменту (рис. 7.6). Він складається з перетворювача сили *5*, перетворювача довжини стріли *7*, перетворювача вильоту *11*, блока керування *8*, панелі сигналізації, покажчика довжини стріли та вильоту.

Перетворювач сили *5*, встановлений на стрілопідйомному гідроциліндрі *4*, сприймає навантаження від гідроштовхача *6*.

Перетворювач довжини стріли *19* встановлено на основі стріли *2*, а його фланець через важіль *16*, вісь *17* і ролик *16* підтиснуто пружиною *18* до похилої струни *14*, з'єднаної з висувною секцією стріли *1*, на якій гвинтом *13* здійснюється натяг струни *14*. Нахил струни регулюється гвинтом *3*.

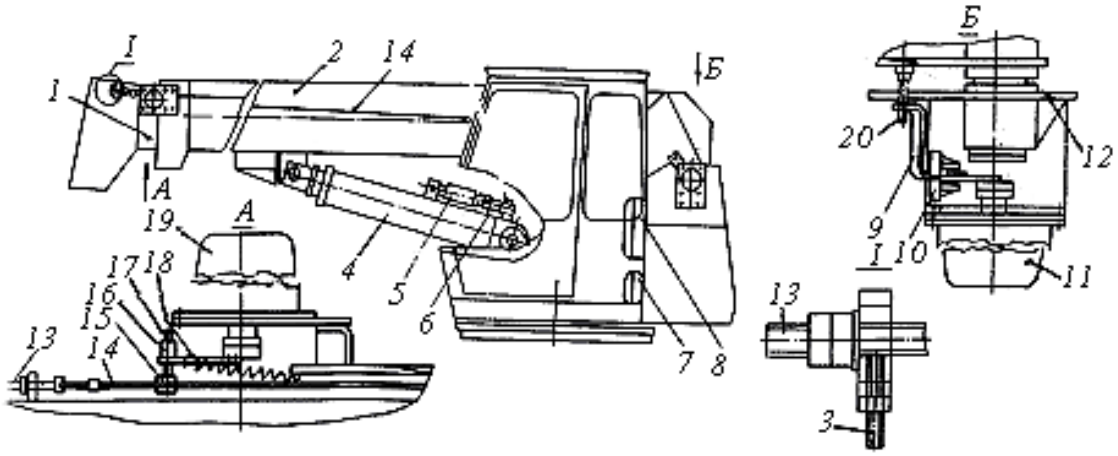


Рис. 7.6. Розміщення обмежувача вантажного моменту стрілових кранів з гідроприводом і телескопічною стрілою

Перетворювач вильоту *11* встановлено на кронштейні *12* співвісно п'яті основи стріли *2*. Фланець перетворювача через палець *20* і поводок *9* має привід від основи стріли *2* у разі її нахилу.

Для під'єднання до електромережі всі перетворювачі й апаратуру керування обладнано штепсельними розетками.

Блок керування *8* і блок підвищення напруги *7* розміщено на задній стінці кабіни. Покажчик вантажного моменту, встановлений на панелі щитка приладів у кабіні кранівника, показує ступінь завантаження крана у відсотках. Показники довжини та вильоту означають виліт та довжину стріли в метрах.

Перетворювачі обмежувача вантажопідйомності за допомогою своїх диференціальних трансформаторних перетворювачів перетворюють величини (сили, виліт стріли, її довжину) в пропорційні електричні сигнали. Робота обмежувача вантажного моменту основана на принципі порівняння сили (сигналу), що вимірюється перетворювачем сили *5*, з гранично допустимою величиною сили (сигналу), який подається перетворювачами вильоту *11* і залежить від кута підіймання та довжини стріли.

За рівності цих сигналів, які надходять на зрівнювальний пристрій в блоці керування, обмотка вихідного реле знеструмлюється, розмикаються контакти електромагніта двопозиційного реверсивного золотника гідросистеми (який встановлений на кабіні крана). При цьому вимикаються механізми крана.

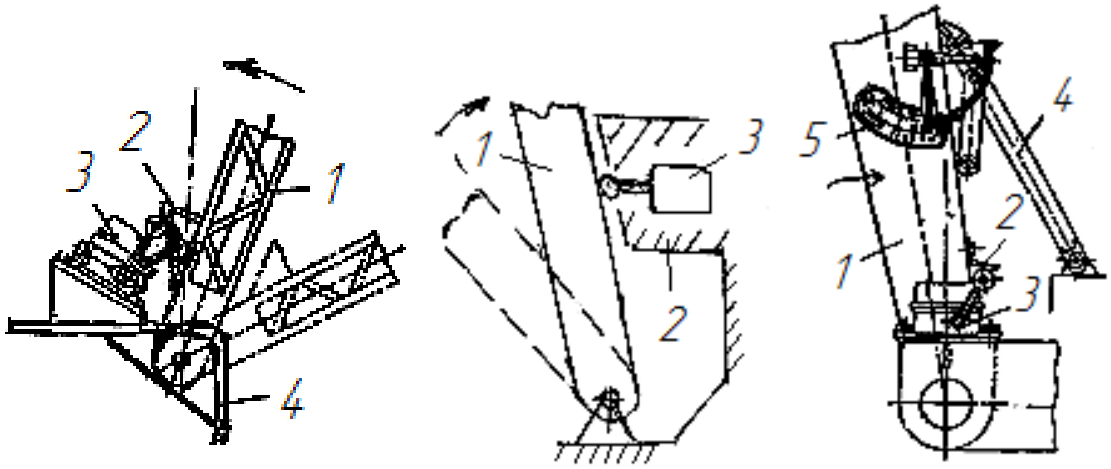
Обмежувачі підіймання стріли

На стрілових кранах зі змінним вильотом стріли повинні бути встановлені кінцеві вимикачі, які обмежують крайнє верхнє та нижнє положення стріли, та упори, що запобігають закиданню стріли назад.

Для обмеження нахилу стріли в заданому робочому положенні використовують обмежувачі (рис. 7.7, *а*). Кінцеві вимикачі *3* типу КУ-701 кріплять на платформі *4*. Стріла *1*, підходячи до крайнього верхнього положення, спеціальною лінійкою у вигляді жорсткого упору *2*, закріпленого на стрілі, відводить важіль вимикача *3*, вимикаючи стріловий механізм.

Під час підіймання (рис. 7.7, *б*) у верхнє положення стріла *1*, підходячи до жорсткого упора *2*, натискує на ролик кінцевого вимикача *3* типу ВПК, і підіймання стріли зупиняється.

Для того щоби зберегти стійке верхнє положення стріли і запобігти її можливому закиданню в бік противаги, використовують упори різної конструкції: жорсткі упори *4* (рис. 7.7, *в*) та гнучкі канатні обмежувачі.



а *б* *в*

Рис. 7.7. Обмежувачі руху стріли:
а – упор на стрілі; *б*, *в* – з жорстким упором

На рис. 7.7, *в* наведено застосування телескопічного розсувного упора *4*. Стріла *1*, підходячи до крайнього верхнього положення, спеціальною (у вигляді жорсткої пластини) лінійкою відводить важіль кінцевого вимикача *3* типу КУ-701, і механізм підіймання стріли вимикається. Збоку на стрілі закріплено покажчик *5* вантажопідйомності та вильоту.

Під час роботи крана на мінімальному вильоті гака стріла, нахилена під великим кутом (понад 70º) до горизонталі, може під дією інерційних сил у разі обриву вантажного каната або випадіння вантажів зі стропів та сили вітру впасти назад на поворотну платформу в бік противаги. При цьому може статись поломка стріли та перекидання крана.

Оскільки жорсткі упори, обмежуючи переміщення стріли, можуть бути розміщені на невеликій відстані від п’яти стріли, в разі закидання стріли виникає великий згинальний момент, протистояти якому конструкція стріли не завжди зможе.

Обмежувачі ходу крана і візка

Обмежувач ходу крана і візка складається з кінцевого вимикача типу КУ-121 *1* і профілювальної лінійки *2* (рис. 7.8).

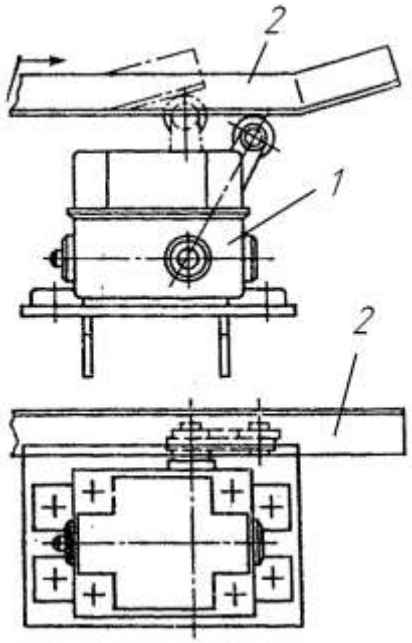


Рис. 7.8. Кінцевий вимикач обмежувача ходу крана або візка

В обмежувачах ходу крана кінцевий вимикач встановлюють на крані, а лінійку – на підставці кінцевого шляху крана; в обмежувачах ходу візків кінцевий вимикач розміщується на прогінній будові крана, лінійка – на вантажному візку. У разі наближення крана до крайнього допустимого положення ролик кінцевого вимикача наїжджає на скошену частину лінійки, внаслідок чого розмикається контакт кінцевого вимикача і вимикається механізм пересування.

Кінцевий вимикач обмежувача ходу крана або візка повинен бути встановлений так, щоб він спрацьовував на відстані крана і візка до упора, рівній не менш ніж половина шляху гальмування. Якщо, наприклад, кінцевий вимикач встановлено на відстані, що дорівнює половині шляху гальмування, то за постійного уповільнення кран або візок можуть переміщатися до упора після спрацьовування кінцевого вимикача зі швидкістю, рівною 0,71 максимальної швидкості. В такому разі подальше зниження швидкості здійснюється буферним пристроєм.

Для обмеження переміщення кранів і вантажних візків по рейкових шляхах з метою зменшення ударних навантажень під час їх наближення до упорів, вони забезпечуються *буферами*. За повністю справних гальм і кінцевого автоматичного захисту кранів установлення буферів дає змогу розширити робочий хід крана і візка, а за можливої несправності гальм й автоматичного захисту підвищити надійність і безпеку роботи крана.

Якість буферів оцінюється за енергоемністю – кількістю енергії, яку буфер здатен накопичити завдяки пружній деформації або поглинути, розсіяти енергію, і коефіцієнтом поглинання – відношенням поглиненої енергії до енергоємності. Для буфера, що має малий коефіцієнт поглинання, характерною є велика віддача, оскільки після стиснення буфера велика частина енергії удару знову переходить в кінетичну енергію крана або візка.

У кранах застосовують дерев'яні, гумові, пружинні, пружинно-фрикційні і гідравлічні буфери. Замість буферів останнім часом почали застосовувати так звані гравітаційні упори – відрізки рейкового шляху, що плавно підіймаються вгору.

Під час наїзду на гравітаційний упор кінетична енергія крана переходить в потенційну енергію піднятої маси крана, що запобігає жорсткому удару по упорах.

Гумовий буфер (рис. 7.9) складається з одного цілого шматка гуми, закріпленого в сталевому фланці.

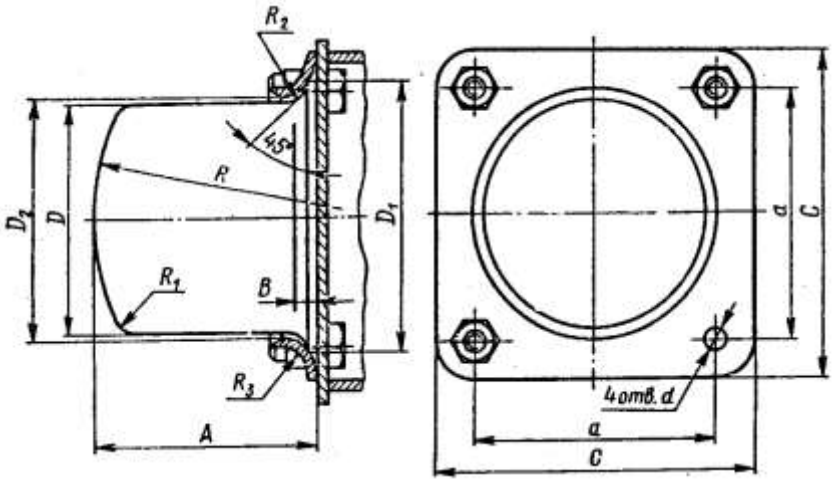


Рис. 7.9. Гумовий буфер

Гумовий буфер має достатню поглинальну здатність, оскільки 30-50% кінетичній енергії візка або крана переходить в теплову завдяки силам внутрішнього тертя гуми.

Пружинні буфери (рис. 7.10) виготовляють з круглого сталевого дроту.

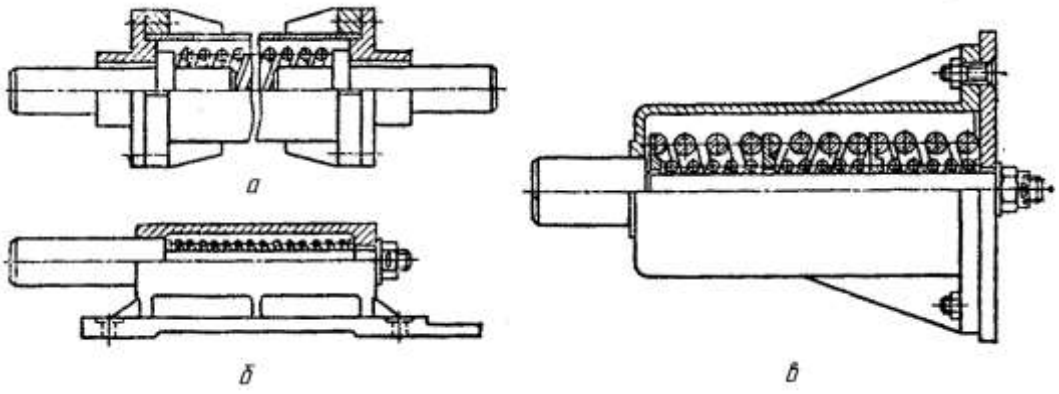


Рис. 7.10. Пружинний буфер

У кранах великої вантажопідйомності використовують пружинні елементи, які за тих самих габаритів буфера дають змогу підвищити його енергоємність. У пружинних буферах велика частина кінетичної енергії переходить в потенційну і дуже незначна – в теплоту; тому ці

буфери мають різку віддачу. У зв'язку з тим, що зусилля, сприймане пружиною, пропорційне її осіданню, тобто змінюється за законом прямої, потенційна енергія визначається половиною максимального зусилля на хід буфера.

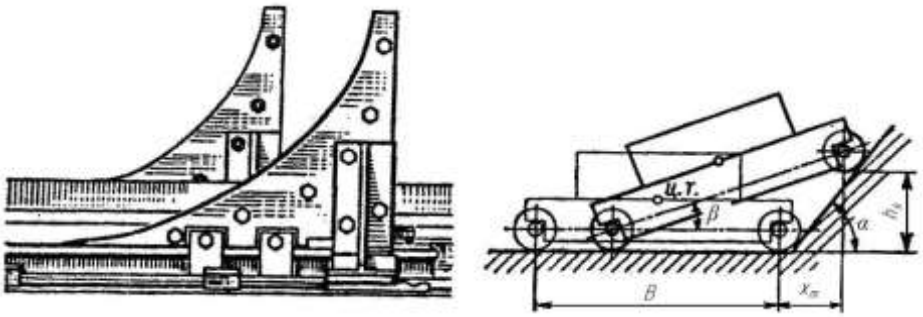
Рекомендується розрахунок буфера виконувати на поглинання кінетичної енергії кранів або візків без урахування ваги вантажу в разі гнучкої підвіски і з урахуванням ваги вантажу за жорсткої підвіски, рухомих із швидкістю 0,5 номінальної з уповільненням.

На рис. 7.11 представлено *гравітаційний буфер*, або тупиковий пристрій, робота якого полягає в перетворені кінетичної енергії в потенційну енергію шляху підіймання крана або візка на деяку висоту. Висота підіймання ходових коліс візка або крана $h_к$ залежить від швидкості пересування і визначається за таким виразом :

$$h_к \le \frac{V^2}{2 \cdot g};$$

шлях гальмування:

$$x_г = \frac{V^2}{tg\alpha \cdot g}.$$



а *б*

Рис. 7.11. Гравітаційний буфер

Обмежувач змотування каната з барабана

Обмежувач (рис. 7.12) слугує для вимкнення механізму підіймання (вантажної лебідки), коли запас каната на барабані *1* становить 1,5…2 витки. Тоді упор *2* гайки *3* пристрою натискує на ролик кінцевого вимикача *4* типу ВПК, і механізм зупиняється.

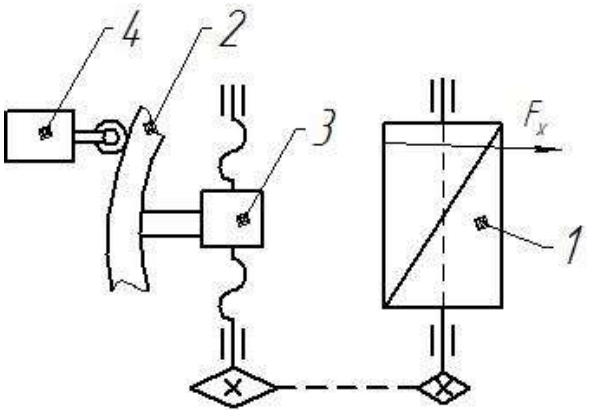


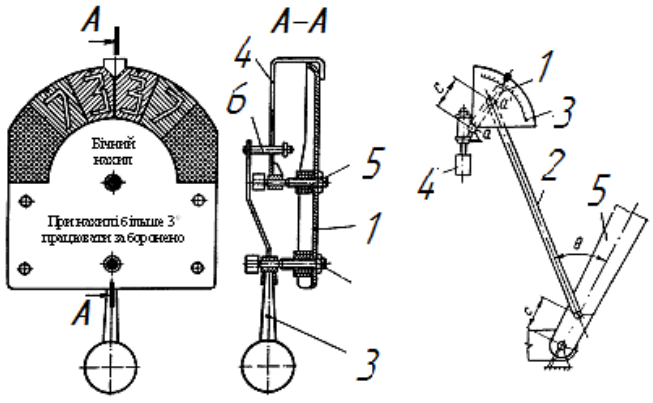
Рис. 7.12. Обмежувач змотування каната

7.2. Пристрої безпеки кранів

Механічні покажчики кута нахилу

Деякі мобільні крани працюють за досить великих поперечних кутів нахилу (бічних кренів). Такі крани обладнуються важільними покажчиками (рис. 7.13, *а*).

Кронштейн зі шкалою *1* встановлюють в кабіні на рамі перед машиністом перпендикулярно до площини зміни вильоту. Маятник *3* підвішено вільно на осі *2*, а стрілка *4* – на осі *5*. На зворотному кінці важеля маятника встановлено поводок 6, який входить в паз стрілки *4*. У разі перекосів крана маятник завжди залишається вертикальним, а кут нахилу рами показує кінець стрілки *4*. Коли кут нахилу становить більш ніж 3°, то працювати заборонено.



а *б*

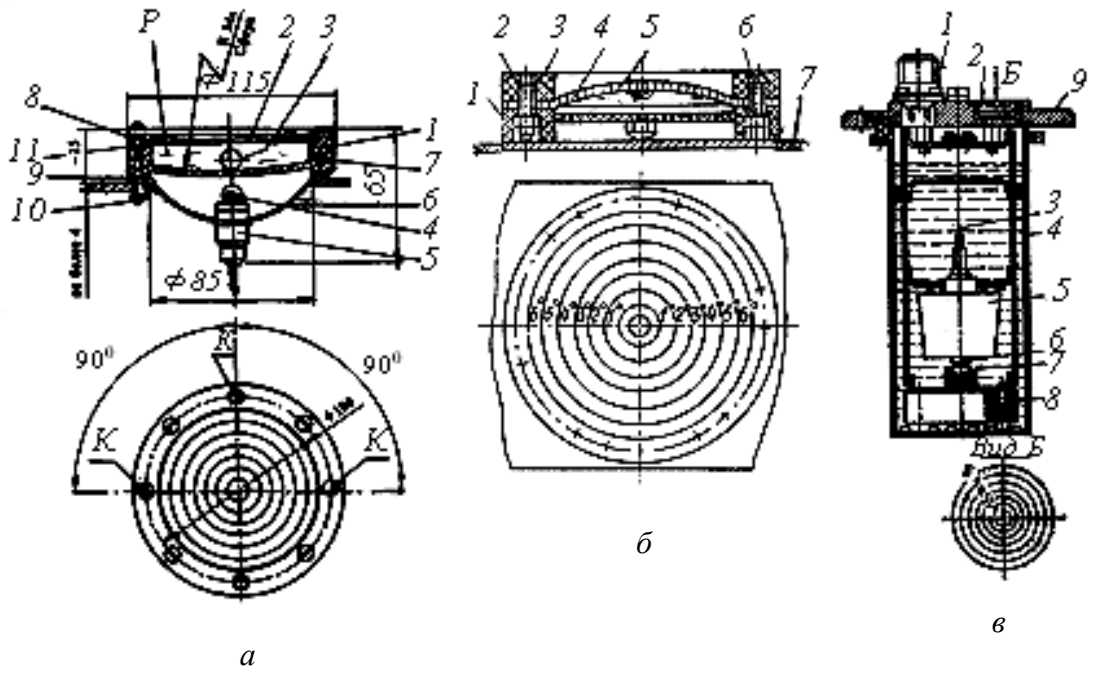
Рис. 7.13. Механічні покажчики кута нахилу:
а – кранів; *б* – стріли

Покажчиками нахилу стріли (рис. 7.13, *б*) обладнують стрілові самохідні крани. Диск *3*, розміщений в кабіні, може вільно обертатись на осі в точці *а* і врівноважується противагою *4* (як маятником), котрий не залежить від нахилу крана і завжди перебуває у вертикальному положенні. На тій самій осі, що й диск *3*, обертається стрілка *1*, з'єднана тягою *2* зі стрілою *5*. Відповідно до принципу паралелограма *аа'бб'* стрілка *1* завжди паралельна стрілі *5*. Стрілка *1* є продовженням сторони паралелограма. Диск *3* можна градувати і як виліт стріли, і як допустиму вантажопідйомність крана для певного вильоту.

Покажчики нахилу кранів (кренометри)

Покажчики нахилу стрілових кранів використовують для контролю кута нахилу крана до горизонту під час роботи та встановлення крана на виносних опорах. Гранично допустимий нормами кут нахилу кранів у поздовжньому та поперечному напрямках дорівнює 3°.

За конструкцією кренометри (рис. 7.14) мажуть бути рідинні круглі – з металевою кулькою, з повітряною бульбашкою та маятникові.



а *б* *в*

Рис. 7.14. Покажчики кута нахилу (крену) крана рідинні:
а – кульковий; *б* – бульбашковий; *в* – автоматичний

Кренометри з металевою кулькою (рис. 7.14, *а*) складаються з корпусу *1*, виготовленого з прозорого матеріалу, який має всередині сферичне дно з нанесеною на ньому шкалою у вигляді концентричних кіл. На сфері встановлено металеву кульку, яка перекочується по цій сфері.

Зверху притискне кільце *8* кріпить кришку *2* гвинтами *10*. Між кришкою та корпусом встановлено ущільнювальне кільце *11*. Для гасіння коливань кульки порожнина корпусу через отвір корка *7* заповнюється демпфірувальною рідиною (веретенна олива).

Унизу корпусу розміщено рефлектор *6*, в який загвинчено патрон *5* з лампочкою *4* для підсвічування. Креномір встановлюють на кронштейні *11* платформи.

Принцип дії рідинного покажчика нахилу (див. рис. 7.14, *б*) ґрунтується на властивості повітряної бульбашки залишатися в крайньому верхньому положенні (повітряна кулька діаметром 5…6 мм знаходиться під сферичною прозорою кришкою *5*). Рідину в корпусі *1* підфарбовано, вона складається з 50% гліцерину та 50% спирту.

Покажчик складається з корпусу *1*, встановленого на кронштейні *7*. На корпус встановлено гумову прокладку *4*, зверху – кришку *5*. Кільце *2* гвинтами *6* кріпить кришку до корпусу. Регулювальні гвинти *3* використовують для розміщення кренометра на платформі.

На кришці кренометра нанесено концентричні кола з цифрами в градусах.

Більш досконалим є автоматичний маятниковий покажчик нахилу крана (див. рис. 7,14, *в*).

Маятник *5* у вигляді вантажу, підвішений на капроновій нитці 3, завжди залишається у вертикальному положенні. На нижній частині маятника кріпиться феритовий сердечник *6* з обмотками, включеними в контур оберненого зв’язку високочастотного генератора. Інші обмотки цього контуру, розміщені на сердечнику *7*, закріплено нерухомо в корпусі *4*, розміщеному на платформі *9*. У разі нахилу платформи відбувається зміщення феритових сердечників *6* та *7*, що супроводжується змінами індуктивної взаємодії між обмотками. За критичного нахилу (понад 3°) спрацьовує підсилювальна схема для керування світловими та звуковими сигналами. Для демпфірування коливань підсилювач *8* і весь прилад заповнені оливою. У верхній кришці корпуса встановлено штепсельний рознімач та бульбашковий рівень *2*.

Протиугінні пристрої

Крани, що працюють просто неба і зазнають дії вітру, повинні бути обладнані протиугінними пристроями – механізмами, що утримують кран від угону вітром. Найбільшого поширення набули протиугінні захоплювачі, що створюють додаткову гальмівну силу під час контакту їх робочих поверхонь з рейкою.

За типом приводу ці пристрої поділяють на ручні і машинні. Замикання захоплювачів з ручним приводом може бути тільки примусовим, а з машинним приводом – автоматичним, коли вимкнення приводу, що утримує захоплювач в неробочому стані, відбувається одночасно з вимкнення електродвигунів механізму пересування і накладенням гальм.

На мостових кранах, встановлених просто неба, допускається не застосовувати протиугінний пристрій, якщо під час дії вітрових навантажень гальмо неробочого стану забезпечує запас утримувальної сили, не менший за 1,2.

Найширше застосування мають ручні захоплювачі кліщового типу (рис. 7.15).

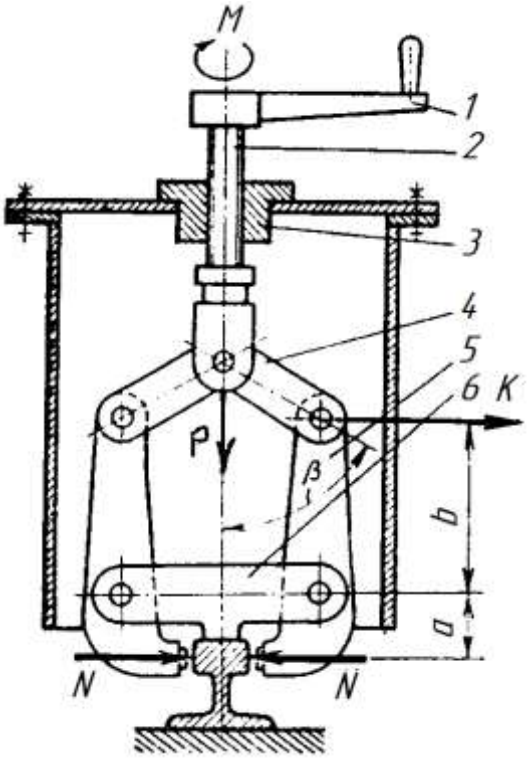


Рис. 7.15. Ручний захоплювач кліщового типу

Унаслідок обертання рукоятки *1* шпіндель *2* вкручується в гайку *3*, важіль *5* захоплювача опускається на рейку до упора на сполучній ланці *6*. Подальше обертання рукоятки приводить за допомогою тяги *4* до виникнення зусиль на кінцях важелів і захоплення головки рейки загартованими губками кліщів.

Автоматичний кліщовий протиугінний захоплювач наведено на рис. 7.16. Замикання важелів *4* на головці рейки в цій конструкції відбувається під дією ваги важкого клина, підвішеного на канаті механізму приводу кліщів. У момент опускання клин тисне на ролики *2* та розсуває верхні кінці важелів. Під час підіймання клина розімкнення губок кліщів відбувається за допомогою поворотної пружини *3*.

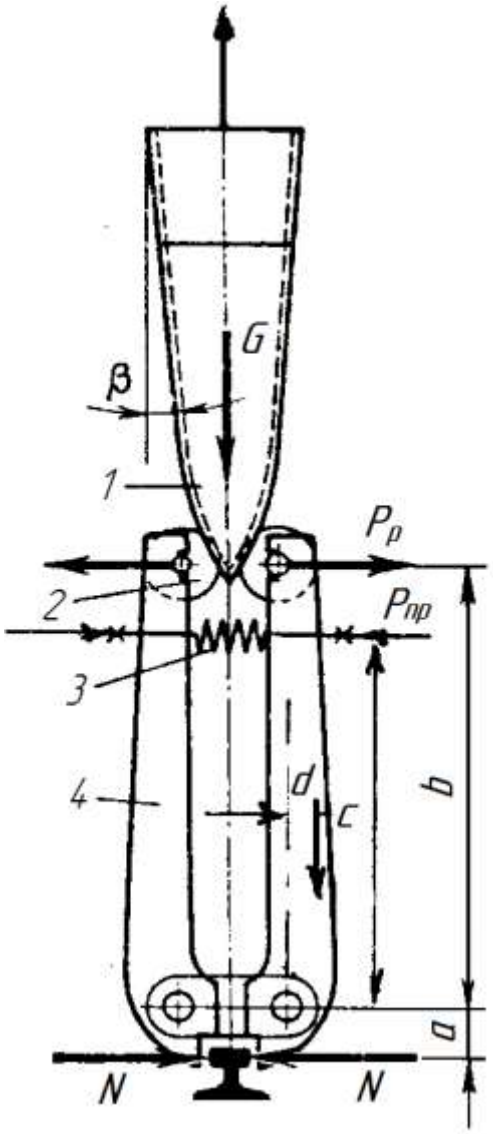


Рис. 7.16. Автоматичний кліщовий протиугінний захоплювач

Прилади сигналізації наближення стріли крана до повітряних ліній електропередачі

Згідно з «Правилами» Державної служби України з питань праці під час контакту в повітрі стріли крана з дротами повітряних ліній електропередачі (ЛЕП) напругою до 1кВ та в разі наближення стріли до дротів ЛЕП понад 1кВ кран опиняється під напругою, небезпечною для обслуговчого персоналу. Для сигналізації про наближення до ЛЕП використовують прилади (сигналізатори), основані на принципі наведення електрорушійної сили (ЕРС) в антені, введеній в електричне поле ЛЕП. Наведена електрорушійна сила підсилюється та використовується у приладі.

Сигналізатори сповіщають обслуговчий персонал про наближення стріли крана на небезпечну відстань до дротів лінії електропередачі (ЛЕП) змінного струму з напругою від 220В до 750кВ.

Це попередження здійснюють універсальні автоматичні сигналізатори (УАС) (рис. 7.17) зі світловим та звуковим сигналом.

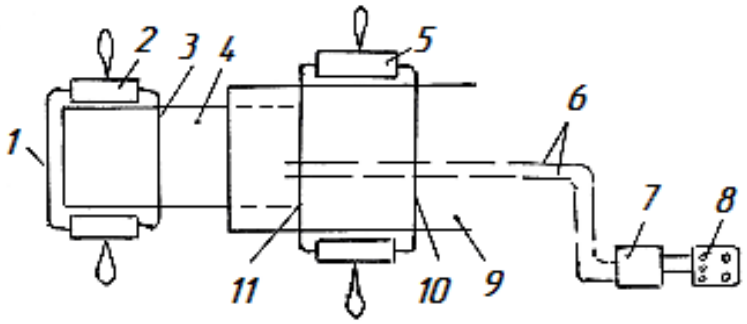


Рис. 7.17. Схема розміщення сигналізатора на стрілі крана з гідроприводом:
1, 3 – кабелі; *2* – антена висувної секції стріли; *4* – висувна секція стріли; *5* – антена основи стріли; *6* – екранований кабель; *7* – блок-підсилювач; *8* – блок сигналізації; *9* – основа стріли; *10, 11* – кабелі

Від антен перетворювачів сигнали йдуть на підсилювач (в кабіні). Загоряється червона лампочка в зоні видимості та надходить відповідний звуковий сигнал поза кабіною для привернення уваги такелажників. Вуси антени *2* (рис. 7.18) виконані у вигляді підпружинених елементів, розміщують з обох боків головки стріли *1*; їх довжина визначається напругою лінії електропередачі. Від сторонніх перешкод вони захищені екраном *10*.

Вуси, залежно від довжини стріли, можуть бути встановлені з поворотом відносно її поздовжньої осі. Антени встановлюють на осях *9*. Сигнали надходять кабелем *8* через кабіну на екранований кабель *6*, звідки до штепсельного рознімача *7* на підсилювач *5*, далі – на блок сигналізації *4*.

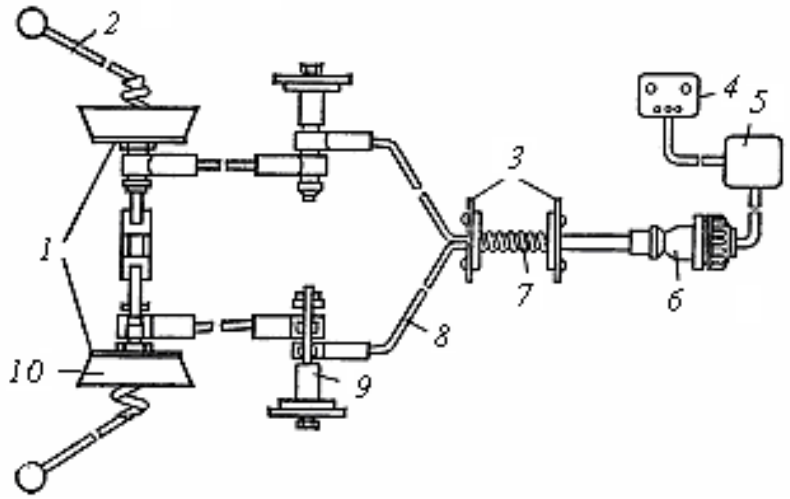


Рис. 7.18. Схема розміщення сигналізатора на крані

Апаратура живиться постійним струмом від акумуляторної батареї.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Наведіть будову та принцип дії обмежувача підіймання вантажу в мостових та козлових кранах.
2. Які типові конструкції обмежувачів вантажопідйомності застосовують в кранах?
3. Наведіть складові частини та принцип дії обмежувача вантажного моменту в самохідних стрілових кранах з гнучкою підвіскою.
4. Охарактеризуйте особливості будови обмежувача вантажного моменту в самохідних стрілових кранах з гідроприводом.
5. Наведіть будову та принцип дії обмежувачів підіймання стріли в стрілових кранах, ходу візка та мостових і козлових кранів.
6. Які типи буферів застосовуються для обмеження ходу кранів?
7. Наведіть будову та принцип дії гравітаційного упора для кранів.
8. Охарактеризуйте будову та принцип дії механічних покажчиків нахилу кранів та кренометрів.
9. Наведіть будову та принцип дії протиугінних пристроїв для кранів.

Лекція 8. ***Навантажувальні машини***

Навантажувальні машини поділяють за видом робочого процесу на машини циклічної та безперервної дії; за видом ходового обладнання – на пневмоколісні, гусеничні, рейколісні; за конструктивними особливостями – на одноківшеві, телескопічні навантажувачі-маніпулятори, автонавантажувачі, електронавантажувачі, багатоківшеві та спеціальні.

Навантажувачами називають машини для навантаження, розвантаження та переміщення вантажу на невеликі відстані. Вони обладнані пристроями для захоплення вантажу, переміщення його у вертикальному та горизонтальному напрямках.

8.1. Одноківшеві навантажувальні машини циклічної дії

Одноківшеві навантажувачі

Одноківшеві навантажувачі (рис. 8.1), особливо на пневмоколісному ході, завдяки високій мобільності і значній продуктивності, набувають все більшого поширення в будівництві. Застосовують їх як навантажувальне, вантажно-транспортне і допоміжне обладнання.

а *б* *в* *г*

Рис. 8.1. Одноківшеві навантажувачі:
а – фронтальний; *б* – грейферний; *в* – фронтальний гусеничний; *г* – напівповоротний

Робоче обладнання цих машин навішують на гусеничні чи колісні трактори, а також на спеціальні шасі. Пневмоколісні навантажувачі найбільш прийнятні в сільському будівництві, бо можуть самостійно переміщуватися з об'єкта на об'єкт із досить високими транспортними швидкостями руху (50...60 км/год).

Особливістю одноківшевих навантажувачів є їх універсальність, що дає можливість навішувати на машину змінне робоче обладнання, вантажні вила, крановий гачок, захоплювачі для колод, викорчовувач тощо. У нашій країні серійно випускаються фронтальні навантажувачі на пневмоколісному ходу, в основному малої потужності, з ковшем місткістю 1...2м^3. Відбулися випробування дослідного зразка навантажувача ТО-21 вантажопідйомністю 15 т і місткістю ковша 7,5 м^3. Планується створення потужних навантажувачів вантажопідйомністю 25 т (місткість ковша – 12,5 м^3) і 40 т.

Універсальні одноківшеві навантажувачі на пневмоколісному ходу (рис. 8.1, *а, г*) призначені:

- для навантажувально-розвантажувальних робіт з сипкими і дрібнокусковими матеріалами (гравій, щебінь, галька, висівки, вугілля, шлак тощо) об'ємною вагою до 2...3 т/м^3 ,
- розроблення піщаних та гравійних кар'єрів із завантаженням у відвал чи транспорт;
- планувальних робіт на ґрунтах до II категорії, транспортування дрібнокускових. піщаних матеріалів на відстань до 100 м;
- монтажних і такелажних робіт із будівельними деталями малих та середніх розмірів.

Напівповоротний навантажувач грейферний (рис. 8.1, *б*) призначено:

- для навантаження сипких та дрібнокускових матеріалів в автотранспорт чи навантажувальні пристрої;
- для транспортування й штабелювання штучних і тарних вантажів вагою до 1 т;
- для розроблення ґрунту II категорії із завантаженням у відвал чи транспорт.

Універсальний навантажувач може застосовуватися для розроблення гравійно-піщаних кар'єрів і монтажно-такелажних робіт.

Гусеничні навантажувачі мають більші тягові зусилля, високу маневреність та прохідність і застосовуються за досить значного обсягу робіт.

Навантажувачі на гусеничних тракторах призначені для розроблення кар'єрних та штабельованих сипких і дрібнокускових будівельних матеріалів та ґрунтів Ш категорії, а також для планування площ, прибирання будівельного сміття, навантаження силосу, торфу, перегною, лісоматеріалів, переміщення розроблених будівельних матеріалів на відстань до 100 м. У деяких випадках (рис. 8.1, *в*) навантажувачами можна розпушувати змерзлі ґрунти І-Ш категорій.

Продуктивність технічна:

$$П = \frac{q k_н k_у}{t_ц k_р}, \qquad (2.1)$$

де q – місткість ковша; $k_н, k_у, k_р$ – відповідно коефіцієнти наповнення, умов роботи та розпушення ґрунту; $t_ц$ – час циклу.

Одноківшеві навантажувачі, використовувані для земляних робіт, класифікують за призначенням, вантажопідйомністю, напрямком розвантаження ковша, типом ходової частини і базової машини та іншими конструктивними ознаками:

за *призначенням* – загального призначення (будівельні з вантажопідйомністю до 70 кН) і спеціальні (кар'єрні з вантажопідйомністю понад 70 кН);

за *вантажопідйомністю* (основним параметром одноківшевих навантажувачів) – надлегкі (малогабаритні до 0,5 т), легкі (0,6…1,0 т), середні (1,0…3,0 т), важкі (4,0…10,0 т) і великовантажні (суперважкі понад 10,0 т) (табл. 6.1–6.3) [19; 22];

за *напрямком розвантаження ковша* – фронтальні (з переднім розвантаженням), напівповоротні (з бічним розвантаженням), перекидні (із заднім розвантаженням). При цьому навантажувальне обладнання виконують напівповоротним, комбінованим, перекидним і фронтальним. Для напівповоротного обладнання характерним є бічне розвантаження ковша, комбіноване дає змогу здійснювати і переднє, і заднє розвантаження, перекидне – тільки заднє; в разі використання найпоширенішого фронтального обладнання можливим є розвантаження ковша тільки з боку розроблення матеріалу;

за *типом ходової частини* — на пневмоколісному ходу із жорсткою рамою (із задніми й передніми керованими колесами) або із шарнірно з'єднаною рамою; на гусеничному ходу. Перші мають великі транспортні швидкості, не руйнують поверхню доріг і майданчиків, другі – дають змогу розвивати в 1,2…1,5 раза більше зусилля, ніж у колісних, під час заглиблення в ґрунт силою тяги, а також мають велику маневреність унаслідок можливості розвороту на місці, що скорочує тривалість циклу на 8…25 % і підвищує продуктивність на 20…30 %. Для великовантажних машин, що працюють на навантаженні висадженої скельної породи, застосовують *пневмогусеничні колеса,* що поєднують переваги колісного і гусеничного рушія (пневматичне колесо з металевим гусеничним протектором);

за *наповненням ковша* – з напірним зусиллям, забезпечуваним ходовим механізмом, або за допомогою гідроциліндрів у разі застопореного ходового пристрою;

за *типом приводу* – дизельні, дизель-електричні, карбюраторні;

за *потужністю двигуна* – малої потужності (до 80 кВт), середньої (180–160 кВт), потужні (160–550 кВт) та надпотужні (понад 600 кВт) (див. табл. 2.2–2.4).

Одноківшевий фронтальний навантажувач складається з базового транспортного засобу і навісного обладнання.

Висока маневреність – одна з основних вимог до фронтальних навантажувачів. Робочий цикл машини складається з човникових переміщень з вантажем і без нього на невеликі відстані (до 25 ... 30 м) і крутих розворотів, тому навіть невелике скорочення часу на зрушення з місця, гальмування і поворот сприяє помітному підвищенню продуктивності навантажувача. В більшості моделей навантажувачів маневреність досягається шарнірно з’єднаною рамою. Вона складається з двох частин, з'єднаних шарніром з вертикальною віссю.

Задня рама слугує опорою для силової установки, трансмісії, заднього моста і кабіни оператора (у більшості моделей), передня - для кріплення робочого обладнання з гідросистемою керування і переднього моста. Фіксація і поворот рам одна відносно одної здійснюється двома гідроциліндрами, керованими рульовою системою спостережного типу, яка забезпечує поворот рам пропорційно куту повороту рульового колеса. Величина кута «зламу» коливається в межах від 28 до 45° в кожен бік, але для більшості моделей становить 40°.

Традиційно пневмоколісні навантажувачі оснащують гідромеханічною трансмісією з гідротрансформатором і перемиканням передач під навантаженням. Трансмісія складається з мостів підвищеної міцності з повністю розвантаженими півосями, диференціалами підвищеного тертя або такими, що блокуються, осьовими або бортовими знижувальними редукторами і осьовими або бортовими багатодисковими оливозануреними гальмами, що вирізняються надійністю, стійкістю до перегрівання і невибагливістю в обслуговувані. Іноді коробки перемикання передач під навантаженням оснащують автоматом вибору швидкості залежно від величини робочих навантажень.

Останніми роками на фронтальних пневмоколісних навантажувачах почали застосовувати гідрооб'ємні трансмісії. Насос і гідромотор встановлюють між двигуном і коробкою передач, не змінюючи інших елементів ходової трансмісії. При цьому підвищується ККД трансмісії, режим роботи двигуна є оптимальним за змінних робочих навантажень, найбільше тягове зусилля досягається автоматично за максимально можливої швидкості і без буксування, величина тягового зусилля не залежить від витрати потужності на інші системи навантажувача, значно поліпшуються шумові характеристики трансмісії і знижується питома витрата палива.

Сучасні навантажувачі оснащені автоматичними системами, що звільняють оператора від рутинних операцій, які найчастіше доводиться виконувати, керуючи робочим процесом, або спрощують їх виконання. До таких операцій належить адаптація швидкості до навантажень, перерозподіл гідравлічних потоків, повернення ковша у вихідне положення, кнопкове перемикання на нижчу швидкість, діагностика поточного стану агрегатів.

Важливу роль у зниженні стомлюваності машиніста відіграє поєднання операцій. Наприклад, після натискання гальмівної педалі одночасно з початком гальмування вимикається зчеплення, а перехід з передачі II на передачу I під час заповнення ковша здійснюється натисканням кнопки з автоматичним підвищенням передачі за ввімкнення заднього ходу. За напівавтоматичного перемикання важелем задається бажана передача (вона може відрізнятися від поточної на кілька ступенів), після чого автомат сам перемикає передачі, доки не буде досягнута задана.

Ківш, механізми підняття і повороту ковша є основним робочим обладнанням. На колісних і гусеничних навантажувачах установлено стрілу, яку за допомогою двох гідроциліндрів можна повертати у вертикальній площині щодо нерухомої осі, закріпленої на порталі, на кут до 90°. На протилежному кінці стріли шарнірно закріплено ківш або інший змінний робочий орган. Найбільш навантаженим елементом робочого обладнання одноківшевого навантажувача є стріла, що сприймає навантаження під час черпання матеріалу, підняття ковша, руху машини з піднятим ковшем. Стріли виконують одно- або двобалковими. Однобалкова стріла має істотний недолік: для досягнення потрібної жорсткості її виконують масивною. На вітчизняних навантажувачах найчастіше встановлюють двобалкові стріли коробчастого перерізу. Важелі керування ковшем можуть мати центральне або двобічне розміщення. Нижня частина стріли біля шарніра кріплення до ковша може мати лижу для сприймання частини навантажень під час виглиблення ковша. Останнім часом лижі використовують тільки для навантажувачів на гусеничних тракторах з метою запобігання пошкодженням ходового механізму.

Привід робочого обладнання навантажувачів складається з одного або двох гідроциліндрів підняття стріли та одного або двох гідроциліндрів повороту ковша або керування іншим робочим органом.

Робоче обладнання стрілових навантажувачів (рис. 8.2) складається з просторової стрілової конструкції, яка однією віссю закріплена на передній частині рами машини, а середньою частиною спирається на штоки гідроциліндрів опускання / підіймання стріли.

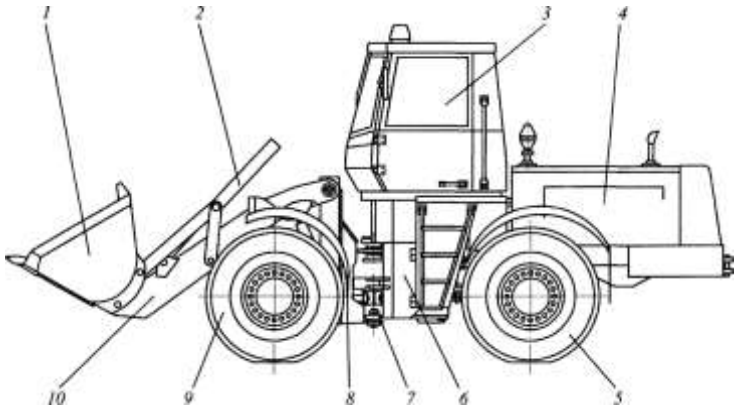


Рис. 8.2. Будова пневмоколісного одноківшевого фронтального навантажувача:
1 – ківш; *2* – гідроциліндри управління ковшем; *3* – кабіна оператора; *4* – двигун; *5* – задні пневмоколеса; *6* – задня рама; *7* – шарнірне зчленування рам; *8* – передня рама; *9* – передні пневмоколеса; *10* – стріла

Сучасні одноківшеві навантажувачі випускають як начіпне обладнання на гусеничні й колісні трактори (рис. 8.3), а також на колісні тягачі із шарнірно з'єднаною рамою. Одноківшеві фронтальні навантажувачі завдяки своїй універсальності застосовують дедалі ширше.

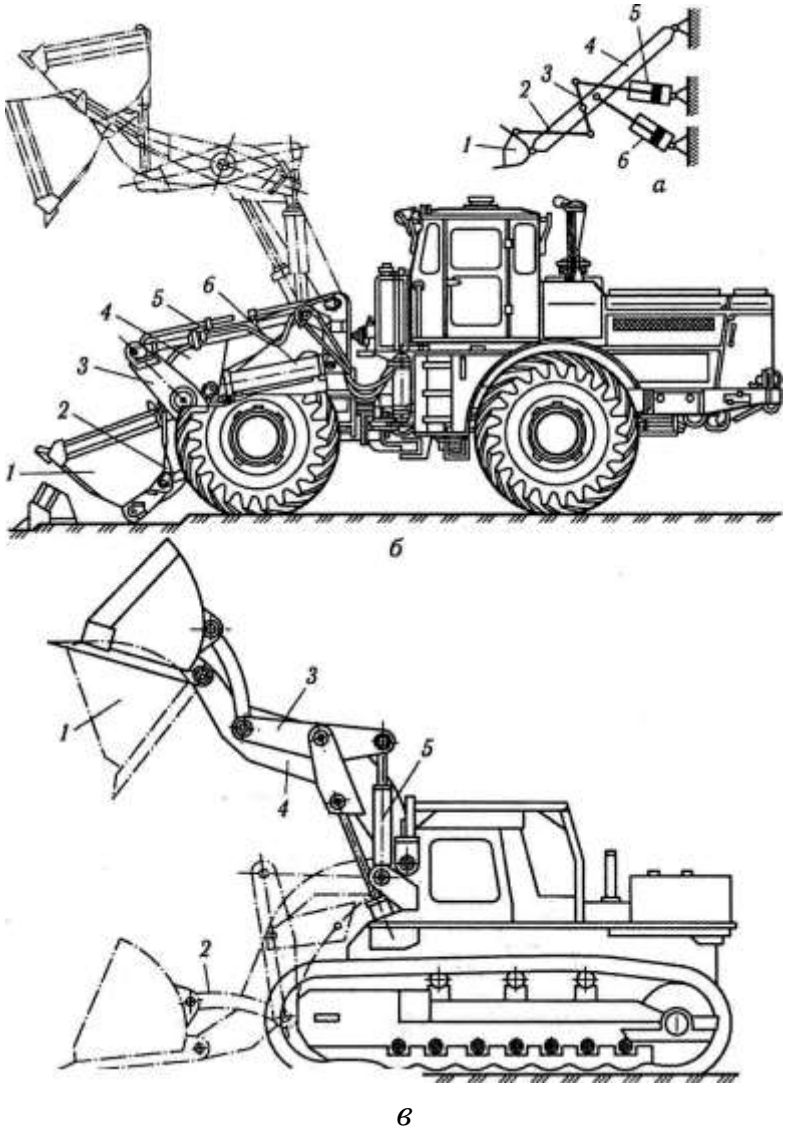


Рис. 8.3. Схема важільно-гідравлічної системи керування (*а*), пневмоколісний із шарнірно з'єднаною рамою (*б*) і гусеничний (*в*) одноківшеві фронтальні навантажувачі:
1 – ківш; *2, 3* — важільні механізми; *4* – стріла; *5,6* – гідроциліндри

Залежно від призначення навантажувача використовують два типи механізмів повороту ковша: Z-подібний, що забезпечує підвищене зусилля відривання, і Н-подібний зі збільшеним кутом закидання (рис. 8.4 і 8.5).

Самі гідроциліндри шарнірно спираються на раму. На консольному кінці стрілової конструкції шарнірно кріплять фронтальнй ківш, нахил якого змінюється одним або двома гідроциліндрами через важільний механізм нахилу ковша. У Z-механізмі (рис. 8.4) точка опори важеля знаходиться між точками прикладання сил, що забезпечує підвищене зусилля на кромці ковша (силу відриву). В Н-механізмі (рис. 8.5) точка опори важеля знаходиться з одного боку від точок прикладання сил, завдяки чому він відрізняється збільшеним кутом закидання ковша.

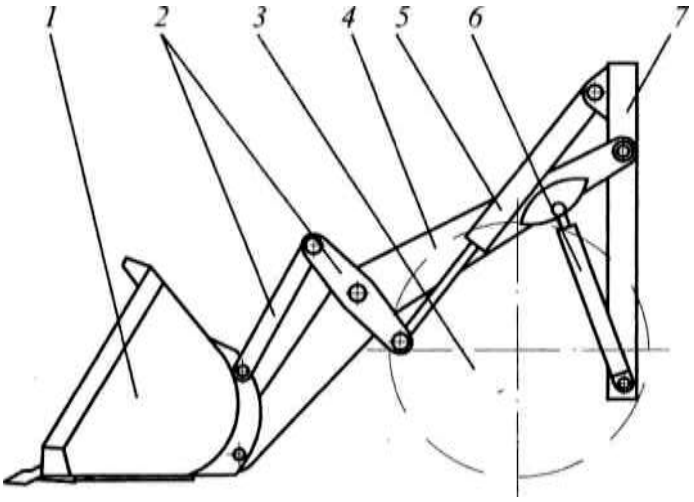


Рис. 8.4. Будова важільного Z - механізму фронтального навантажувача:
1 – ківш; *2* – важільний механізм; *3* – колесо; *4* – стріла; *5* – гідроциліндр нахилу ковша; *б* – гідроциліндр підіймання / опускання стріли; *7* – елемент рами навантажувача

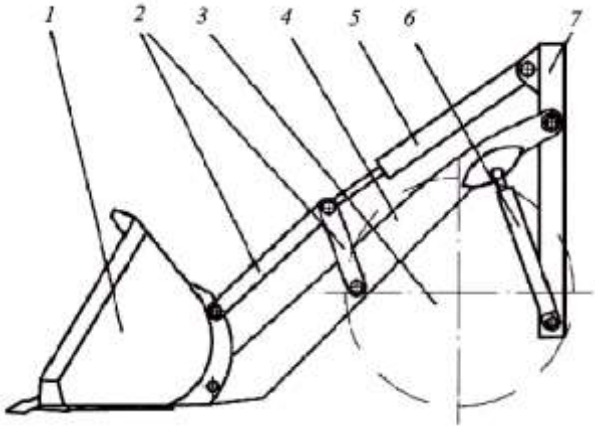


Рис. 8.5. Будова важільного Н-механізму фронтального навантажувача: *1* – ківш; *2* – важільний механізм; *3* – колесо; *4* – стріла; *5* – гідроциліндр нахилу ковша; *6* – гідроциліндр підіймання/опускання стріли; *7* – елемент рами навантажувача

Стандартні ковші з прямою різальною крайкою використовують для перевантаження піску, гравію і глинистих ґрунтів з насипною щільністю від 1,4 до 1,8 т/ $м^3$.

Додатково такі ковші можуть комплектуватися змінною двосторонньою ріжучою крайкою (суцільною або з сегментів), виконаною зі зміцненої зносостійкої сталі дуже високої твердості. Щелепні ковші збільшують висоту вивантаження і дозволяють навантажувачам штовхати і пошарово розрівнювати ґрунт, планувати поверхню, захоплювати сипкі і штучні вантажі. Щелепи ковшів керуються додатковими гідроциліндрами, тому навантажувач повинен бути оснащений спеціальним гідравлічним контуром.

Для роботи з крупнокусковим каменем використовую ковші підвищеної міцності з трикутною або прямою різальною крайкою, з зубами або без них. Ковші підвищеної (в 1,5 ... 2,5 раза) місткості застосовують для перевантаження деревної тріски, побутових відходів, вугілля, торфу, снігу, сільськогосподарських вантажів. Ґратчасті козирки важких і полегшених ковшів не заважають оператору під час руху і дають можливість контролювати процесі наповнення ковша.

У разі універсального використання навантажувачів ефективний двощелепний ківш – землерийно-навантажувальний робочий орган, що функціонально може виконувати навантаження матеріалу, розроблення матеріалу бульдозером, скрепером і грейдером. Рухому щелепу можна повертати щодо бульдозерного відвала за допомогою двох гідроциліндрів, розміщених з тильного боку ковша. Кут повороту щелепи – 100–120°. Двощелепним ковшем можна захоплювати і навантажувати вантажі неправильної форми (пні, будівельні конструкції) і довгомірні вироби (труби, колоди).

У зв'язку з тим що металомісткість двощелепних (рис. 8.6) ковшів більша, їх об'єми зазвичай на 25 % менші за об'єми основних ковшів. Двощелепними ковшами обладнують навантажувачі легких і середніх типорозмірів потужністю до 180 кВт.

Сучасні фронтальні навантажувачі обладнують різними вилковими захоплювачам з грейферними щелепами і без них для перевантаження довгомірних, волокнистих, великокускових вантажів, а також штучних вантажів на піддонах (рис. 8.6). Фронтальні пневмоколісні навантажувачі оснащують також стріловим вантажопідіймальним обладнанням.

Щелепний грейфер з гідравлічним керуванням щелепами (рис. 8.6, *н*) застосовують здебільшого на напівповоротних колісних навантажувачах для копання ям, колодязів, котлованів невеликого розміру.

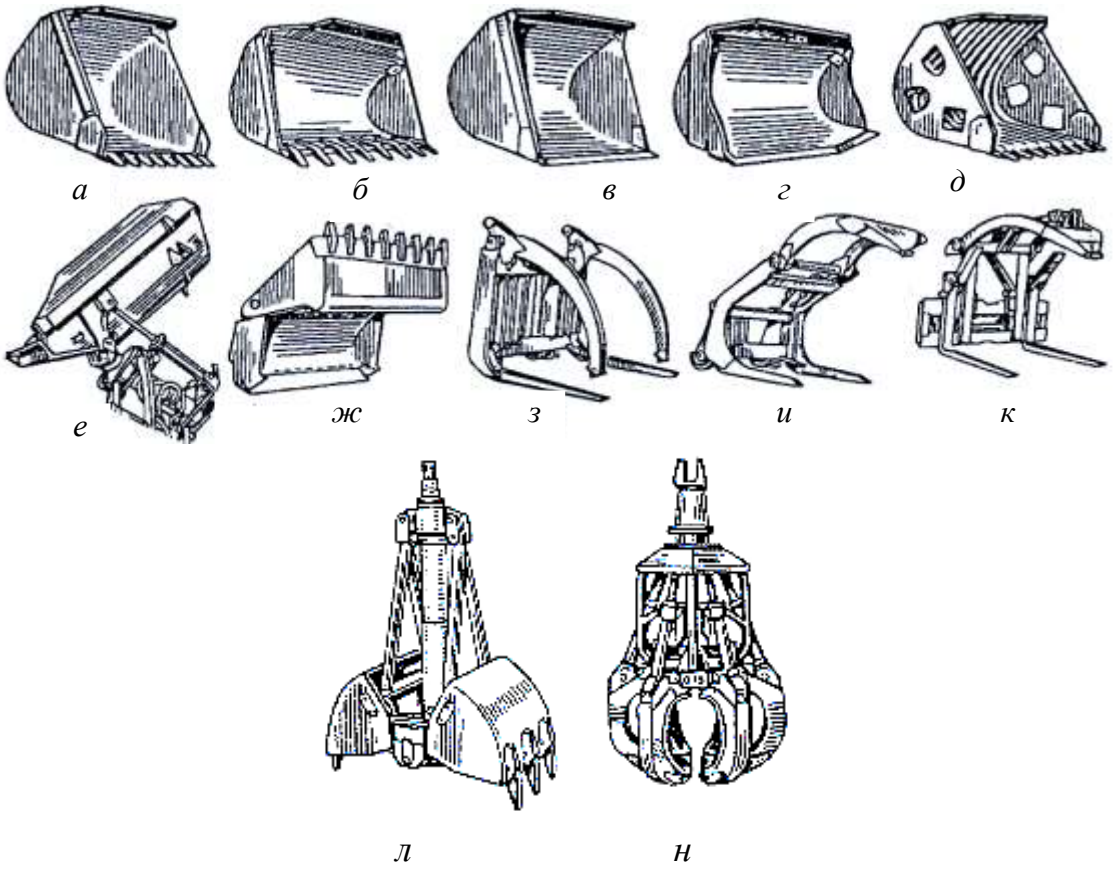


Рис. 8.6. Комплект змінних робочих органів:

а – посилений ківш для міцних ґрунтів; *б* – полегшений ківш для м'якого ґрунту; *в* – ківш загального призначення для дрібнокускового матеріалу; *г* – посилений ківш для щебеню і підірваної скелі; *д* – ківш для великих важких фракцій підірваної скелі; *е* – ківш для бічного розвантаження; *ж* – ківш двощелепний багатоцільового використання для роботи бульдозером, грейфером; *з* – захвати для довгомірних матеріалів, брусів; *и* – захвати для труб, колод; *к* – захвати для дощок; *л* – грейфер загального призначення; *н* – грейфер багатолопатевий

Для скорочення непродуктивних витрат часу, зменшення частки ручної праці під час обслуговування навантажувачів широко застосовують пристрої для швидкої зміни робочих органів, які розподіляють на три групи: пристрої, що потребують для встановлення

робочого органу виходу водія з робочого місця і застосування зусилля під час монтажу або демонтажу кріплення; пристрої, що забезпечують часткову механізацію процесу заміни робочого органу; пристрої, що мають спеціальні механічні, гідравлічні або інші системи для керування фіксувальними елементами. Процес заміни робочого органа, у разі застосування фіксувальних елементів, не потребує виходу водія з робочого місця і докладання фізичних зусиль. Недоліками пристроїв третьої групи є досить значна складність і висока вартість, велика маса і менша надійність системи.

Витрати часу на заміну робочих органів скорочуються до декількох хвилин у разі використання швидкорознімних з'єднань, якими оснащують сучасні машини. Пристрій кріпиться до консолі між стрілою і робочим органом і приводиться в дію машиністом вручну (за механічного блокування) або з кабіни (за гідравлічного керування). Незважаючи на велику кількість моделей навантажувачів, вони подібні між собою за компонуванням, конструкцією і принципом дії. Керування робочим обладнанням – гідравлічне. Фронтальні навантажувачі розвантажують ківш під час його перекидання вперед. Навантажувачі з розвантаженням ковша через себе виконують з гусеничним ходовим обладнанням, ковшем місткістю до 4 $м^3$, дизельним або дизель-гідравлічним приводом і гідравлічним або рідше канатно-блоковим керуванням. Навантажувачі з бічним розвантаженням ковша за конструкцією аналогічні фронтальним, однак завдяки шарнірному з'єднанню ковша зі стрілою вони можуть виконувати розвантаження як у лівий, так і в правий бік.

Маневрування навантажувачів з вантажем значно скорочується в разі використання *напівповоротного робочого обладнання* (рис. 8.7), на якому стрілу з ковшем установлено на поворотній платформі. Проте конструкція таких навантажувачів є складною, а місткість ковшів – незначною.

Напівповоротні навантажувачі, на відміну від фронтальних, можуть виконувати розвантаження як спереду, так і збоку за кута повороту від поздовжньої осі до 90°. Поворотна платформа *3* з робочим обладнанням навантажувача спирається на раму *1* машини через опорно-поворотний пристрій *2*. Обертальний рух поворотної платформи здійснюється за допомогою двох горизонтально розміщених гідроциліндрів *4*, ланцюга 5 і зірочки *6*. Така конструкція навантажувача дає змогу скоротити час на розвороти і застосовувати їх в утруднених умовах. Робочий цикл напівповоротного навантажувача відрізняється від

робочого циклу фронтального навантажувача тим, що в ньому немає операцій на додаткові розвороти машини, що дає можливість скоротити тривалість робочого циклу на 30–40 %.

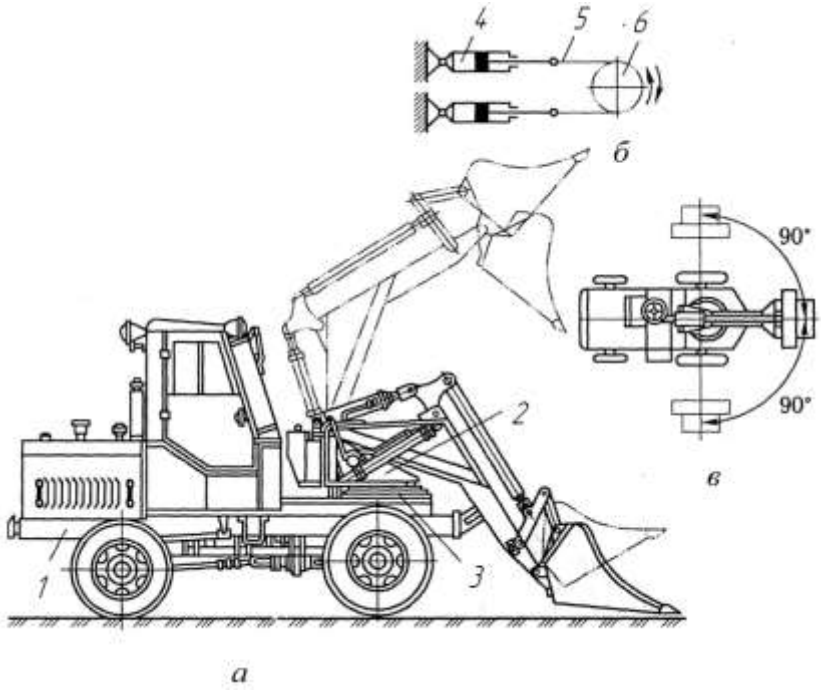


Рис. 8.7. Одноківшевий напівповоротний навантажувач:
а – конструктивна схема; *б* – схема системи повороту; *в* — зона дії;
1 – рама; *2* – опорно-поворотний пристрій; *3* – поворотна платформа; *4* – гідроциліндр; *5* – ланцюг; *6* – зірочка

Навантажувачі на гусеничному ходу (тракторні лопати) (рис. 8.8) широко використовують для навантаження в транспортні засоби сипких, малосипких матеріалів, для розроблення і переміщення ґрунту, для бульдозерних робіт, добування торфу на осушених та підготовлених болотах.

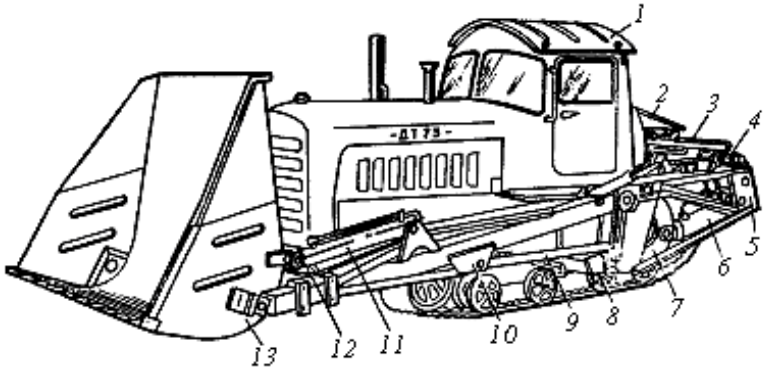


Рис.8.8. Тракторна лопата

На рамі трактора ДТ-75 або ДТ-75М закріплено поперечну балку *8*, а на опорах головного вала начіпної системи трактора – задню балку *4*. Дві балки з'єднано між собою боковинами *5*, на яких шарнірно встановлено стрілу підіймання *10*. Поворот стріли здійснюється двома гідроциліндрами 6 таким чином: під час висування штоків гідроциліндрів кронштейни *7* повертаються і через жорсткі тяги *9* повертають стрілу.

За повного висування штоків стріла підіймання повертається в крайнє заднє положення, де відбувається заднє (перекидне) розвантаження. У раз зупинки стріли над радіатором трактора гідроциліндрами *11* виконують поворот ковша *13* для переднього (фронтального) розвантаження. Над кабіною та гідросистемою *3* встановлено захисні листи *1,2*. Біля радіатора розміщено огородження *12*.

Телескопічні навантажувачі-маніпулятори

Телескопічні навантажувачі-маніпулятори (рис. 8.9) можуть використовуватися практично в усіх сферах промислового та сільськогосподарського виробництва.

У будівництві їх застосовують для вивантаження будівельних матеріалів й обладнання з автотранспорту, переміщення вантажів по будівельному майданчику та подавання їх в зону дії баштових кранів, подавання і позиціювання металевих конструкцій під час складання несучих каркасів промислових корпусів й установок.

Застосовують їх також на земляних, підйомно-транспортних й обробних роботах у тунелях, під мостами, шляхопроводами, лініями електропередачі.

Від інших типів навантажувачів ці машини відрізняються більшою висотою підіймання вантажу (до 20 м і більше), високою маневреністю, універсальністю і точністю подавання вантажів. Досягають цього за допомогою набору типових для більшості телескопічних навантажувачів технічних рішень: телескопічна стріла; швидкодійне захоплення змінних робочих органів; додаткові гідравлічні контури для активних робочих органів (щелепні ковші, бетонозмішувачі тощо) з швидкорознімними з'єднувальними муфтами; поворот передніми або задніми колесами, «крабом» і «колія в колію»; повнопривідне шасі; розширений набір змінних робочих органів (неповноповоротний екскаватор, багатоцільовий щелепний ківш, вила, підмітальні щітки, кранова стріла з лебідкою, цебер для бетону, бетонозмішувач, пасажирська платформа).

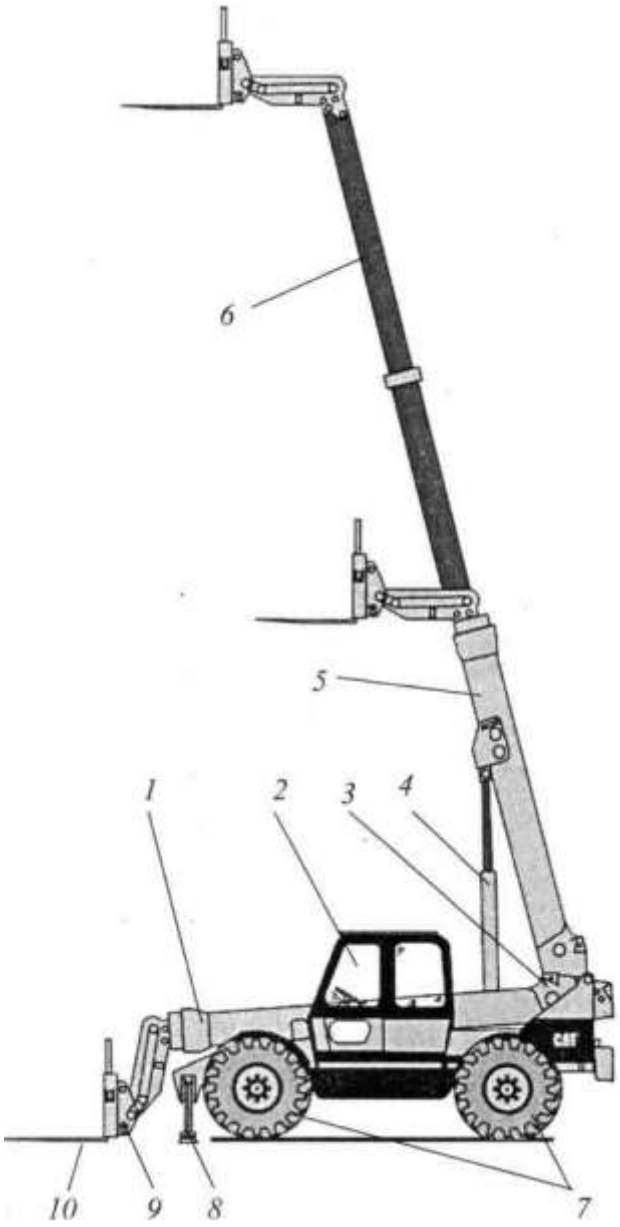


Рис. 8.9. Телескопічний навантажувач:

1 – зібрана стріла в транспортному положенні; *2* – кабіна оператора; *3* – малий гідроциліндр підіймання стріли; *4* – великий гідроциліндр підіймання стріли; *5* – зібрана стріла під максимальним кутом нахилу; *6* – повністю розсунута телескопічна стріла під максимальним кутом нахилу; *7* – пневмоколісне шасі; *8* – висувні опори (аутригери); *9* – швидкодійне захоплення змінного обладнання; *10* – вила для штучних вантажів

Завдяки зазначеним перевагами телескопічні навантажувачі з високою ефективністю виконують практично будь-які роботи в будівництві, зокрема транспортному. Велика частина машин оснащена передніми аутригерами та компенсаційним пристроєм, який утримує шасі в горизонтальному положенні під час роботи на поперечних ухилах

до 10°. Телескопічна дво- або трисекційна вантажна стріла має коробчастий перетин, а її оголовок обладнано швидкодійним захоплювачем робочих органів. Підіймання, опускання і розсування стріли здійснюється гідроциліндрами.

Телескопічні навантажувачі-маніпулятори вдало поєднують в собі переваги щонайменше трьох класів машин: фронтальних одноківшевих навантажувачів, самохідних стрілових кранів і навантажувачів підвищеної прохідності. Для оцінювання технічних можливостей телескопічних навантажувачів-маніпуляторів використовують ті самі показники, що й для фронтальних одноківшевих навантажувачів.

Міні-навантажувачі з бортовим поворотом

Міні-навантажувачі з бортовим поворотом (рис. 8.10) призначені для виконання невеликих обсягів вантажно-розвантажувальних робіт і перевезення вантажів на невеликі відстані. Вантажопідйомність більшості сучасних міні-навантажувачів з бортовим поворотом обчислюється в діапазоні 300 ... 1500 кг.

Рис. 8.10. Міні-навантажувач з бортовим поворотом

Міні-навантажувачі з бортовим поворотом являють собою короткобазові чотириколісні повнопривідні шасі, що низько сидять, з невеликим дорожнім просвітом і гідрооб'ємною ходової трансмісією. Колеса лівого і правого бортів приводяться в дію окремими

гідромоторами і можуть працювати в режимі протиобертання. Завдяки цьому міні-навантажувачі маневрують, гальмуючи колеса одного з бортів або змушуючи колеса протилежних бортів обертатися в різні боки.

Колеса одного борту, як правило, приводяться в дію від вала гідромотора ланцюговою передачею, що забезпечує кінематичне узгодження їх кутових швидкостей, але трапляються і варіанти з гідрооб'ємними мотор-колесами, в яких узгодження кутових швидкостей здійснюється гідравлічно. Гальмування може здійснюватись припиненням подавання рідини до всіх гідромоторів або гідромоторами одного борту і гарантується гідрозамками. Завдяки бортовому повороту ці машини є надзвичайно маневреними, але мають ряд недоліків: підвищене зношення шинного протектора, жорсткі вимоги до стабільності тиску в пневмоколесах (поворот за тиску, нижчого від номінального, призводить до пошкодження боковини камерного і розгерметизації безкамерного колеса), обмеження швидкості, втрати поздовжньої стійкості, пошкодження шинами м'яких штучних, трав'яних і ґрунтових покриттів .

Стандартне ходове обладнання міні-навантажувачів включає безкамерні шини з розвиненим протектором для роботи на ґрунтах. Якщо умови роботи пов'язані з підвищеним ризиком пошкодження шин, можна використовувати колеса, обід яких набрано з декількох гумових секторів, з ізольованою повітряною порожниною всередині кожного. Пошкодження одного з секторів не призводить до виходу колеса з ладу, а кожен із секторів може бути замінений незалежно від інших. Можливою є також комплектація міні-навантажувача гусеницями зі сталевими або гумовими траками, одягненими на колеса, що знижують питомий тиск машини на ґрунт за одночасного підвищення її прохідності.

До робочого обладнання міні-навантажувача звичайно належить змінний робочий орган, швидкодійний захоплювач, вантажна стріла і гідросистема, що забезпечує підіймання / опускання стріли, нахил ковша і роботу органів з автономним гідроприводом. Асортимент змінних робочих органів досить широкий, він охоплює ковші різного об'єму з фронтальним і бічним розвантаженням, вилкові й грейферні захоплювачі, навісний екскаватор «зворотна лопата», фрези, дискові пили, вібротрамбівки, гідромолоти, траншеєкопачі, бури, бетонозмішувачі, підмітальні щітки, відвали, снігоприбиральні пристрої та ін.

За типом компонування робочого обладнання сучасні міні-навантажувачі з бортовим поворотом можна об'єднати в три групи.

1. Найбільш поширена П-подібна в плані стріла, перекладина якої з швидкодійним захоплювачем і робочим органом розміщується перпендикулярно осі машини безпосередньо перед кабіною оператора (див. рис. 8.10). Задні кінці бічних балок стріли шарнірно кріпляться до високого порталу силової рами міні-навантажувача, розміщеної ззаду кабіни у вигляді арки над моторним відсіком. П-подібна стріла забезпечує відносну простоту і надійність силової конструкції і достатній огляд робочої зони. Недоліком є можливість входу в кабіну тільки через отвір в лобовій панелі, оскільки з боків кабіна закрита бічними балками стріли, а ззаду – двигуном.

2. Більш зручним є варіант, за якого П-подібна стріла (рис. 8.11) – це ланка паралелограмного важільного механізму, що забезпечує їй паралельно-поступальний рух під час підіймання і опускання.

Рис. 8.11. Паралелограмний важільний механізм підіймання стріли міні-навантажувача:

1 – силова панель рами; *2* і *5* – важелі паралелограмного механізму підіймання стріли; *3* – П-подібна стріла; *4* – косинка; *6* – гідроциліндр підіймання/опускання стріли

Механізм кріплення стріли при цьому більш складний, що компенсується збереженням орієнтації ковша під час підіймання, опускання і збільшенням вильоту ковша під час вивантаження. Стріла кріпиться до силового каркаса навантажувача чотирма (по два з кожного боку) важелями. Під час підіймання стріли важелі повертаються відносно точок їх кріплення до рами і піднімають шарніри кріплення косинок стріли разом з прикріпленим до стріли робочим органом.

Однобалкова стріла – складна просторова конструкція, закріплена одним кінцем на осі в порталі рами навантажувача, шарнірно спирається на гідроциліндр підіймання / опускання (рис. 8.12). Основною перевагою такої стріли є можливість входити в кабіну навантажувача через бічні двері. У той же час несиметричне додаткове навантаження рами машини спричинює появу додаткових крутних і перекидальних моментів, що зумовлює підвищені вимоги до міцності металоконструкцій і стійкості навантажувача. Дизельний двигун з гідронасосом розміщено в задній частині навантажувача. Обмеження по висоті і прагнення забезпечити водієві огляд крізь заднє вікно змушують конструкторів розміщувати двигун якнайнижче, що потребує його захисту від пошкодження знизу під час роботи на нерівній поверхні. З боків і зверху силову установку закрито кожухом, що знижує рівень шуму.

Рис. 8.12. Міні-навантажувач з однобалковою асиметрично розташованою стрілою

Доступ до вузлів й агрегатів у процесі обслуговування та ремонту досягається оптимізацією компонування моторного відсіку і відкиданням кожуха і кабіни. Органи управління, контрольні прилади та індикатори розміщено по боках фронтального входу і на підлокітниках операторського крісла, оснащеного важелем безпеки. Виходячи з кабіни, оператор зрушує важіль убік або вгору, при цьому вмикають стоянкові гальма або блокуються всі органи керування і зупиняється двигун.

Автонавантажувачі

Автонавантажувачі (рис. 8.13) призначені для перевантаження штучних вантажів на відкритих і закритих складах, будівництвах, промислових і торговельних підприємствах, вантажних залізничних станціях і портах. Назва утвердилася за цим типом машин, відколи їх робоче обладнання монтували на скороченому і посиленому шасі вантажного автомобіля. Нині головною відмінною особливістю автонавантажувачів є вантажопідіймальна щогла (або рама), на якій монтують вантажоохоплювальні органи. Щогла шарнірно кріпиться до рами автонавантажувача (рис. 8.14) нижніми кінцями стійок й утримується у вертикальному або похилому положенні гідроциліндром або гвинтовим механізмом. Щогла складається з декількох телескопічно сполучених секцій, що розсовуються телескопічними гідроциліндрами або спільними поліспастами з плоских роликових ланцюгів і гідроциліндрів.

Рис. 8.13. Вилковий автонавантажувач з телескопічною щоглою, що нахиляється

По напрямних щогли піднімається й опускається каретка, до якої кріпиться вантажоохоплювальний орган: вила, вантажопідйомний гак або траверса. Автонавантажувачі комплектують дизельними двигунами і гідромеханічною трансмісією з гідротрансформатором й автоматичною коробкою передач.

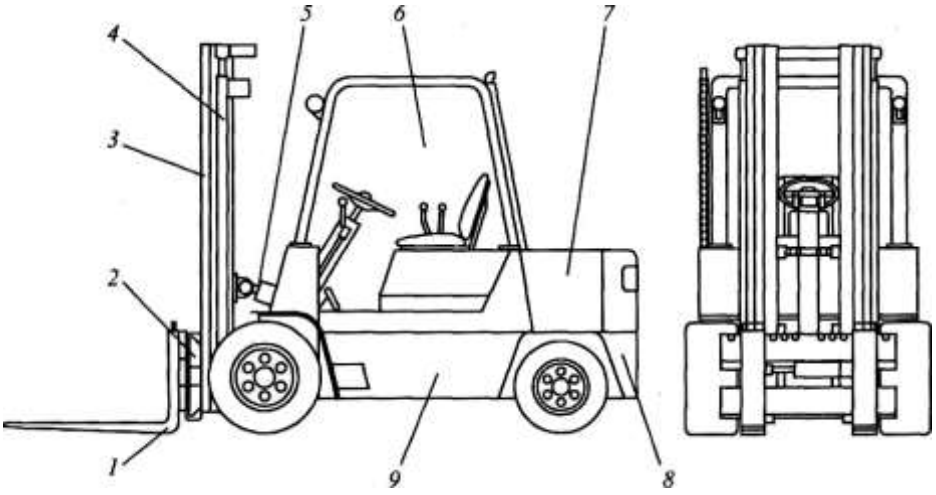


Рис. 8.14. Будова автонавантажувача:

1 – вилки; *2* – каретка для кріплення робочого органа; *3* – телескопічна щогла; *4* – гідроциліндри підіймання / опускання; *5* – механізм нахилу щогли; *6* – кабіна машиніста; *7* – моторний відсік; *8* – противага; *9* – рама базового шасі

Тяговим є тільки передній міст, оскільки сили тяги, яка забезпечується ним завдяки масі вантажу, що перевозиться, вистачає для переміщення по рівних поверхнях, на яких працюють автонавантажувачі. Маневрування здійснюється тільки задніми колесами, керованими гідроциліндрами (рис. 8.15).

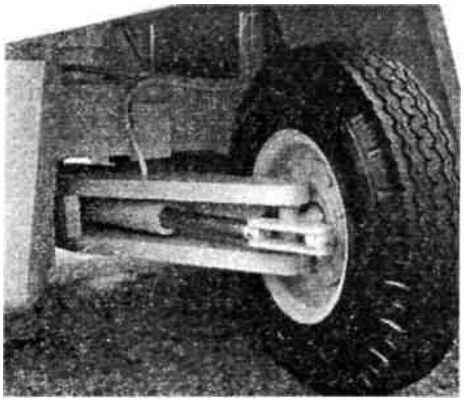


Рис. 8.15. Рульовий гідроциліндр керованих коліс для навантажувачів встановлено ряд вантажопідйомності 1; 2; 3,2; 5; 10; 16 та 20 т

Згідно з державним стандартом ГОСТ 16215-80 автонавантажувачі загального призначення мають умовні позначення – АПП-3,2; АПІ-5; АПП-5; АПІ-10; АПІ-16 та АПІ-20.

Букви «АП» означають автонавантажувач, римська цифра «І» – нормальний тип, цифра «ІІ» – машина покращеної маневреності, арабськими цифрами позначають вантажопідйомність, виражену в тоннах.

Ці навантажувачі відповідні моделям 4013; 4013І; 4014; 4014І; 4045Р; 4028 Львівського заводу автонавантажувачів.

Вилковий фронтальний навантажувач (рис. 8.16) являє собою самохідне колісне шасі з розміщеним спереду механізмом підіймання, який називається вантажопідіймачем.

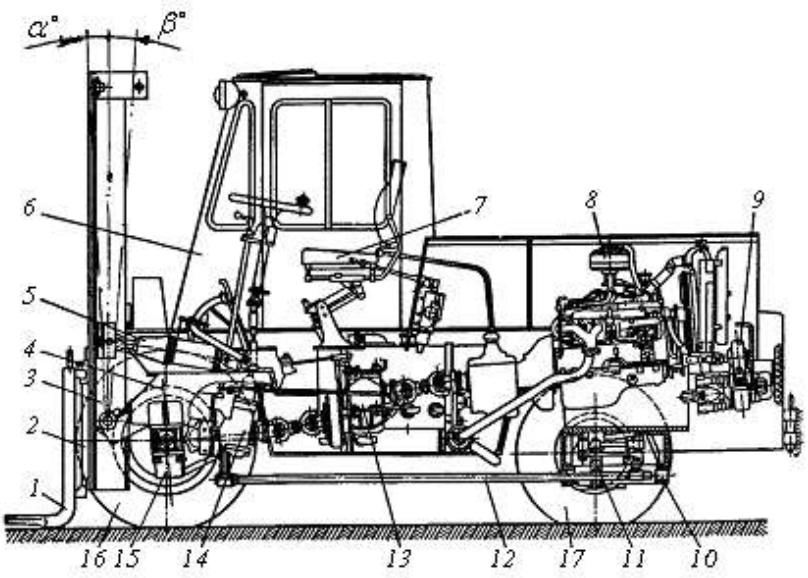


Рис. 8.16. Вилковий автонавантажувач

Вилкові підхвати *1* встановлено на каретці *2* вантажопідйомника *3*. Вантажопідіймач шарнірно кріпиться до рами *4* двома гідроциліндрами *5* і може нахилятись вперед на кут α (до $3...4^0$) та назад на кут β (до $10...12^0$). Перше положення потрібне для кращого захоплення вантажу та під час розвантаження, а друге – для зменшення консольного вильоту захоплювача під час перевезення вантажу.

За вантажопідіймачем на рамі *4* встановлено кабіну *6*, в якій розміщено органи керування та сідло *7* водія. Ззаду кабіни розміщено двигун *8* із зчепленням та коробкою передач. Він пускає в хід через карданні передачі редуктор нагнітачів *9*, механізм зворотного ходу *13* та міст *15*, жорстко прикріплений спереду до рами.

Задня вісь *11* виконана з двома керованими пневмоколесами *17* та кріпиться ззаду до рами на осі *10*. Керовані колеса з’єднані з рульовим

механізмом *14* поздовжньою тягою *12*. Привідні пневматичні колеса *16* ведучого мосту обладнані колодковими гальмами з гідравлічним керуванням від педалі в кабіні.

На вихідному валу механізму зворотного ходу встановлено стоянкове колодкове гальмо з ручним керуванням.

Ходова частина автонавантажувача немає ресор, тому він не здатен рухатися на високих швидкостях.

Чотири опори ходового пристрою забезпечують стійке положення навантажувача і його пересування по майданчику своїм ходом.

В автонавантажувачах усіх моделей встановлено телескопічні вантажопідіймачі (рис. 8.17). Виконані за однією конструктивною схемою, вони складаються із зовнішньої *1* та внутрішньої *6* рам, між якими встановлено плунжерний гідроциліндр однобічної дії *5*, двох пластинчастих вантажних ланцюгів *10* та каретки *21*, підвішеної до рами *6*. На каретці встановлено вили *20*.

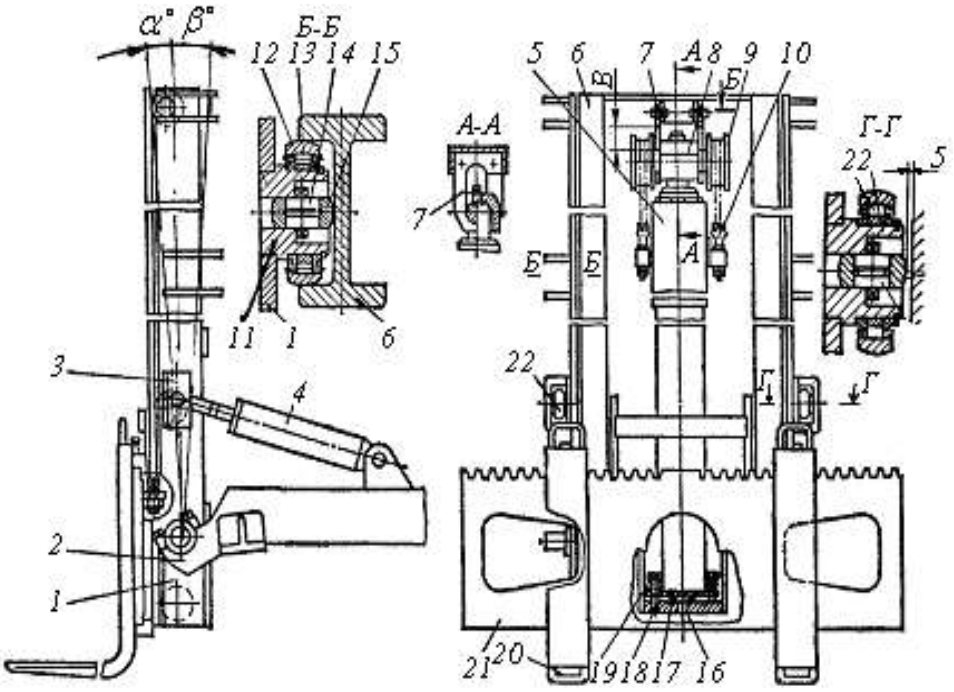


Рис. 8.17. Вантажопідіймач автонавантажувача

Зовнішню раму зварено з двох швелерних стояків та верхньої і нижньої поперечин. Закріплена шарнірно у двох кронштейнах *2* шасі, вона може нахилятись на кут α (до 3...4º) вперед та кут β (до 10...12º) назад за допомогою двох штоків гідроциліндрів *4*. Зовні до рами

приварено два кронштейни *3*, до яких приєднано штоки гідроциліндрів; корпуси гідроциліндрів приєднано шарнірно до шасі.

Внутрішня рама разом з кареткою може висуватись вверх із зовнішньої рами плунжером гідроциліндра підіймання *5*.

Пересування каретки відбувається завдяки тому, що вона підвішена на двох ланцюгах *10*, один кінець яких перекинуто через напрямні ролики *9*, закріплені на верхній траверсі *8* внутрішньої рами, а другий кінець закріплений на зовнішній рамі. Така схема підвіски каретки утворює швидкісний поліспаст, у якому висота підіймання каретки (вантажу) буде в два рази більшою за хід плунжера.

Електронавантажувачі вилкові

Навантажувачі з електродвигунами (електронавантажувачі) використовують для переміщення штучних вантажів в складах, цехах, а також для пересування вантажів з критих вагонів.

Залежно від кількості опор їх поділяють на чотириколісні та триколісні. Чотириколісна ходова частина надає навантажувачу більшої поперечної стійкості і більшої швидкості пересування та підіймання вантажу, більшу висоту штабелювання. Виконують її в малогабаритних навантажувачах моделей 4004, ЕП-103, ЕП-106, ЕВ 677-22-7 фірми «Балканкар», ЕП-201, ЕП-202.

У вибухонебезпечних приміщеннях та зовнішніх установках, де за умовами роботи можливим є утворення вибухонебезпечних сумішей, використовують електронавантажувачі ЕПВ-104, ЕПВ-105.

На триколісному шасі виготовляють малогабаритні електронавантажувачі підвищеної маневреності моделей ЕП-0601, ЕП-0801, ЕП-1003 та ЕП-1201.

В табл. 8.1 наведено технічні характеристики деяких електронавантажувачів.

Таблиця 8.1

Технічні характеристики електронавантажувачів

Параметри	Моделі електронавантажувачів			
	ЕПВ-105	ЕП-106	ЕП-202	ЕП-0801
Вантажопідйомність, кг	750	1000	2000	800
Висота підіймання, м	1,8; 2,8; 4,5	1,8; 2,8; 4,5	1,8; 2,8; 4,8	3000
Швидкість пересування, м/с	1,9	2,6	3,8	2,5
Швидкість підіймання, м/с	0,13	0,15	0,17	0,17
Потужність двигуна, кВт	2,5	4	5,5	2*7,3
Маса, кг	2310; 2330; 2440	2300	3640	1680

Чотириколісний електронавантажувач (рис. 8.18) встановлюють на масивних гумових шипах. До рами шасі 5 навантажувача жорстко прикріплений передній тяговий міст *11*, обидва ходових колеса якого отримують сбертання від електродвигуна *8* через диференціал. Задній міст *6* опирається через дві ресори на раму, його обладнано двома колесами, керованими водієм навантажувача за допомогою рульового механізму *3*.

Над тяговим мостом шарнірно закріплено раму вантажопідіймача, на якій встановлено плунжерний однобічної дії гідроциліндр підіймання і каретка *10* з вилковими захоплювачами *9*. Раму обладнано двома гідроциліндрами *2* нахилу її вперед для захоплення вантажу і назад під час його транспортування.

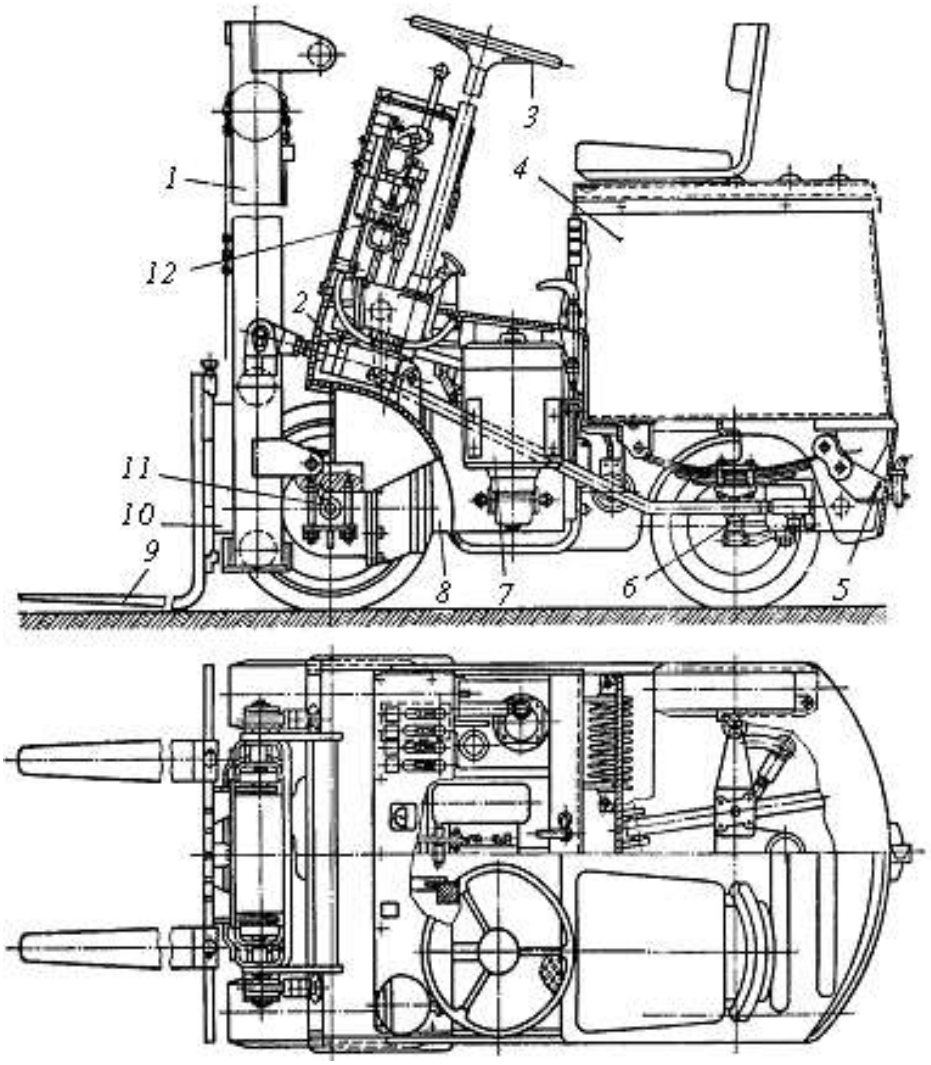


Рис. 8.18. Вилковий електронавантажувач ЕП-103

Привід вантажопідіймача гідравлічний, встановлюють його на рамі шасі. Він складається з електродвигуна *7*, гідронагнітача, гідравлічного розподільника *12*, бака та трубопроводів. На рамі шасі навантажувача над заднім мостом в ящику змонтовано акумуляторну батарею *4*, яка також виконує роль противаги.

Над тяговим мостом шарнірно закріплено раму вантажопідіймача, на якій встановлено плунжерний однобічної дії гідроциліндр підіймання і каретку *10* з вилковими захоплювачами *9*. Рама обладнана двома гідроциліндрами *2* нахилу її вперед під час захоплювання вантажу, і назад для його транспортування.

Навантажувач моделі ЕП-106 повторює конструкцію моделі ЕП-103, відрізняється від неї обладнанням ходових коліс пневматичними шинами.

Розрахунок механізму підіймання навантажувачів

Оскільки механізми підіймання вантажу фронтальних вилкових автонавантажувачів, дизельних навантажувачів та електрона-вантажувачів подібні і складаються з телескопічної висувної рами, вантажної каретки з робочим органом та підіймального плунжерного гідроциліндра, то розрахунок виконуємо на прикладі електронавантажувача (рис. 8.19).

Сила натягу вітки двох ланцюгів, до яких підвішено каретку, становить:

$$F_1 = Q_0 g + F_{\text{оп}_\text{к}}, \tag{8.1}$$

де $Q_0 = Q + m_k + m_{\text{ро}}$ – рівнодійна маси вантажу, каретки та робочого органа; $F_{\text{оп}_\text{к}}$ – сила опору пересування каретки від тертя в катках.

Скориставшись рівнянням моментів сил, що діють на каретку, відносно точки, яка лежить на осі рами, визначають реакції котків каретки:

$$F_k = \frac{Q_0 g(a + l_1) - F_1 l_1}{в_k} \tag{8.2}$$

та реакції котків рами:

$$F_p = \frac{Q_0 g(a + l_1) - F_1 l_1}{в_{\text{pmin}}}, \tag{8.3}$$

де a – відстань між лінією дії сили $Q_0 g$ та ланцюгами, на яких підвішено каретку; l_1 – відстань між ланцюгами та віссю рами; $в_k$ та $в_{pmin}$ – бази опорних котків відповідно каретки та рами.

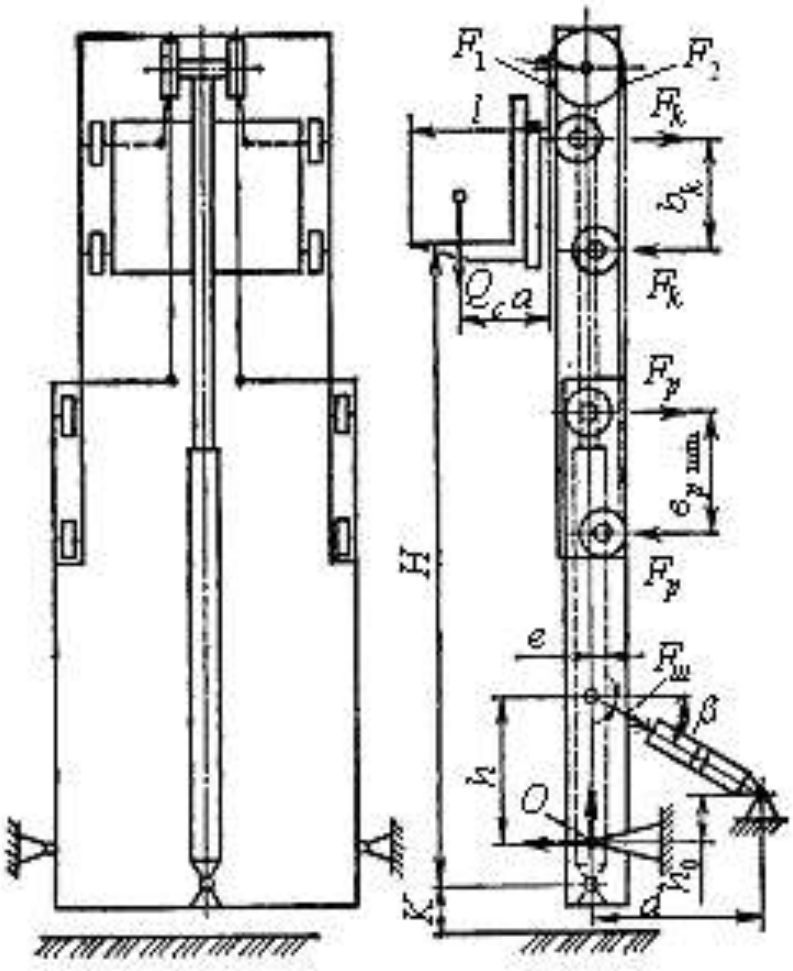


Рис. 8.19. Схема для розрахунку підіймача електронавантажувача

Мінімальне значення бази опорних котків рами буде за верхнього положення каретки з вантажем на відстані H від точки O.

Сила опору під час пересування каретки:

$$F_{\text{оп}_\text{к}} = 2F_k \cdot \omega_\text{к} = 2\omega_\text{к}(Q_0 g(a + l_1) - F_1 l_1) / в_k, \qquad (8.4)$$

де $\omega_\text{к}$ – коефіцієнт опору пересування котків каретки:

$$\omega_к = (fd_{\text{ц}k} + 2\mu) / d_k, \qquad (8.5)$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках котків; $d_{цk}$ – діаметр осі котків; d_k – діаметр котків; μ – коефіцієнт тертя кочення.

Розв'язавши рівняння (1) та (2), знайдемо:

$$F_1 = Q_0 g \frac{2\omega_k (a + l_1) + в_k}{в_k + 2\omega_k l_1};\ F_{оп_к} = 2Q_0 g \omega_k \frac{a}{в_k + 2\omega_k l_1}. \qquad (8.6)$$

Натяг у вітці ланцюгів, закріплених на поперечині нерухомої рами становить:

$$F_2 = F_1 / \eta_р, \qquad (8.7)$$

де $\eta_р$ = 0,96 – коефіцієнт корисної дії відхильних роликів (зірочок) вантажних ланцюгів.

За цією силою можемо розрахувати ланцюги.

Сила опору від маси внутрішньої підіймальної рами та тертя в котках рами:

$$F_{оп_р} = (m_р + \frac{2Q_0 (a + l_1)\omega_р}{в_{р\min}}) g, \qquad (8.8)$$

де $m_р$ – маса рами; $\omega_р$ – коефіцієнт опору в котках рами:

$$\omega_р = (fd_{цр} + 2\mu) / d_р, \qquad (8.9)$$

де $d_{цр}$ – діаметр осі котків; $d_р$ – діаметр котків рами.

Оскільки каретка рухається швидше від рами, то під час підіймання рами вгору діє зведена сила опору в котках, протилежна силі $F_{оп_к}$. Ця сила сприяє підійманню рами.

Загальна сила на плунжер гідроциліндра вантажопідіймача:

$$F_{пл} = F_1 + F_2 + F_{оп_р} / \eta_ц - F_{оп_к}, \qquad (8.10)$$

де $\eta_ц$ =0,96 – коефіцієнт корисної дії гідроциліндра.

Підставивши в останнє рівняння значення складових сил, отримаємо:

$$F_{\text{пл}} = \{Q_0[\frac{\eta_{\text{р}} + 1}{\eta_{\text{р}}} + \frac{2a\omega_k}{в_k + 2l_1\omega_k} + \frac{2(a + l_1)\omega_{\text{р}}}{в_{\text{р}\min}\eta_{\text{ц}}}] + m_{\text{р}} / \eta_{\text{ц}}\}g\,. \quad (8.11)$$

З другого боку, сила на плунжері може бути визначена так:

$$F_{\text{пл}} = \frac{\pi D_{ц}^2}{4}[q]\eta_{\text{м}}, \quad (8.12)$$

де $D_{\text{ц}}$ – діаметр циліндра, мм; *[q]* – допустимий тиск в циліндрі, МПа; $\eta_{\text{м}}$ – механічний к.к.д. циліндра.

Тоді діаметр циліндра, мм:

$$D_{\text{ц}} \geq \sqrt{\frac{4F_{\text{пх}}}{\pi[q]\eta_{\text{м}}}}. \quad (8.13)$$

Потужність приводу гідронагнітача, кВт:

$$P_{\text{дв}} = \frac{F_{\text{пл}} \cdot V_{\text{пл}}}{10^3\eta_{\text{п}}\eta_{\text{ц}}}, \quad (8.14)$$

де $F_{\text{пл}}$ – сила плунжера, Н; $V_{\text{пл}}$ – швидкість плунжера, м/с; $\eta_{\text{п}}$ – к.к.д. нагнітача; $\eta_{\text{ц}}$ – к.к.д. гідроциліндра.

Якщо вважати, що $F_{\text{пл}} = pA_{\text{ц}}$, тоді потужність приводу гідронагнітача, кВт, буде:

$$P_{\text{дв}} = \frac{p \cdot A_{\text{ц}} \cdot V_{\text{пл}}}{10^6\eta_{\text{п}}\eta_{\text{ц}}}, \quad (8.15)$$

де p – тиск в гідроциліндрі, МПа; $A_{\text{ц}}$ – площа гідроциліндра, мм^2; $V_{\text{пл}}$ – швидкість плунжера, м/с.

Швидкість плунжера $V_{пл}$ визначають за заданою швидкістю підіймання вантажу V з врахуванням кратності швидкісного поліспаста ($i_п$=1/2), тобто $V_{пл}=i_п V$=0,5V.

Розрахунок механізму нахилу рами вантажопідйомника

Для нахилу рами вантажопідйомників використовують два поршневі гідроциліндри.

Силу $F_ш$ на штокові гідроциліндра визначають з рівності моментів сил відносно точки O (рис. 8.19, *б*) за нахилу рами вперед на кут $\alpha°$, номінальної маси вантажу, каретки з вилами, піднятими на найбільшу висоту H від точки O кріплення (повороту) зовнішньої рами:

$$Q_0 Htg\alpha + 0,75q_{вр} Htg\alpha + 0,25q_{зр} Htg\alpha = 2F_ш h\cos\beta, \qquad (8.16)$$

звідки

$$F_ш = \frac{(Q_0 + 0,75q_{вр} + 0,25q_{зр})gHtg\alpha}{2h\cos\beta}, \qquad (8.17)$$

де $q_{вр}$ – маса внутрішньої рами; $q_{зр}$ – маса зовнішньої рами; β – поточний кут нахилу гідроциліндра рами:

$$tg\beta = (h\cos\alpha - h_0)/(h\sin\alpha + d). \qquad (8.18)$$

З іншого бокуи сила на штокові, Н:

$$F_ш = \pi(D_ц^2 - d_ш^2)p\eta_ц / 4, \qquad (8.19)$$

де $D_ц$ – внутрішній діаметр гідроциліндра, мм; $d_ш$ – діаметр штока, мм; p – тиск рідини в циліндрі, МПа; $\eta_ц$ – к.к.д. гідроциліндра, $\eta_ц$=0,75.

Необхідний тиск рідини, МПа:

$$p = \frac{4F_ш}{\pi(D_ц^2 - d_ш^2)\eta_ц}. \qquad (8.20)$$

За його значенням добирають гідроциліндр та нагнітач.

Потужність привіда гідронагнітача для двох штоків, кВт:

$$P_{\text{дв}} = \frac{2\pi p(D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2)V_{\text{ш}}}{4 \cdot 10^3 \eta_{\text{н}} \eta_{\text{ц}}} = \frac{p(D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2)V_{\text{ш}}}{636,9\eta_{\text{н}} \eta_{\text{ц}}}, \qquad (8.21)$$

де $\eta_{\text{н}}$ – к.к.д. нагнітача; $V_{\text{ш}}$ – швидкість руху штока, м/с.

8.2. Навантажувальні машини безперервної дії та спеціальні машини

Вантажні машини безперервної дії застосовують для навантаження нерудних будівельних матеріалів зі складів, кар'єрів, перевалочних баз у транспортні засоби.

Вантажні машини безперервної дії (рис. 8.20) мають у складі: черпальні (живильник) і транспортувальні пристрої, пневмоколісний або гусеничний рушій. Як черпальний пристрій використовують гвинтовий живильник *1* (рис. 8.20, *б*) з симетричним гвинтом правого і лівого навивання, рідше – черпакове колесо (у ряді випадків переважно для навантаження снігу) та загрібні лапи. Транспортувальним пристроєм зазвичай слугує ківшовий (рис. 8.20, *б*), стрічковий (рис. 8.20, *в*) або скребковий конвеєри. Пересувні стрічкові конвеєри (рис. 8.20, *а*) не мають черпального органа. Їх навантажують матеріалом вручну або бульдозером після занурення завантажувального кінця в приямок. Переміщують конвеєр також вручну. Несучим органом є плоска або жолобчаста конвеєрна стрічка завширшки від 0,4 до 0,65 м.

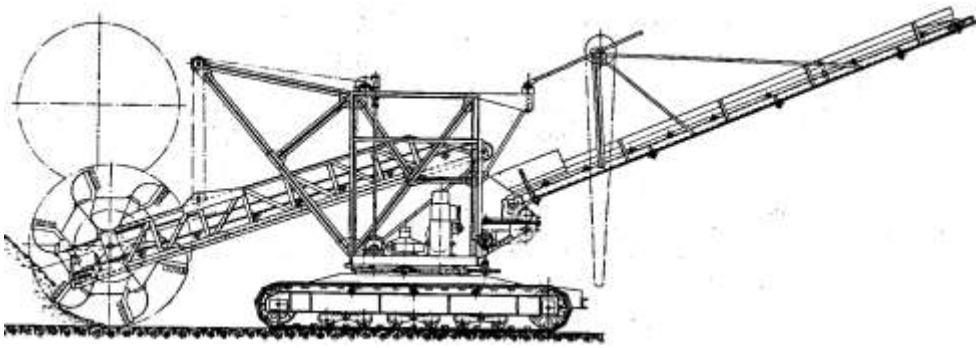
Швидкість руху стрічки становить від 0,5 до 3,2 м/с. Вітчизняна промисловість випускає пересувні конвеєри завдовжки 5, 10 і 15 м.

Вантажні машини з гвинтовим живильником (рис. 8.20, *б*) зі стрічковим або лопатевим (для великошматкових матеріалів) гвинтом застосовують для перевантаження піску, гравію, щебню, глини. Під час обертання гвинта *1* з одночасним переміщенням машини (насування на штабель) його витки підгортають матеріал з обох боків до похилого ківшового конвеєра *3*, за наявністю якого машини називають багатоківшевими навантажувачами. Матеріал вивантажується у транспортний засіб за допомогою стрічкового конвеєра *2*, зазвичай поворотного у горизонтальній площині.

а

б

в



г

Рис. 8.20. Вантажні машини безперервної дії: *а* – пересувний стрічковий конвеєр; *б* – з гвинтовим живильником; *в* – з загрібними лапами; *г* – з черпаковим завантажувальним пристроєм

Машини з черпаковим навантажувальним пристроєм (рис. 8.20, *г*) у вигляді ротора з розміщеними по його периферії черпаками, які називають також роторними навантажувальними машинами, застосовують для навантаження сипких матеріалів (піску, пухкого ґрунту, вугілля тощо). Обертаючись, ротор захоплює матеріал і перевантажує його на приймальний стрічковий конвеєр, розміщений вздовж поворотної у вертикальній площині стріли з ротором на її кінці. З приймального конвеєра матеріал надходить на відвальний конвеєр, поворотний у горизонтальній площині, а звідти – в транспортний засіб. На відміну від багатоківшевого навантажувача з гвинтовим живильником, який може забирати матеріал тільки з підошви штабеля, роторний навантажувач здатен забирати матеріал на будь-якій його висоті. Роторні навантажувачі можуть працювати за безперервного подавання машини на штабель, забираючи матеріал з певного його рівня, і позиційно, розробляючи штабель зверху донизу шляхом опускання стріли з ротором без переміщення машини. Після досягнення ротором підошви вибою машину перемішують вперед на нову позицію.

Машини з загрібними лапами (див. рис. 8.20, *в*), звичайно використовувані як снігоприбиральні, застосовують також для навантаження дрібно- і середньокускових, переважно малоабразивних, матеріалів, наприклад, вугілля.

Загрібна лапа є складовою частиною шарнірного чотириланковика, що має також кривошип і тягу, змонтовані на лотку. Під час обертання кривошипів, що приводяться в рух через розміщений під лотком карданний вал, і безперервного подавання машини на штабель лапи по черзі загрібають матеріал і подають його на скребковий конвеєр. Для роботи з абразивними будівельними матеріалами ці машини не придатні через швидке зношування шарнірних вузлів чотириланковика.

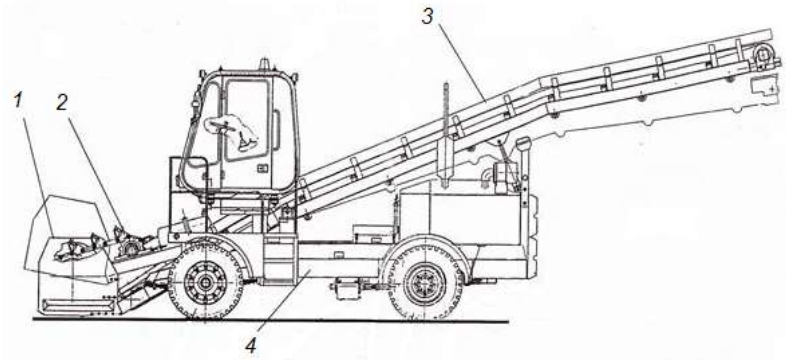
Продуктивність вантажних машин безперервної дії становить 50...300 $м^2$ /год і залежить насамперед від роботи живильника та розміру штабеля. Під час розроблення штабелів великих обсягів з швидким просуванням навантажувача вперед завдяки напірному зусиллю ходової частини продуктивність підвищується.

Спеціальні навантажувачі призначені для навантаження різноманітних штучних і кускових матеріалів у транспортні засоби.

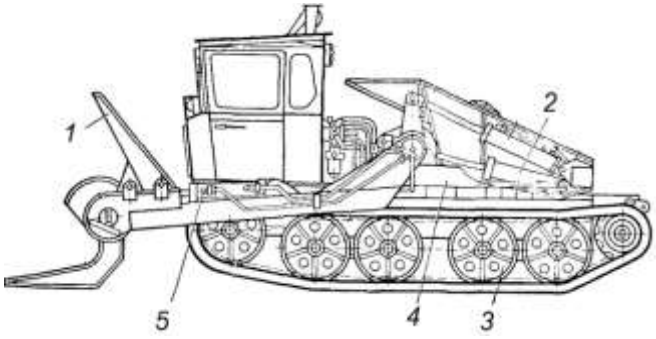
Щелепні навантажувачі (рис. 8.21, *б*), призначені для навантаження дерев та колод у транспорт, працюють за принципом перенесення вантажу «через себе». Навісне навантажувальне обладнання, змонтоване на основі гусеничних тракторів, складається з рами, механізмів підіймання та захоплення, гідросистеми й захисту кабіни.

До спеціальних навантажувачів належать снігонавантажувачі (рис. 8.21, *а*).

Сніговий навантажувач складається з пневмоколісного шасі, на якому змонтовано робочий орган із загрібними лопатами та скребковий конвеєр.



а



б

Рис. 8.21. Спеціальні навантажувачі:

а – снігонавантажувач: *1* – загрібний пристрій; *2* – привідний редуктор; *3* – скребковий конвеєр; *4* – шасі; *б* – щелепний: *1* – робочий орган; *2* – гідроциліндр підіймання; *3* – трактор; *4* – рама; *5* – гідроциліндр щелеп

До спецнавантажувачів належать також торф'яні навантажувачі.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Охарактеризуйте призначення та види навантажувальних машин.
2. Які види навантажувачів застосовують у будівництві?
3. Наведіть призначення та поділ одноківшевих фронтальних навантажувачів.
4. Охарактеризуйте призначення й особливості будови телескопічних маніпуляторів-навантажувачів.
5. У чому полягає призначення й особливості будови міні-навантажувачів з бортовим поворотом?
6. У чому полягає призначення й особливості будови автонавантажувачів?
7. Які машини застосовують для перевантаження штучних матеріалів?
8. Які машини застосовують для навантаження сипких матеріалів?

Лекція 9. ***Конструктивні особливості та основи розрахунку транспортувальних машин з гнучкими тяговими органами***

9.1. Призначення і класифікація транспортувальних машин

Транспортувальні машини безперервної дії здійснюють переміщення насипних вантажів безперервним потоком, а штучних і тарних – з відповідними інтервалами на трасі.

За енергетичною основою транспортувальні машини (установки) можуть бути механічними, пневматичними і гідравлічними.

Механічні транспортувальні машини безперервної дії класифікують так: 1) машини з гнучким тяговим елементом; 2) машини з жорстким тяговим елементом. Окрему групу становлять гравітаційні пристрої.

У першій групі машин тяговими органами слугують стрічки, канати і ланцюги. Конструктивною основою є замкнутий контур, створений гнучким елементом, до якого прикладено тягову силу через передатні ланки від приводу машини. Контур повторно здійснює по постійній траєкторії рух всіма своїми точками; в більшості випадків тяговий елемент є також вантажонесним. На таких гнучких тягових елементах функціонують конвеєри – стрічкові і ланцюгові (пластинчасті, скребкові, ковшові та ін.).

У машинах другої групи безперервність руху вантажу здійснюється за допомогою гвинтів, рольгангів чи вібраційних елементів. На цій основі створено конвеєри гвинтові, роликові, коливні (інерційні і вібраційні).

У гравітаційних пристроях рух вантажу відбувається завдяки складовій сили тяжіння його маси. За цим принципом функціонують різні види гравітаційних пристроїв – прості і роликові спуски, лотки, живильники та ін.

За характером приводу механічні транспортувальні машини можуть бути з фрикційним чи з жорстким кінематичним зв’язком гнучкого тягового елемента з привідною ланкою. До перших належать стрічкові і канатні конвеєри, до других – практично всі ланцюгові конвеєри.

У машинах з фрикційним зв’язком гнучкий тяговий елемент рухається завдяки силам зчеплення, що утворюються між ним і

привідним барабаном (шківом), в машинах з жорстким зв'язком – завдяки зачепленню тягової зірочки привода з тяговим ланцюгом.

За конструктивним виконанням конвеєри можуть бути стаціонарними, рухомими і переносними; *за розміщенням тягового елемента* – площинні і просторові, які мають горизонтальні, похилі чи вертикальні ділянки. Машину, що має тільки вертикальну ділянку, називають елеватором.

Пневматичні і гідравлічні установки призначені для безперервного переміщення, переважно по трубопроводах, вантажів завдяки енергії стисненого (розрідженого) повітря чи енергії струменя рідини.

Режими роботи механічних транспортувальних машин

За режимом роботи конвеєри розрізняють залежно від того, на скільки годин роботи протягом року вони розраховані відповідно до навантаження й умов їх експлуатації. Беруть до уваги використання машини за продуктивністю, вантажопідйомністю, навантаження тягового елемента, температуру навколишнього середовища, вологість повітря та ін. Загалом вирізняють п'ять режимів роботи: вельми легкий – ВЛ, легкий Л, середній С, важкий В, дуже важкий ДВ.

Залежно від того, в якому режимі повинна працювати транспортувальна машина, потрібно брати нормативні дані: у виборі допустимих напружень в розрахунках деталей і вузлів, виборі коефіцієнта $K_р$ у розрахунку тягових елементів ($K_р$ – коефіцієнт нерівномірності сприйняття навантажень тяговим елементом), у виборі двигунів, розрахунку металоконструкцій тощо.

Визначення належності проектованої машини до того чи іншого режиму роботи можна виконувати за даними табл. 9.1. Клас використання конвеєра відображає час фактичної роботи в годинах протягом року, на який він розрахований. Використання за продуктивністю характеризується коефіцієнтом $П_0 = П_с / П_{max}$, де $П_с$ і $П_{max}$ – середня і максимальна продуктивність (в м^3/с). Використання за вантажопідйомністю визначається відношенням максимального фактичного навантаження на вантажонесний елемент Q_{max} до його номінальної вантажопідйомності $Q_н$, тобто $H = Q_{max} / Q_н$.

Використання за натягом тягового елемента характеризується відношенням $C = S_{\max} / S_{\text{доп}}$, де $S_{\max}$ – максимальний фактичний натяг; $S_{\text{доп}}$ – допустимий натяг.

Таблиця 9.1

Режими роботи конвеєрів

Режим роботи	Клас використання конвеєрів			
	за часом, год/рік	за продуктивністю $П_0 = П_с/П_{max}$	за вантажопід-йомністю $H = Q_{max}/Q_н$	за натягом тягового елемента $C = S_{max}/S_{доп}$
Вельми легкий	До 1600	До 0,63	До 0,63	До 0,63
Легкий	До 1600	До 1,00	До 1,00	До 0,80
	До 2500	До 0,63	До 0,63	До 0,80
Середній	До 4000	До 0,63	До 0,63	До 0,80
Важкий	До 6000	До 0,63	До 0,63	До 0,80
	До 8000	До 0,25	До 0,50	До 0,63
Дуже важкий	До 8000	До 1,00	До 0,63	До 1,00

До додаткових даних для оцінювання режиму роботи належать температурне обмеження і вологість повітря: за температури навколишнього середовища від 5 до 20 °С, вологості повітря w = 10...50% – легкий режим роботи; від 0 до 30 °С і вологості повітря w = 50...65% – середній; від -20 до + 30 °С і w = 65...90% – важкий; від - 40 до +40 °С і w понад 90% – дуже важкий режим.

Характеристика вантажів

У виборі типу, конструкції і виконання транспортувальних машин, а також в їх розрахунках треба брати до уваги фізико-механічні властивості вантажів і їх розмірно-якісні характеристики.

Вантажі можуть бути насипні і штучні (безтарні, тарні та пакетувальні).

Насипні вантажі мають такі властивості: кусковатість (гранулометричний склад), кут природного укосу, коефіцієнт тертя для різних поверхонь та щільність.

Кусковатість (грудкуватість) вантажу визначається за допомогою сит. За розмірами кусків (частинок) в міліметрах сипкі вантажі поділяють на категорії: пилоподібні – 0,05; порошкоподібні – 0,05…0,5; дрібнозернисті – 0,5…2,0; крупнозернисті (грубозернисті) – 2…10; дрібнокускові – 11…60; середньокускові – 60…160; крупнокускові – 160…320; особливо крупні – > 320.

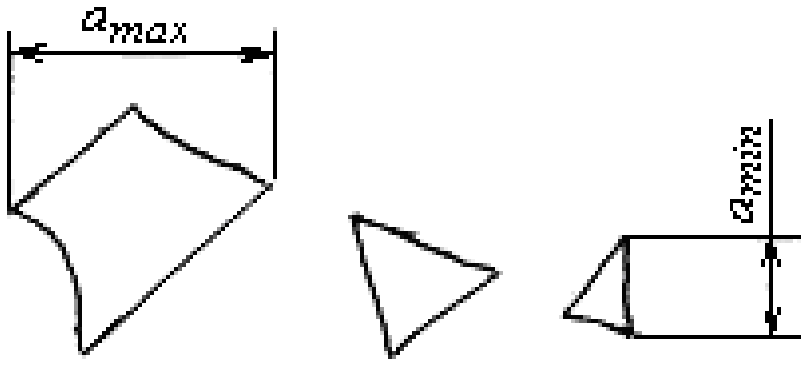
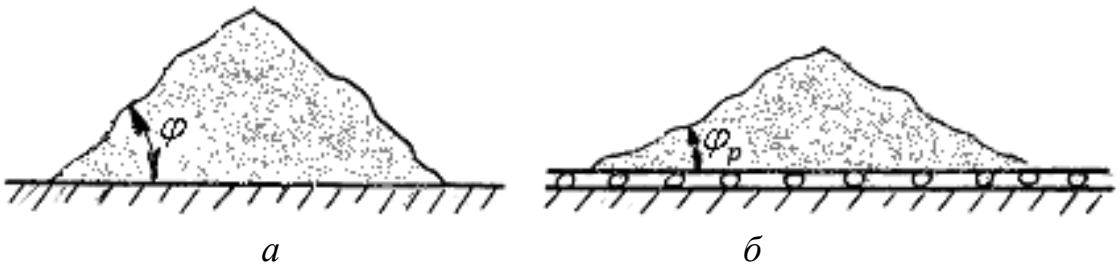


Рис. 9.1. Схема розмірів кусків

Сипкі вантажі за кускоподібністю, тобто за відносним вмістом кусків різної крупності, поділяють на рядові та сортовані. Якщо a_{max} і a_{min} – відповідно розміри найбільшого та найменшого кусків, то для рядових матеріалів a_{max} / a_{min}>2,5; для сортованих a_{max} / a_{min} ≤2,5 (рис. 9.1).

Рухомість сипких матеріалів визначається кутом φ природного укосу. Вільно насипаний на горизонтальну площину сипкий вантаж утворює конус, у якого кут нахилу твірної до горизонтальної площини є кутом природного укосу матеріалу в стані спокою φ (рис. 9.2, *а*). Під час руху матеріалу на стрічці або полотні транспортера внаслідок поштовхів та коливань кут природного укосу значно зменшується. Такий кут називається кутом природного укосу матеріалу в русі φ_p (рис. 9.2, *б*).



а *б*

Рис. 9.2. Розміщення сипкого вантажу на площині:
а – в спокої; *б* – в русі

Він дорівнює:

$$\varphi_p \approx (0,35...0,7)\varphi \qquad (9.1)$$

Коефіцієнти тертя f вантажів на прогумованій стрічці, зумовлюють кут нахилу транспортера.

Щільність вантажу, що характеризується масою одиниці об'єму сипкого або кускового вантажу без ущільнення, вимірюється в кг/м^3 або т/ м^3.

Залежно від щільності вантажі умовно поділяють на легкі (γ < 0,6 т/м^3); середні (γ = 0,6…1,6 т/м^3); важкі (γ >1,6 т/ м^3); особливо важкі (γ >2,0 т/ м^3).

Продуктивність транспортувальних машин

Продуктивність машини – це її здатність виконати відповідний обсяг робіт (продукції) в певних природно-кліматичних і організаційно-технологічних умовах за одиницю часу.

Продуктивність конвеєрів визначає кількість переміщуваного вантажу за одиницю часу. Залежно від виду вантажу, форми обчислення продуктивність визначають за масою (кг/с), об'ємом (м^3/с) чи в штуках (шт/с).

Розрізняють теоретичну, технічну й експлуатаційну продуктивність машини.

Теоретична продуктивність – це така максимальна продуктивність, яка визначається конструктором за швидкостей, геометричних параметрів і місткостей вантажонесного органа, вказаними у паспорті машини. Продуктивність використовують для наближеного порівняння конструктивних особливостей машин однієї групи або типорозмірів.

Насипні вантажі надходять на конвеєр безперервно чи порційно, а штучні і тарні – через проміжки часу й укладаються на вантажонесний елемент на відстані один від одного залежно від ритму подачі.

Вантажі можуть бути зосереджені, рівномірно розподілені та розподільно-зосереджені. До перших належать вантажі в тарі, пакетах, кожен з яких спирається на обмежену кількість опор вантажонесного елемента. До других належать насипні вантажі, що розміщуються на вантажоненому елементі у вигляді безперервного чи перервного суцільного потоку матеріалу. До третіх належать вантажі, які спираються на значну кількість опор. Для кожного з вантажів потрібно знати погонну масу q(кг/м). Для зосереджених та розподільно-зосереджених вантажів середня погонна маса дорівнює

$$q = \frac{m_0 n}{L},$$

де m_0 – маса одиничного вантажу, кг; n – кількість вантажів на робочій гілці конвеєра, шт.; L – робоча довжина конвеєра, м.

Продуктивність машини за масою вантажу:

$$П = q\upsilon \text{ (кг/с)},$$

звідки

$$q = \frac{П}{\upsilon} \text{ (кг/м)},$$

де q – середня погонна маса вантажу, кг/м; υ – швидкість вантажонесного елемента, м/с; $q\upsilon$ – щосекундна продуктивність, кг/с.

Об'ємна продуктивність машини $П_{об}$, м^3/с:

$$П_{об} = S\upsilon,$$

де S – площа перерізу суцільного шару насипного матеріалу, розміщеного на вантажонесному органі, м^2.

Продуктивність за масою (кг/с):

$$П_м = S\upsilon\rho_м,$$

де $\rho_м$ – щільність матеріалу, кг/м^3.

За відстані між штучними чи тарними вантажами, що дорівнює $a_м$, штучна продуктивність конвеєрів (шт./с) становить

$$П_{шт} = \frac{\upsilon}{a_м};$$

а за масою (кг/с)

$$П_м = \frac{\upsilon}{a_м} m_0,$$

де $m_0 / a_м = q$ – погонна маса вантажу, кг/м.

Показник технічної продуктивності визначає обсяг роботи (продукції), виконуваної за одиницю «чистого» часу в конкретних умовах за найбільш досконалих способів керування, організації праці і обслуговування машин.

Тоді технічну продуктивність для конвеєрів визначають так:

$$П_{об}^{тех} = П_{об} k_к; \qquad П_м^{тех} = П_м k_к; \qquad П_{шт}^{тех} = П_{шт} k_к,$$

де $k_к$ – коефіцієнт, який характеризує умови роботи конвеєра, обчислюють, за формулою

$$k_к = k_\alpha k_п k_ш,$$

де k_α – коефіцієнт, який відображає втрати матеріалу під час транспортування, і залежить від кута нахилу конвеєра; $k_п$ – коефіцієнт зниження потужності двигуна за безперервної роботи; $k_ш$ – коефіцієнт зниження швидкості порівняно з паспортною.

Технічна продуктивність для елеваторів становить:

$$П_{об}^{тех} = П_{об} k_е; \qquad П_м^{тех} = П_м k_е; \qquad П_{шт}^{тех} = П_{шт} k_е,$$

де $k_е$ – коефіцієнт, який характеризує умови роботи елеватора і обчислюється як

$$k_е = k_з k_п k_ш,$$

де $k_з$ – коефіцієнт заповнення вантажонесних місткостей.

Технічна продуктивність визначає потенційні можливості машини без урахування виробничих необхідних перерв і внутрішньозмінних простоїв машини, які трапляються в експлуатаційних умовах.

До виробничих необхідних перерв належать такі: щозмінне технічне обслуговування машини, технологічні перерви під час виконання робіт, нормований відпочинок обслуговуючого персоналу та інше.

Внутрішньозмінні простої машин найчастіше зумовлені головним чином організацією виконання робіт: непідготовленістю фронту робіт, несвоєчасним і некомплектним постачанням матеріалів для транспортування, тимчасовими перебоями в подачі електроенергії, відсутністю вказівок обслуговчому персоналу на виконання тих або інших робіт, недисциплінованістю робітників тощо.

Наявність вказаних перерв і простоїв суттєво знижує обсяг робіт, виконуваних із використанням машини впродовж зміни. Показник, який відображає фактичну продуктивність у конкретних умовах із врахуванням усіх видів перерв, має назву експлуатаційної продуктивності. За цією продуктивністю нормують і планують роботи, визначають типи машин, оцінюють варіанти організації робіт, ефективність використання машин.

Експлуатаційну продуктивність визначають для конвеєрів і елеваторів:

$$П_{об}^{експ} = П_{об}^{тех} k;\ \ П_{м}^{експ} = П_{м}^{тех} k;\quad П_{шт}^{експ} = П_{шт}^{тех} k,$$

де k – коефіцієнт використання транспортувальної машини у часі.

Для порівняння конструктивної досконалості машин різної продуктивності й одного призначення можна використовувати показник питомої продуктивності, м^3/(кВт·год):

$$П^{пит} = \frac{П^{тех}}{N},$$

де $П^{тех}$ – технічна продуктивність залежно від виду вантажу за годину (за масою, об'ємом чи в штуках); N – потужність встановлених двигунів, кВт.

Оскільки одну й ту саму задачу з переміщення вантажів для нової проектованої системи можна розв'язати, використовуючи різні за енергетичною основою і конструктивним видом транспортувальні машини, важливим є техніко-економічний аналіз декількох варіантів і на цій основі вибір оптимального. Аналіз виконують, порівнюючи зведені витрати для кожного варіанта, при цьому беруть до уваги собівартість виконаних робіт (операцій), зведені капітальні вкладення, а також

коефіцієнти ефективності вкладень в галузі. Порівняння здійснюють з базовим варіантом, за який беруть найкращий зразок машини, що виконує ту саму задачу.

9.2. Конструктивні особливості та основи розрахунку механічних транспортувальних машин з гнучкими тяговими органами

До механічних транспортувальних машин з гнучкими тяговими органами належать стрічкові, пластинчасті, скребкові, ковшові та підвісні конвеєри.

Стрічкові конвеєри

Стрічкові конвеєри широко застосовують на заводах будівельних матеріалів для переміщення насипних і штучних вантажів в горизонтальній і похилій площинах.

Стрічкові транспортери поділяють на пересувні і переносні, які застосовують для переміщення матеріалів на невелику відстань (від 5 до 20 м), напівстаціонарні і стаціонарні для переміщення вантажів від 30 до 250 м.

Стрічковий транспортер являє собою нескінченну гнучку стрічку, що огинає два кінцевих барабани, – привідний і натяжний, – з яких привідний надає стрічці руху. У прольоті між барабанами стрічка спирається на низку роликів, встановлених з певним інтервалом на рамі.

Гілка стрічки, що несе вантаж, називається робочою на відміну від нижньої – холостої.

З метою збільшення продуктивності транспортера робочої гілки стрічки дуже часто надають жолобоподібної форми. Це досягається спеціальною конструкцією підтримувальних роликів. На відміну від них для запобігання під час руху зсуву стрічки в бік іноді встановлюють особливі запобіжні напрямні ролики.

Під час роботи на похилому напрямку кут підіймання транспортера не повинен перевищувати 2/3 кута природного укосу матеріалу в русі (зазвичай в середньому не вище від 22°).

Конфігурація стрічкових транспортерів у плані може бути тільки прямолінійною. У вертикальній площині вона може бути як прямолінійною, так і ламаною.

Продуктивність стрічкових транспортерів залежно від ширини стрічки, її швидкості та виду транспортованого матеріалу коливається в досить широких межах і сягає 2000 т/год.

У разі потреби транспортувати матеріали на великі відстані встановлюють послідовно ряд транспортів напівстаціонарного типу, так званих ланкових транспортерів, що допускає швидкий монтаж і демонтаж.

Пересувний стрічковий конвеєр (рис. 9.3, *а*) використовують для подавання будівельних матеріалів по похилій площині до місця їх укладання, на перевантажувальних роботах і як живильник для завантаження машин (дробарок, змішувачів та ін.). Максимально допустимий кут нахилу обмежується кутом природного укосу матеріалу. Переміщувати сипкий матеріал конвеєром практично можна під кутом нахилу, не більшим за 20...24°. За більшого кута він скочується по стрічці донизу і продуктивність конвеєра різко знижується. У цьому випадку застосовують спеціальні стрічки з поперечними планками і ребордами.

Прогумована нескінченна стрічка *1* завширшки від 400 до 1000 мм є несучим і тяговим органом. Вона охоплює привідний *2* і натяжний *7* барабани. У проміжку між барабанами верхня робоча гілка підтримується опорними роликами *12*, а нижня (холоста) – роликами *11*. Барабани та роликоопора закріплені на несучій фермі *6*. Барабану *2* надає руху електродвигун *16* через зубчастий редуктор і ланцюгову передачу.

Несну ферму за допомогою нерухомої *5* і рухомої *4* опор встановлено на двоколісний хід *3*. Нерухома опора з фермою та віссю колісного ходу з’єднана шарнірно, а рухома – шарнірно з колісним ходом і через напрямні з фермою *6*. До верхньої частини рухомої опори приєднаний поліспаст *8*, один кінець каната якого закріплений на барабані ручної лебідки *10*. За їх допомогою змінюють кут нахилу ферми до горизонту.

Стрічка конвеєра приводиться в рух силою тертя, яка виникає між привідним барабаном і стрічкою. Натягу стрічки, для забезпечення необхідної сили тертя, досягають переміщенням барабана *7* натяжним пристроєм *14*. Матеріал на стрічку конвеєра навантажують через воронку *9*, а вивантажують скиданням, коли стрічка огинає барабан *2*.

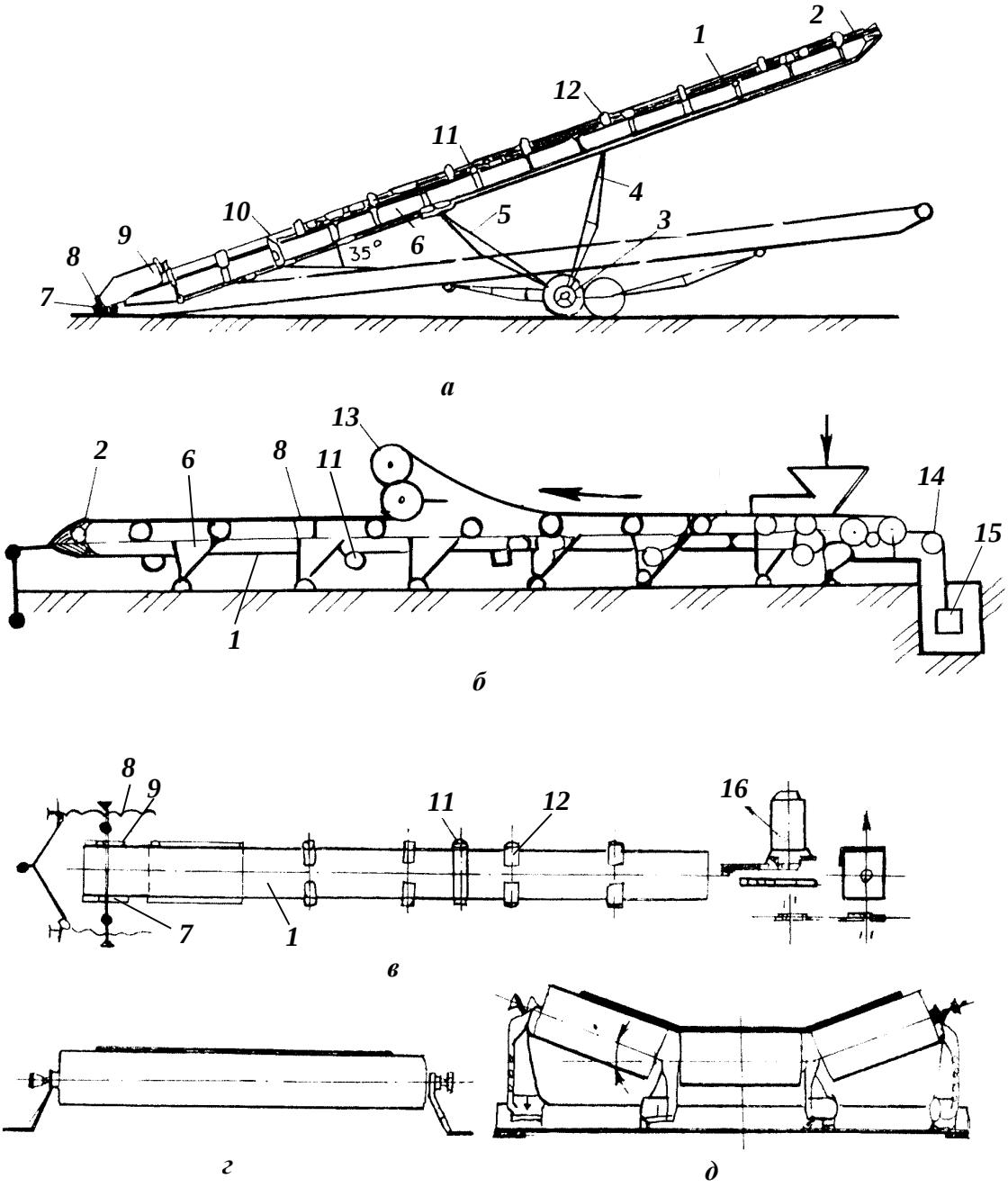


Рис. 9.3. Стрічкові конвеєри:

а – пересувний; *б* – напівстаціонарний; *в* – схема конвеєра; *г* – схема плоскої роликоопори; *д* – схема жолобчастої роликоопори:

1 – стрічка; *2* – привідний барабан; *3* – ходове обладнання; *4* – рухома опора; *5* – нерухома опора; *6* – несуча ферма; *7* – натяжний барабан; *8* – поліспаст; *9* – воронка; *10* – лебідка; *11* – підтримувальні ролики; *12* – опорні ролики; *13* – розвантажувальний візок; *14* – натяжний пристрій; *15* – вага; *16* – електродвигун

Роликоопори під робочу гілку стрічки виконують плоскими (рис. 9.3, *г*) і жолобчастими (рис. 9.3, *д*). Стрічка, розміщена на роликоопорах, копіює їх форму. Конвеєри з жолобчастою стрічкою для переміщення сипких матеріалів мають більшу продуктивність.

Напівстаціонарні (ланкові) стрічкові конвеєри (рис. 9.3, *б*) застосовують для переміщення великих мас ґрунту, піску, гравію тощо на досить великі відстані під час спорудження гідротехнічних об'єктів, у тимчасових кар'єрах і на складах. Ширина стрічки сягає 1600 мм за швидкості пересування ґрунту, піску та гравію 2...3 м/с, каміння – до 1,5 м/с, бетонної суміші – 0,8...1 м/с.

Будова несучого та тягового органів у напівстаціонарних конвеєрах така сама, як і в пересувних. Несну ферму, зібрану з окремих ланок, встановлюють нерухомо на окремі опори-фундаменти. На верхньому поясі ферми *6* крім роликоопор прокладено дві рейки, на які встановлено розвантажний візок *13*. Стрічка *1* огинає привідний *2* та натяжний *7* барабани конвеєра й напрямні барабани візка-скидальника. Якщо є такий візок, то матеріал можна скидати зі стрічки в будь-якій точці вздовж конвеєра. Для цього візок зупиняють у потрібному місці. Під час руху стрічки від верхнього до нижнього напрямних барабанів візка матеріал скидається із стрічки на лоток, розміщений перед візком, і звідти на один чи обидва боки (залежно від конструкції лотка) у відвал.

Натяг стрічки регулюється автоматично вагою *15*, масу якої добирають з умови нормальної роботи конвеєра.

Стаціонарні стрічкові конвеєри відрізняються від напівстаціонарних тільки фермою, яку монтують на постійному фундаменті. Їх застосовують на допоміжних підприємствах будівництва та складах, розрахованих на тривалий період експлуатації.

Завдяки достатнім силам тертя, які виникають між стрічкою та привідним барабаном, стрічка приводиться в рух і слугує одночасно тяговим елементом та несучим органом.

Руху стрічці транспортера надає електродвигун змінного струму короткозамкнутого загального призначення типу 4А або кранового виконання типу МТКF.

Нині застосовується багато типів стрічкових конвеєрів, які розрізняються:

1) за формою стрічки: плоскі; жолобчасті;

2) за типом стрічки: з прогумованою стрічкою; з металевою цільнокатаною стрічкою; з металевою сітчастою стрічкою;

3) за типом приводу: з однобарабанним приводом; з двобарабанним приводом; з однобарабанним приводом і притискним роликом; з однобарабанним приводом і притискною стрічкою;

4) за способом розвантаження: з розвантаженням з кінцевого барабана (рис. 9.4, *а, б, в, г)*; з проміжним розвантаженням за допомогою барабанних скидних візків (рис. 9.4, *д*) або ножових скидачів.

Стрічкові конвеєри встановлюють горизонтально і похило. Вони можуть змінювати напрям транспортування з похилого в горизонтальне (рис.9.4, *б*) і навпаки (рис. 9.4, *в*)*;* в останньому випадку щоб уникнути підведення стрічки над роликами, перехід виконують по радіусу (R = 70…80 м).

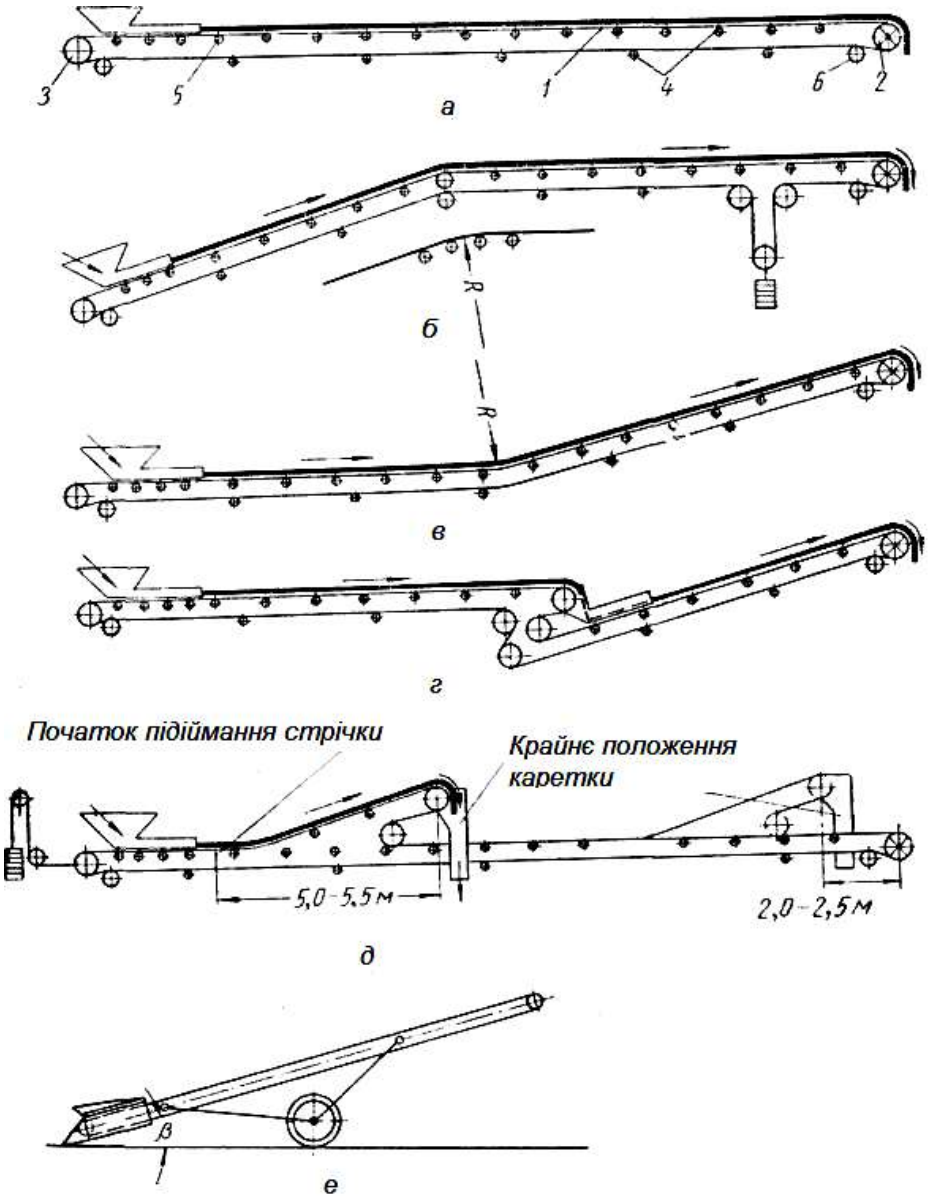
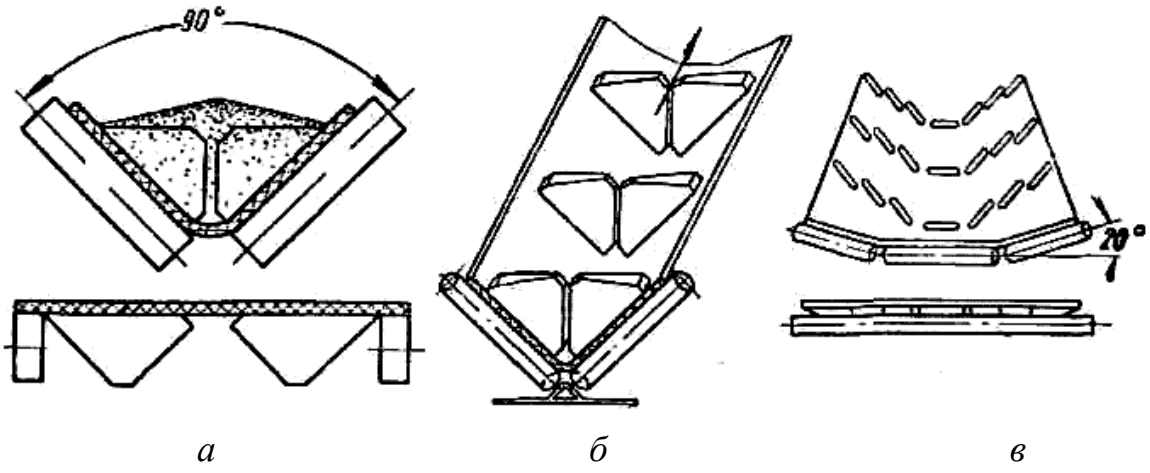


Рис. 9.4. Схеми стрічкових конвеєрів

Для транспортування сипких вантажів за великих кутів нахилу стрічку роблять ребристою (рис. 9.5) і збільшують кут нахилу роликів до 45°. За літературними даними, такі конвеєри можуть транспортувати матеріал під кутом до 60°.



а *б* *в*

Рис. 9.5. Ребристі стрічки для конвеєрів з великим кутом нахилу

Привід стрічок може здійснюватись за трьома схемами:

1) привідним барабаном завдяки силам зчеплення між стрічкою і поверхнею барабана (рис. 9.6, *а*);

2) завдяки лінійному фрикційному приводу, що складається з додаткової привідної стрічки, яка притикається до основної (рис. 9.6, *б*);

3) за допомогою притискної допоміжної стрічки за потреби транспортування насипних вантажів під значним кутом (рис. 9.6, *в*).

Стрічка виконує роль тягового та вантажонесучого органа. Державним стандартом [18] рекомендовано ширину B_c=300, 400, 500, 650, 800, 1000, 1200…3000 мм. В сучасних стрічкових транспортерах та елеваторах використовують гумотканинні стрічки, параметри яких регламентовані ГОСТ 20-85.

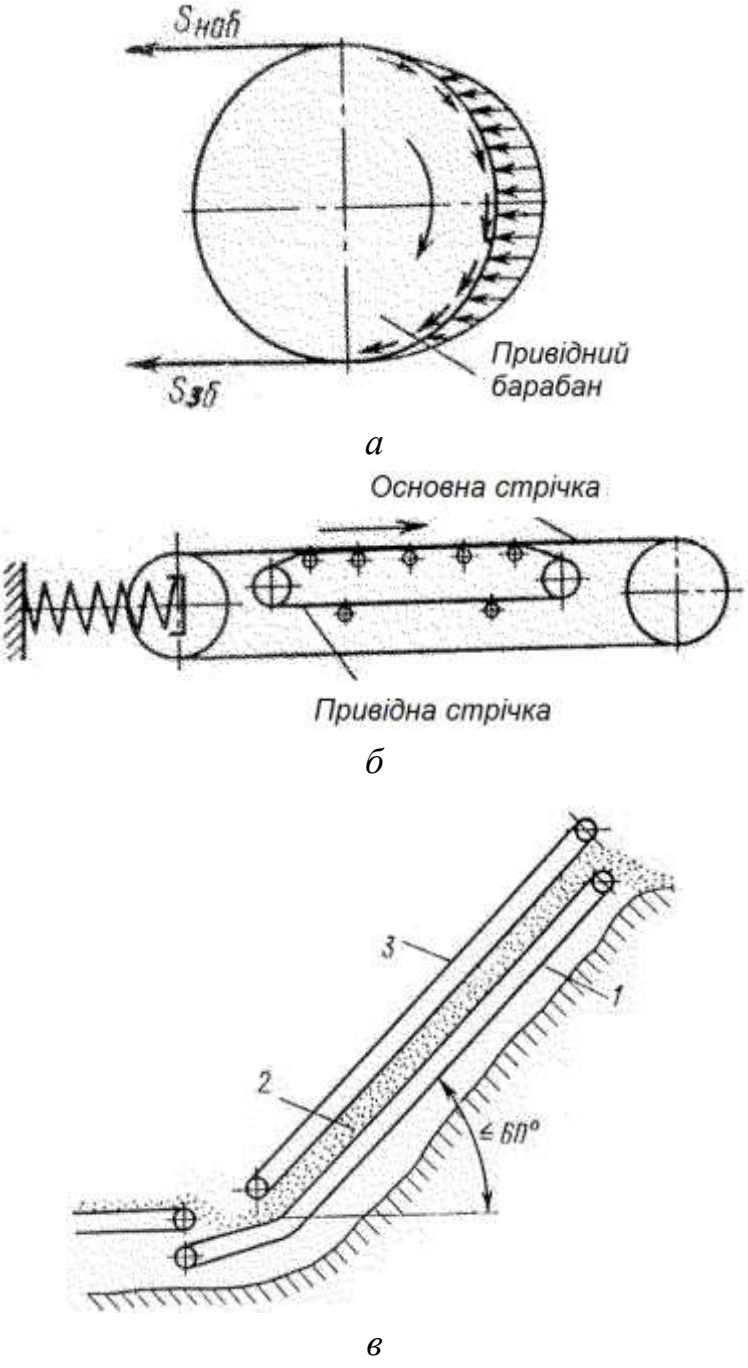


Рис. 9.6. Привід вантажонесучого органа стрічкових конвеєрів:
а – завдяки силам зчеплення між барабаном і стрічкою; *б* – з привідною стрічкою; *в* – завдяки масі притискної стрічки:
1 – вантажонесуча стрічка; *2* – вантаж; *3* – притискна стрічка

Тяговим елементом стрічки слугують тканеві прокладки, між якими розміщені гумові прошарки (з'єднані способом вулканізації) (рис. 9.7.).

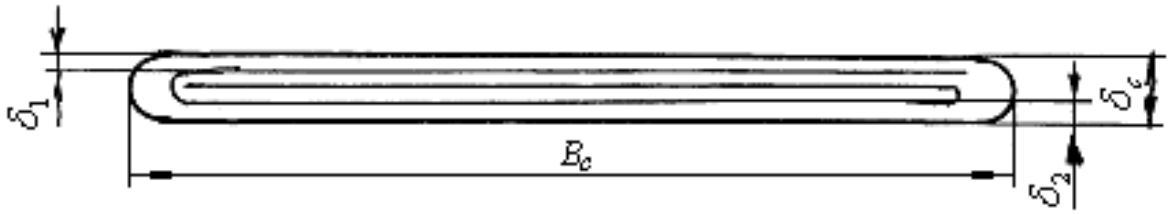


Рис. 9.7. Схема поперечного перерізу гумотканинної стрічки

Тканинні прокладки типу БКНЛ виготовляють з комбінованих ниток: бавовни, капрону, нейлону, лавсану; типів ТА, ТКЛ, ТК – з ниток аніду, капрону, лавсану. Ці тканини, а також з віскози та інших синтетичних матеріалів мають високу міцність.

Стрічка може бути завтовшки від трьох до восьми прокладок залежно від ширини стрічки.

Робочий та неробочий бік стрічки покрито шаром гуми (обкладками), що запобігає пошкодженню тканини. Товщину зовнішніх прокладок δ_1 з верхнього (робочого) боку стрічки обирають залежно від властивостей і розмірів кусків транспортованого вантажу: δ_1=3…10 мм. Із зворотного, нижнього боку товщина прокладки становить δ_2=1…2 мм.

Гумотканинні стрічки бувають загального призначення (для роботи за температури навколишнього середовища від – 45 ºС до + 60 ºС), морозостійкі – вид М (для роботи від – 60 ºС до + 60 ºС), теплостійкі – вид Т (за температури вантажу до + 100 ºС). Додаючи спеціальні добавки (антифриз) в гуму, підвищують морозостійкість стрічки типу М.

Теплостійкі стрічки виготовляють з теплостійкої гумової обкладки, а під нею розміщують теплоізоляційний шар з азбестової тканинної прокладки.

Унаслідок транспортування гарячих і гострогранних матеріалів прогумовані стрічки швидко виходять з ладу. Прагнення до збільшення термінів роботи стрічки під час транспортування таких матеріалів зумовило застосування сталевої стрічки, що останнім часом набуває все більшого поширення.

Сталеві стрічки виготовляють методом холодної прокатки. Товщина стрічки становить від 0,6 до 1 мм за ширини 500...650 мм. Методом склеювання в поперечному та поздовжньому напрямах отримують ширину стрічки до 3000 мм.

Сталева стрічка має ряд переваг перед прогумованою, зокрема, менше піддається зносу внаслідок транспортування кускових й абразивних матеріалів, оскільки вона не зазнає залишкових деформацій, витягнення її під час роботи є незначним. Стрічка допускає транспортування гарячих матеріалів з температурою до 350 °С.

Недоліками сталевих стрічок слід вважати те, що вони складніші в монтажі через труднощі центрування; допускають набагато менші кути нахилу, ніж прогумовані, і потребують кінцевих барабанів значних діаметрів (не менш як 1 м і більше).

Рідше застосовують сітчасті стрічки, виготовлені зі сталевого дроту діаметром від 1 до 5 мм. Використовують, їх переважно для транспортування матеріалів, що потребують у процесі переміщення промивання або просіювання. Тому такі стрічки слугують одночасно і решетом, крізь яке вода стікає з транспортованого матеріалу.

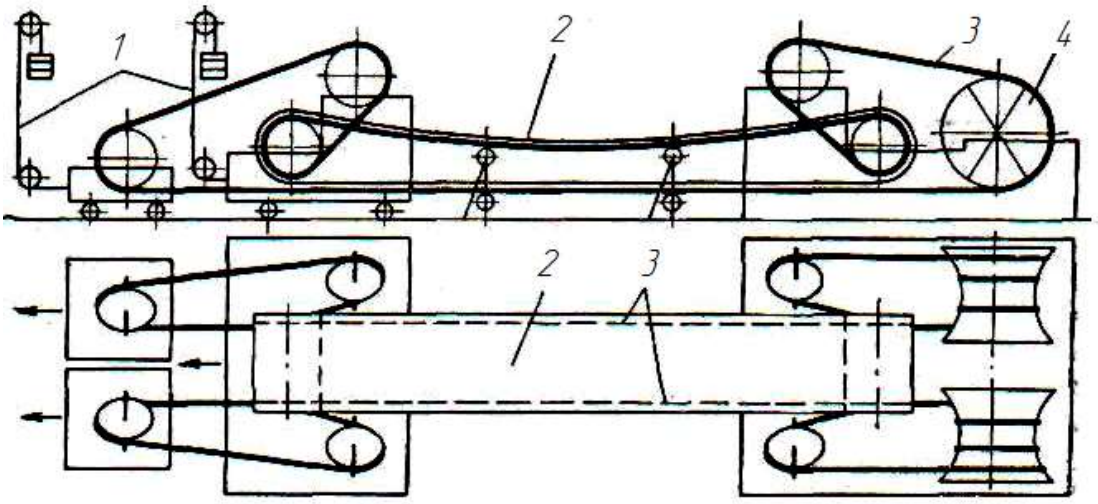
Для доставки сировини на завод конвеєрами з кар'єрів на значні відстані (до декількох кілометрів) нині розроблено конвеєри з особливо міцною стрічкою з основою з синтетичних тканин, а також із сталевими канатами.

З підвищенням міцності стрічок все більше відчувається розрив у довговічності дорогого каркаса і захисного шару гуми, внаслідок чого стрічку доводиться міняти після зносу обкладок, коли здатність каркаса залишилася ще невичерпаною.

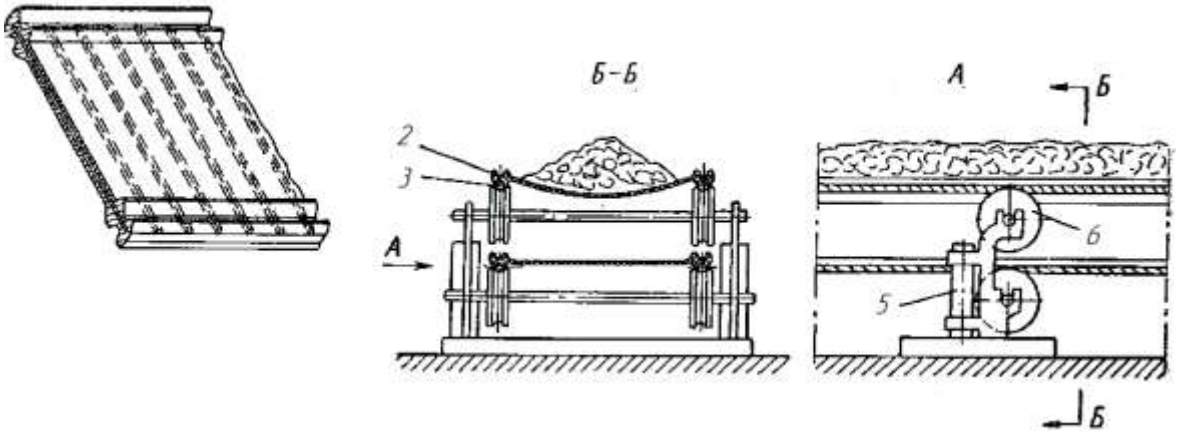
Тому разом з дослідженням досконаліших конструкцій стрічок запропоновано конвеєри, в яких функції вантажонесного і тягового органа розділені.

Прикладом такої конструкції є стрічково-канатний конвеєр (рис. 9.8, *а),* який складається з двох тягових канатів *2*, стрічки *1*, привідної *3* і натяжної станцій і проміжних опор *5* з підтримувальними роликами *6* для несних канатів.

У стрічці завулканізовано гнучкі плоскі сталеві пружини: кінці стрічки потовщені і мають поглиблення, якими стрічка укладається на канати (рис. 9.8, *б).*



а



б *в* *г*

Рис. 9.8. Стрічково-канатний конвеєр:

а – загальна схема конвеєра; *б* – стрічка; *в* – поперечний переріз конвеєра; *г* – вигляд збоку

Зусилля від тягових канатів рівномірно розподіляється по всій довжині стрічки, і канати із стрічкою рухаються як одне ціле. На кінцевому пункті у приводу стрічка огинає барабан, що вільно сидить на осі, а канати, обігнувши напрямні і відхильні шківи, набігають на привідні шківи лебідки приводу. Привідні шківи лебідки – багатообхоплювальні з параболічним профілем обода.

Конвеєр не має жорсткої станини. Проміжні роликові опори встановлюють на відстані від 3,5 до 8 м, що зростає у міру збільшення натягнення каната від натяжної до привідної станції. Канати натягаються вантажем.

Ролики, що підтримують канат, можуть переміщатися по осі на 40 мм.

За літературними даними, стрічково-канатні конвеєри успішно працюють за довжини 2 км і більше.

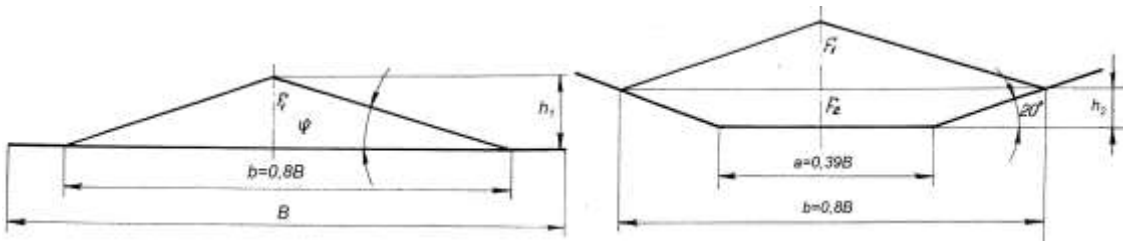
Технічна продуктивність $П_{тех}$ стрічкових конвеєрів залежить від характеристики вантажу і швидкості руху стрічки. У разі переміщення матеріалу безперервним потоком експлуатаційна продуктивність, т/год, становить:

$$П_{е} = 3600 A V \rho k ,$$

де A – середня площа поперечного перерізу матеріалу на стрічці, м^2;
V – швидкість руху стрічки, м/с; ρ – щільність матеріалу, т/м^3;
k – коефіцієнт, що відображає зниження продуктивності похилого конвеєра (k = 0,95...0,8 за кута нахилу 10...22°).

Для визначення продуктивності конвеєрів під час переміщення штучних вантажів потрібно в останню формулу підставити замість $A \cdot \rho$ відношення маси одного елемента до середньої відстані між елементами на стрічці.

Розміщення сипкого вантажу на стрічці визначається профілем робочої гілки стрічки. На стрічці, що спирається на прямі роликооопори, сипкий вантаж розміщується приблизно по рівнобедреному трикутнику, рис. 9.9, *а*.



а *б*

Рис. 9.9. Схема розміщення вантажу на стрічці

На стрічці, що лежить на жолобчастих роликоопорах, загальна площа перерізу сипкого вантажу складається з суми площ рівнобедреного трикутника та трапеції (рис. 9.9, *б*) сторони якої визначаються розмірами роликів та кутом їх нахилу $\alpha_р$ (рис. 9.9, *б*), тобто вона має більшу продуктивність.

Визначення потужності двигуна приводу конвеєра з гнучким тяговим елементом за його продуктивністю

Якщо продуктивність конвеєра $П$ (кг/с), швидкість руху тягового органа υ (м/с), погонна маса вантажу q $\left(q = П/\upsilon\right)$, то потрібна потужність на переміщення такої маси вантажу на довжину L буде (без врахування механічних втрат в приводі)

$$N_1 = qgL\upsilon\omega,$$

де ω – узагальнений коефіцієнт опору руху, який залежить від типу опор вантажоненого (тягового) органа.

Підставивши у формулу значення величин q (кг/м), отримаємо (Вт):

$$N_1 = ПLg\omega.$$

За погонної маси тягових і вантажонесних органів конвеєра q_1 (кг/м) і рівній довжині робочої і холостої гілок, тобто якщо $L_{\text{р}} = L_{\text{х}} = L$ (у разі похилого конвеєа L – довжина горизонтальної проекції), потрібна потужність (Вт) на їх переміщення для обох гілок становить

$$N_0 = 2q_1gL\upsilon\omega.$$

Якщо конвеєр вертикальний, то підставляючи значення q, отримаємо потрібну потужність на підйом вантажу

$$N_2 = qgH\upsilon = ПHg,$$

де H – висота конвеєра чи вертикальна проекція похилого конвеєра, м.

Зважаючи на те, що маси обох гілок конвеєра на вертикальних ділянках врівноважуються, можна вважати: для горизонтального конвеєра (рис. 9.4, *а*) $N = N_0 + N_1$; для похилого конвеєра (рис. 9.4, *в*) $N = N_0 + N_1 + N_2$; вертикального конвеєра (рис. 9.4, *д*) $N = N_2$.

Статична потужність (Вт) двигуна приводу конвеєра дорівнює:

$$N_{\text{д}} = \frac{N}{\eta_{\text{заг}}},$$

де $\eta_{\text{заг}}$ – коефіцієнт корисної дії, який відображає всі види втрат внаслідок тертя в підшипниках привідних й обвідних барабанів (зірочок), опору під час огинання їх тяговими органами, опору під час навантаження і розвантаженні, а також коефіцієнти корисних дій всіх передач всіх типів.

Пластинчасті конвеєри

Пластинчасті конвеєри застосовують для транспортування гарячих, а також важких матеріалів з гострими кромками або штучних вантажів великої маси, для яких стрічковий транспортер мало придатний, наприклад, для подавання крупного каменю в дробарки, а також для транспортування гарячих матеріалів, деталей та виробів на машинобудівних заводах і заводах будівельних конструкцій.

Вантаж розміщується на плоских або фасонних пластинах, прикріплених до тягового органа – ланцюга або сталевого каната. Допустимий кут нахилу пластинчастого конвеєра з плоскими пластинами зазвичай менший, ніж стрічкового, оскільки кут тертя матеріалу вантажів об метал пластин в 2,5...3 рази менший, ніж об гумовотканинну стрічку. Фасонні пластини, що мають поперечні виступи на робочих поверхнях, дають змогу збільшити кут нахилу конвеєра.

Пластинчасті конвеєри (рис. 9.10) переміщають матеріал на стрічці, що складається з однієї або двох нескінченних тягових ланцюгів *1*, котрі охоплюють зірочки *2* і *3*, до яких прикріплено пластини *4*, що утворюють настил (лускату стрічку). Пластинчаста стрічка підтримується роликами *5*, що рухаються по напрямних роликах станини *6*.

Тяговим органом у цих конвеєрів є два нескінченні ланцюги *1*. Ширина пластинчастого настилу зазвичай становить 0,4...1,6 м, а швидкість руху – 0,01...1 м/с.

Для переміщення сипких матеріалів пластини мають лоткову форму, тому такі конвеєри називають лотковими. Для запобігання розсипання матеріалу пластини перекривають одна одну (рис. 9.10, *в)*. Пластинчасті конвеєри можуть переміщати матеріал як в горизонтальному, так і в похилому напрямах. Кут нахилу пластинчатих конвеєрів з плоскими пластинами, як і в стрічкових, не повинен перевищувати 15…20°, але в конвеєрах з пластинами, що утворюють поглиблення, може досягати 35°.

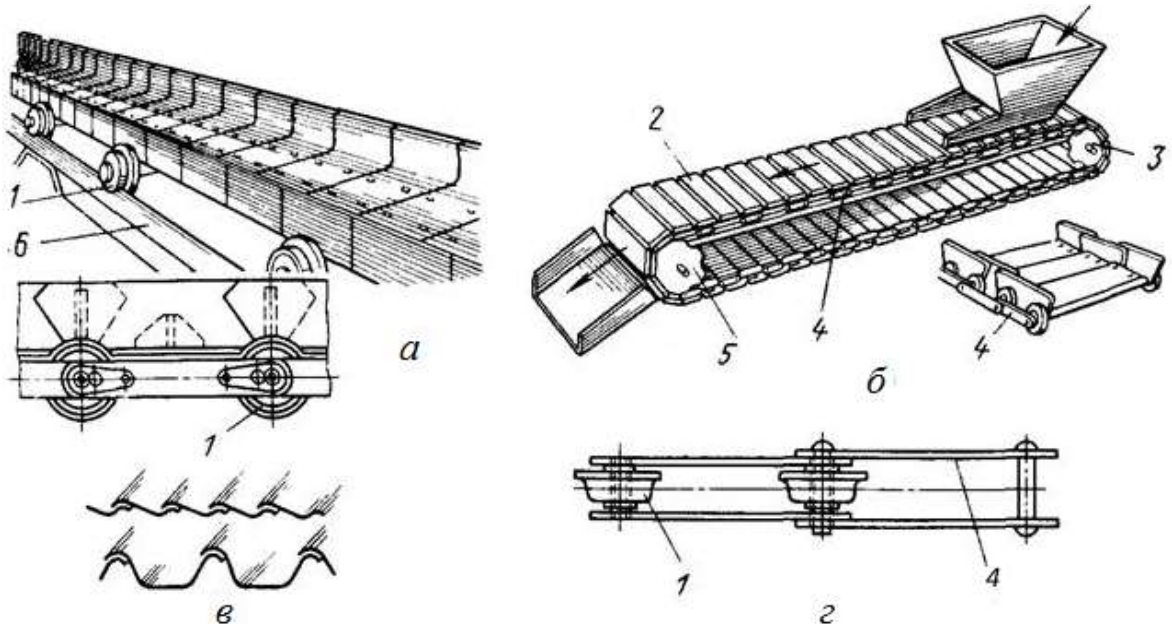


Рис. 9.10. Схеми пластинчастих конвеєрів:
а – лотковий; *б*–плоский; *в* – схеми сполучення пластин; *г* – елемент тягового ланцюга

Пластинчасті конвеєри застосовують тоді, коли потрібно переміщати гарячі матеріали, наприклад, клінкер від обертових печей, а також важкі матеріали з гострогранними великими кусками або штучні вантажі. Крім того, пластинчаті конвеєри використовують в обслуговуванні потокових виробництв і конвеєрному складанні виробів. Короткі пластинчасті конвеєри застосовують як живильники для подавання матеріалу з приймалень бункерів в дробарки.

Конструкція пластинчастих конвеєрів залежить від умов, для яких їх призначено.

Пластинчаті конвеєри поділяють так:

1) за призначенням: а) загального призначення; б) спеціальні;

2) за виконанням несного органа: а) жорсткі – для прямолінійної траси; б) що згинаються — для криволінійної траси;

3) за зварними ланцюгами;

4) за кількістю ланцюгів : а) одноланцюгові, б) дволанцюгові.

5) за характером установлення підтримуваних роликів: а) з нерухомими роликовими опорами; б) з роликами, що рухаються разом з несним органом\;

6) за конструкцією ланцюга : а) з пластинчастими ланцюгами; б) зі зварними ланцюгами.

На заводах будівельних матеріалів застосовують переважно конвеєри загального призначення з пластинчастими ланцюгами.

Пластинсчаті конвеєри конструктивно складніші і дорожчі за стрічкові.

У теперішній час пластинчасті транспортери використовують здебільшого як живильники дробарок. За принципом дії вони подібні до стрічкових конвеєрів.

Швидкість пластинчастого транспортера є значно нижчою, ніж стрічкового, і коливається в межах 0,2...0,5 м/с. Завдяки такій тихохідності досягається плавність в його роботі, що дає змогу переміщати крихкі предмети. Установка пластинчастого транспортера може бути як у горизонтальному, так і в похилому положенні за кутів, що не перевищують 25°.

Та якщо на платівках поставлено упори, які заважають ковзанню матеріалу вниз по полотну транспортера, кут може бути доведений до 45°.

У транспортерах застосовують пластинчасті тягові ланцюги, (рис. 9.11). Згідно з ГОСТ 588-84 вони бувають втулкові (тип 1), втулково-роликові (тип 2), втулково-коткові з циліндричними котками (тип 3) та втулково-коткові з ребордними котками на підшипниках ковзання (тип 4). Для роботи транспортера з гарячими (важкими) вантажами тягові ланцюги (важкого типу) виготовляють з котками на підшипниках кочення (рис. 9.12).

Крок ланцюгів – 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800 та 1000 мм.

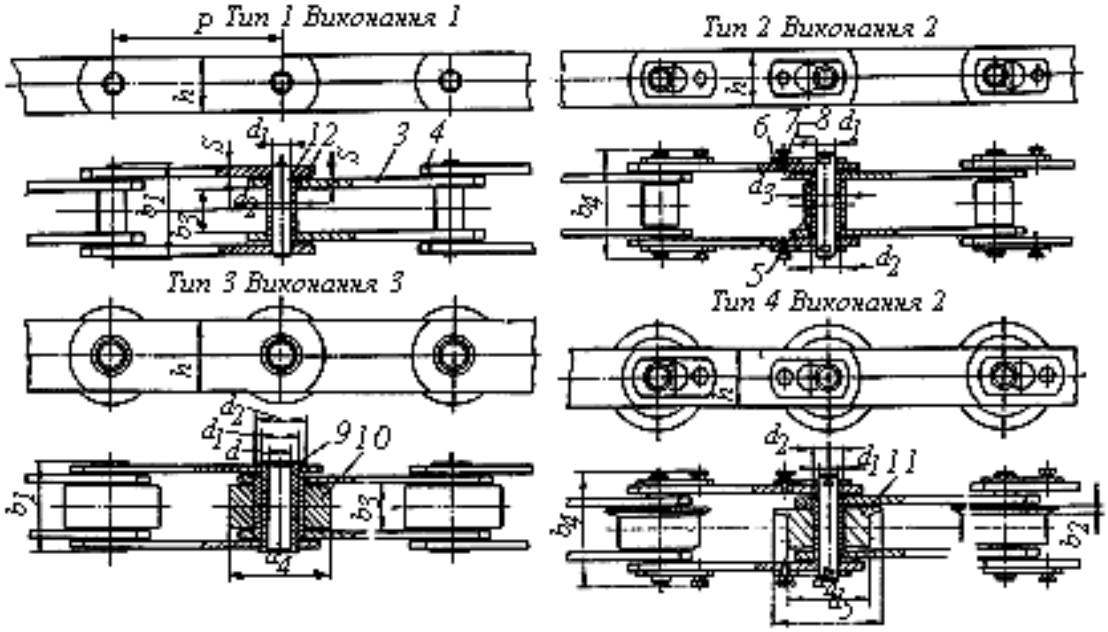
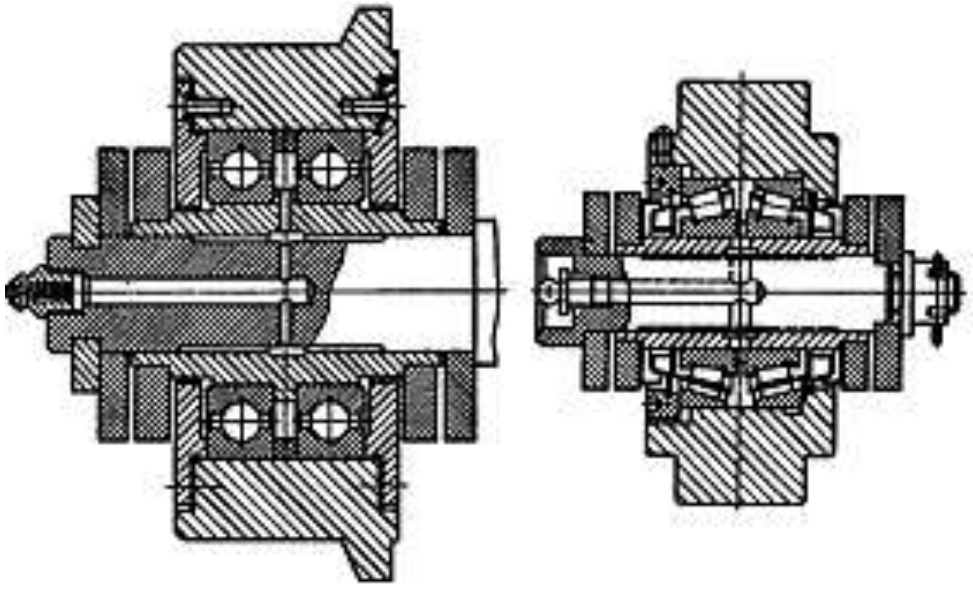


Рис. 9.11. Ланцюги тягові пластинчасті (ГОСТ 588-81)

1 – вісь; *2* – втулка; *3* – внутрішня пластина; *4* – зовнішня пластина; *5* – ролик; *6* – ригель (замок); *7* – болт; *8* – шайба; *9* – пустотіла вісь; *10* – коток; *11* – коток з ребордою



а *б*

Рис. 9.12. Вузли котків ланцюгів на підшипниках кочення:

а – кульковий; *б* – на конічних роликових

Тягові ланцюги розраховують на розтяг. Руйнівну розривну силу F_p ланцюга визначають за формулою:

$$F_p \geq F_{\max} K_з, \tag{9.1}$$

де F_{max} – найбільша розрахункова сила натягу ланцюга транспортера; $K_з$ – коефіцієнт запасу міцності ланцюга, $K_з=6...8$.

За руйнівною розривною силою F_p вибирають параметри ланцюга та його розміри.

Продуктивність пластинчастих конвеєрів для сипких матеріалів визначають за формулою:

$$Q = 3600 v F_0 \psi \gamma, \tag{9.2}$$

де v – швидкість стрічки в м/хв; F_0 – площа перерізу жолоба в м^2 (рис. 9.3 1); ψ – коефіцієнт заповнення; γ – насипна вага матеріалу в т/м^3.

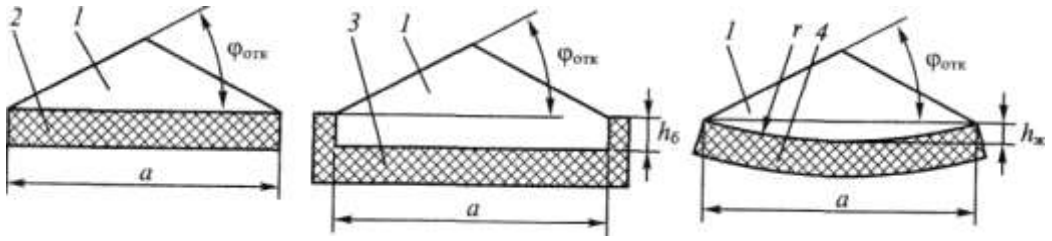


Рис. 9.11. Варіанти поперечних перерізів стрічкового і пластинчастого конвеєрів:
1 – переміщуваний матеріал; *2* – плоска стрічка або пластини; *3* – стрічка з бортами; *4* – жолобчаста стрічка

За лоткової форми пластин площа перерізу матеріалу на стрічці може бути рівною перерізу лотка. Деяке недозаповнення лотка матеріалом враховують, вводячи у формулу коефіцієнт заповнення $\psi = 0{,}7 \div 0{,}8$.

Скребкові конвеєри

Скребкові конвеєри (рис. 9.14) використовують для переміщення сипких, зернистих та кускових вантажів в горизонтальному та похилому ($\beta \leq 40^o$) напрямках.

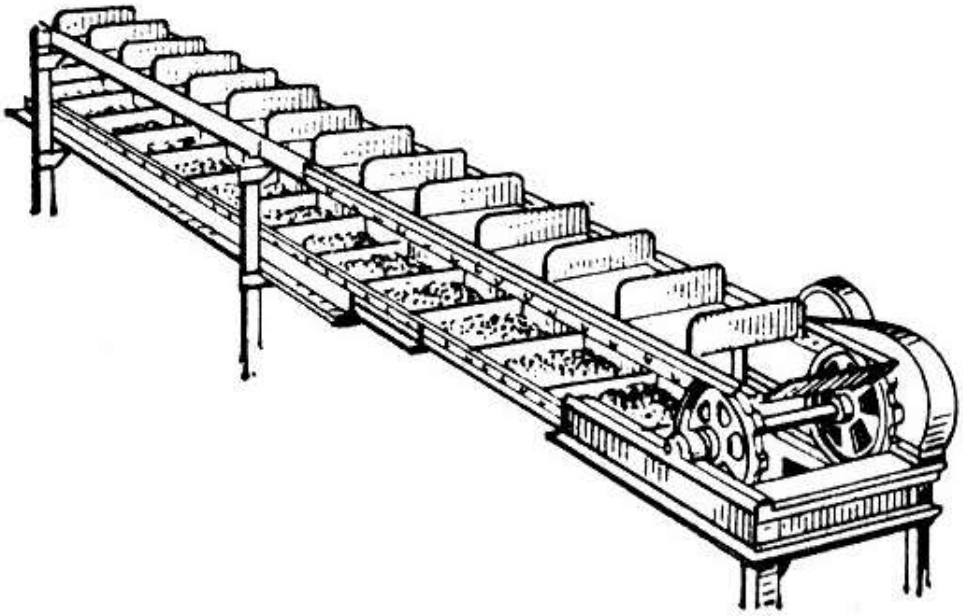


Рис. 9.14. Скребковий конвеєр

Вони складаються з відкритого жолоба *9* (рис. 9.15), встановленого на зворотній рамі *4*. Вздовж жолоба по напрямних *3* рухаються тягові пластинчасті втулково-коткові з гребенем (тип ПВКГ) ланцюги *2*. Ланцюги згідно з ГОСТ 588-81 мають крок $P_л$=160; 200; 250; 315 та 400 мм; вони огинають привідні *6* та натяжні *1* зірочки. Кількість тягових ланцюгів зумовлюється шириною скребків *4* і стійкістю їх положення.

Навантажують транспортер за допомогою навантажувального пристрою *8* в будь-якому місці жолоба, вантаж проштовхується скребками.

Розвантажувати матеріал можна на проміжних ділянках через люки, які перекриваються шиберними засувками *7*.

За ширини скребків $B_c \leq$ 400мм – кріплять посередині до одного ланцюга, а за $B_c >$ 400мм – їх краями до двох ланцюгів (рис. 9.15).

Скребки виготовляють з листової сталі завтовшки 3…8 мм або з пластмаси-нейлона (інколи з гуми), кріплення до ланцюгів консольне. Скребки виконують півкруглої, а частіше прямокутної форми (рис. 9.15, *б*).

Зазор між скребками і жолобом становить 3…6 мм. Крок скребків дорівнює двом крокам ланцюга: $P_c=2P$ (рис. 9.15, *б*) (320…800 мм), для кускових вантажів крок повинен бути більшим за розмір найбільшого куска ($P_c \geq 1,5a_{max}$).

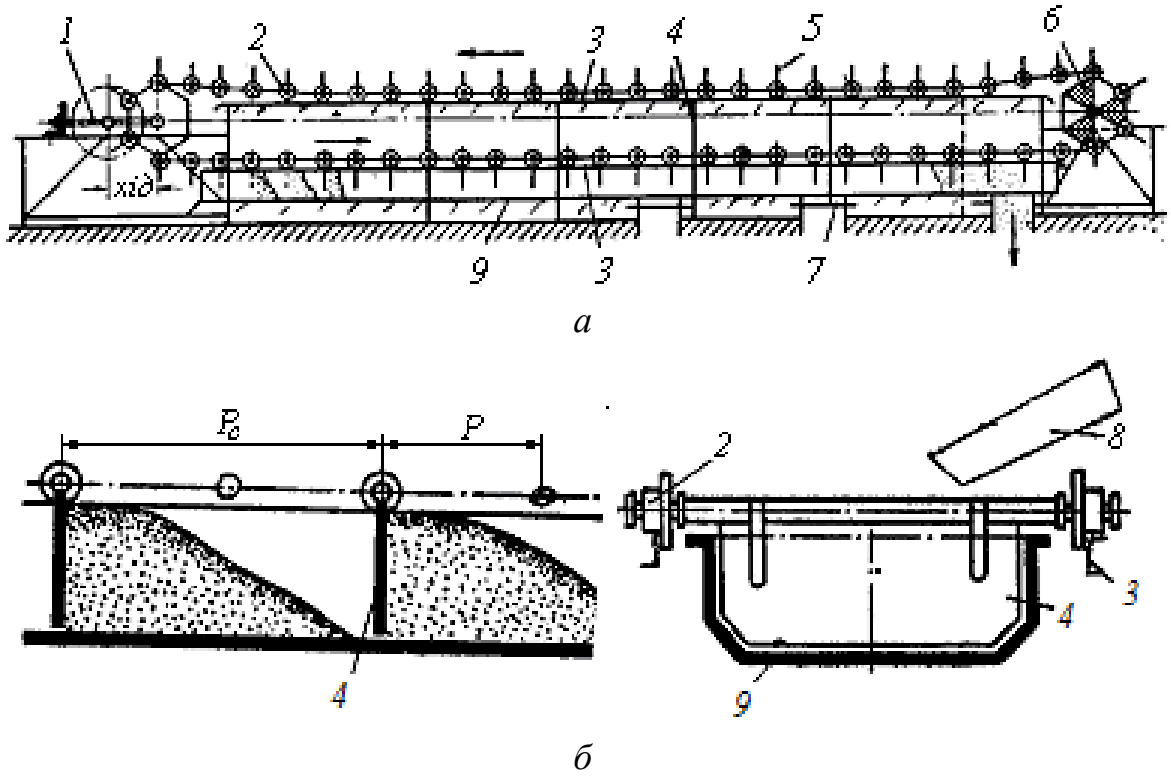


Рис. 9.15. Будова скребкового конвеєра

Жолоб виготовляють зварним з листової сталі завтовшки *4…6* мм. Рух скребків з ланцюгами здійснюється обертанням привідних зірочок *4* (рис. 9. 15, *а*) від привода, який складається з електродвигуна, муфт, редуктора.

Натяг тягових ланцюгів здійснюється гвинтовим натяжним пристроєм *1*, хід якого повинен бути не менший за 1,6 кроку ланцюга ($l \geq 1{,}6P$).

Під час переміщення на дні жолоба (рис. 9.16) сипкий вантаж розміщується перед скребками під кутом нахилу, близьким до кута природного укосу стану руху. Тому в розрахунку площі поперечного перерізу вантажу в жолобі беруть до уваги коефіцієнт заповнення жолоба ψ.

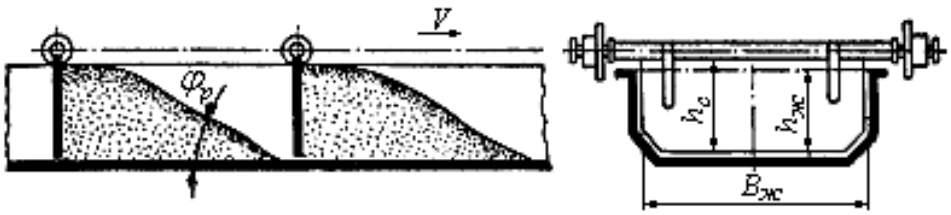


Рис. 9.16. Схема до розрахунку розмірів жолоба

Продуктивність скребкового транспортера (т/год) визначають за формулою:

$$П = 3600SV\gamma\psi K_\beta = 3600B_ж h_ж V\gamma\psi K_\beta, \qquad (9.3)$$

де S – площа поперечного перерізу жолоба, $S=B_ж h_ж$; V – швидкість руху скребків (V=0,1…0,5м/с); γ – щільність вантажу, т/м^3;
ψ – коефіцієнт заповнення жолоба (ψ=0,5…0,8); K_β – коефіцієнт, який відображає зменшення об'єму вантажу перед скребками через збільшення кута нахилу транспортера (K_β = 1 за β = 0º; K_β = 0,85 за β = 10º; K_β = 0,65 за β = 20º; K_β = 0,5 за β = 30º…40º).

Елеватори

Елеватори (рис. 9.17) – це транспортувальні машини безперервної дії для переміщення сипких або штучних вантажів у вертикальному або крутопохилому напрямку, з кутом нахилу до горизонту $\beta \geq 60º$.

За типом тягового органа розрізняють елеватори стрічкові (рис. 9.17, *а*), ланцюгові з одним або двома ланцюгами (рис. 9.17, *б*, *в*, *г*, *д*). За типом вантажонесного органа – ковшові (рис. 9.17 *а*, *б*, *в*), колискові (рис. 9.17, *г*), поличні (рис. 9.17, *д*).

Ковшові елеватори використовують для підіймання сипких та кускових вантажів, а колискові та поличні – для штучних вантажів.

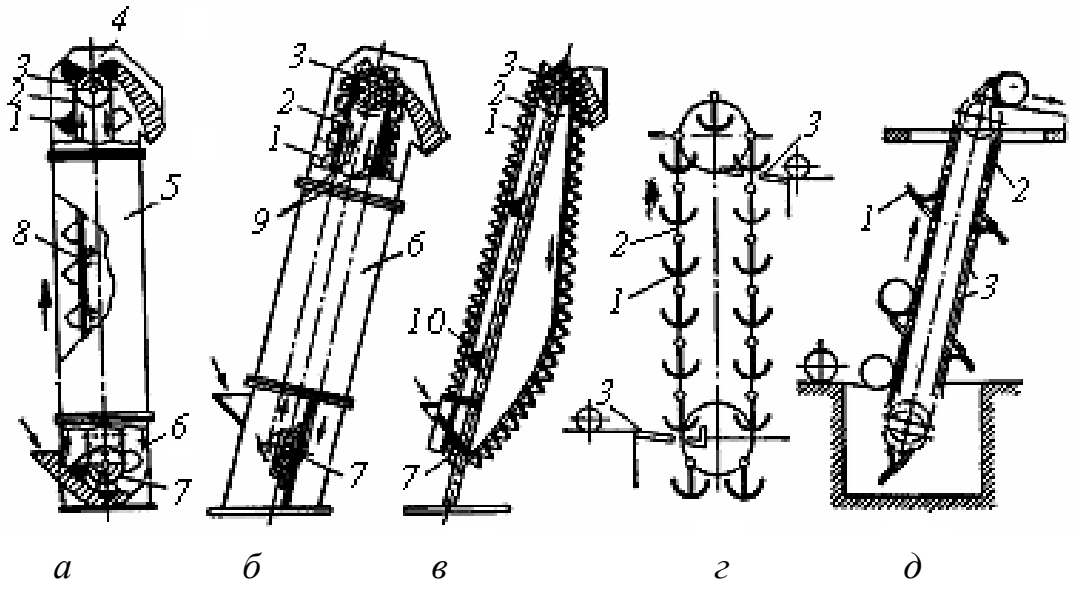


Рис. 9.17. Схеми елеваторів

Найбільшого поширення в народному господарстві набули ковшові елеватори. За способом навантаження і розвантаження ковшів елеватори поділяють на швидкохідні з розвантаженням під дією відцентрової сили і тихохідні. Ковшові конвеєри (елеватори) використовують для переміщення насипних матеріалів у вертикальному (тоді їх називають елеваторами) або близькому до вертикального напрямах.

Ковшовий конвеєр (рис. 9.18) складається з привідних *1* та натяжних 8*2* зірочок (барабанів), тягового органа *3* (втулково-роликового ланцюга або стрічки) та ковшів *4*. Нижня частина з натяжним пристроєм називається башмаком, а верхня, з привідним пристроєм, – головкою. Конвеєр замкнено у металевий кожух.

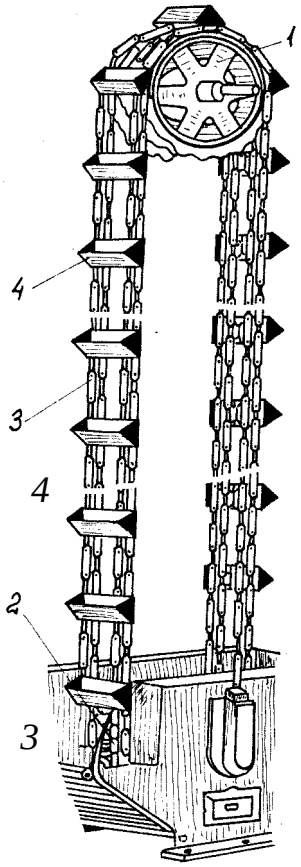


Рис. 9.18. Схема ковшового конвеєра

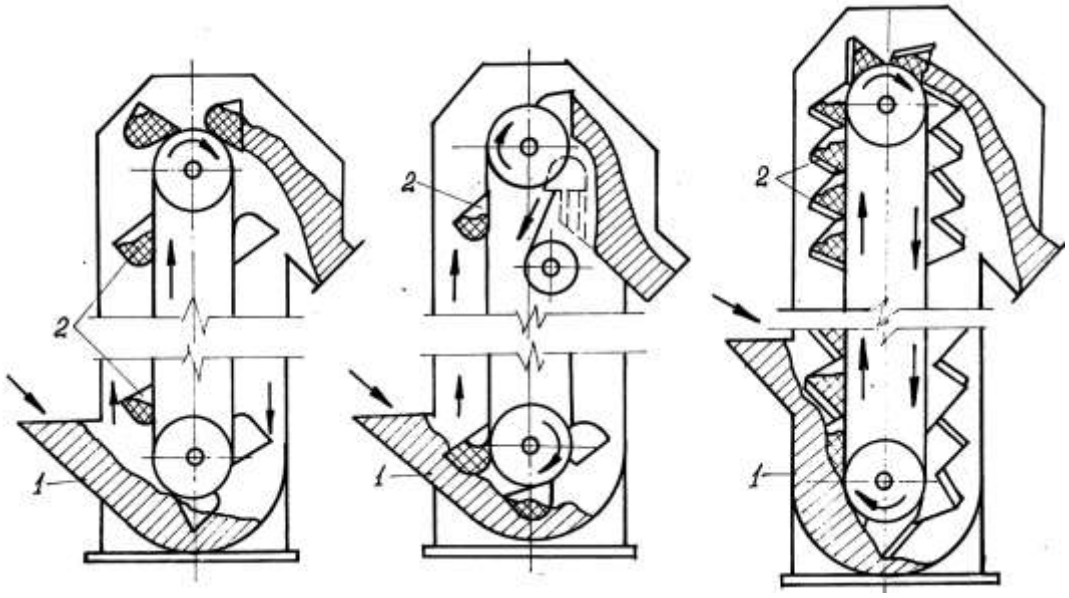
До переваг ковшових елеваторів належать незначні габаритні розміри в поперечному перерізі, можливість подавання вантажу на значну висоту (60...75 м) і великий діапазон продуктивності (5...500 м^3/год).

За типом тягового елемента розрізняють елеватори стрічкові і ланцюгові з одним чи двома ланцюгами.

За способом навантаження і розвантаження ковшів елеватори поділяють на швидкохідні з розвантаженням під дією відцентрової сили та тихохідні з розвантаженням під дією сили тяжіння вантажу. Розвантажувальний патрубок елеватора має зазвичай бокове (рис. 9.19) розміщення.

За розміщенням ковшів на тяговому елементі розрізняють елеватори з розосередженими ковшами (рис. 9.19, *а*, *б*), тобто розміщеними на деякій відстані один від одного, та з зосередженими ковшами (рис. 9.19, *в*), тобто розміщеними впритул один до одного. Вибір того чи іншого способу розміщення ковшів зумовлюється переважно характеристикою вантажів та визначає спосіб завантаження і розвантаження ковшів.

Наповнення ковшів відбувається черпанням вантажу з нижньої частини кожуха (башмака) елеватора (рис. 9.19, *а*) чи засипанням вантажу безпосередньо в ковші (рис. 9.19, *в*).



а *б* *в*

Рис. 9.19. Схеми навантаження, розвантаження і розміщення ковшів елеватора:
а – навантаження черпанням; розвантаження відцентрове;
б – навантаження черпанням; розвантаження гравітаційне вільне;
в – навантаження в ківш; розвантаження гравітаційне спрямоване;
1 – кожух; *2* – ківш

Надійність роботи конвеєра залежить від обраного виду навантаження ковшів. Пилоподібні, дрібнокускові матеріали набирають ковшами з башмака, а великокускові, особливо гострокутної форми, треба подавати безпосередньо у ківш, що рухається, а не в башмак, оскільки внаслідок великих опорів під час черпання вантажу можливим є відрив ковша від тягового органа.

Розвантаження ковшів може бути: відцентровим (див. рис. 9.19, *а*), гравітаційним вільним (див. рис. 9.19, *б*), гравітаційним спрямованим (див. рис.9.19, *в*) та гравітаційно-відцентровим.

Відцентрове розвантаження швидкохідних ковшових конвеєрів (під дією відцентрової сили, що виникає під час проходження ковшів через барабан чи зірочку) з розставленими на визначеній відстані один від одного ковшами використовують для транспортування пилоподібних та дрібнокускових матеріалів. Відстань між ковшами повинна бути такою, щоб викинуті з чергового ковша частки матеріалу не потрапляли на ківш, який іде попереду. Швидкість руху ковшів в елеваторах з відцентровим розвантаженням залежно від властивостей матеріалу та необхідної продуктивності в межах від 1 до 4 м/с.

Гравітаційне вільне розвантаження характеризується додатковим відхиленням ковша, що забезпечує вільне висипання вантажу. Цей вид розвантажування застосовують для вологих та мокрих матеріалів. Рух ковшів відбувається за пониженої швидкості (0,6 – 0,8 м/с).

Гравітаційне спрямоване розвантаження є можливим за зімкнутого розміщення ковшів. Огинаючи верхній барабан (зірочки) матеріал спочатку висипається під дією ваги на задню стінку попереднього ковша, потім боковими бортами спрямовується у розвантажувальний патрубок конвеєра. Цей вид розвантаження застосовується в тихохідних елеваторах за швидкості руху ковшів 0,4 – 0,8 м/с для транспортування кускових, важких абразивних і малоабразивних вантажів.

Гравітаційно-відцентрове розвантаження можливе за умови наближеної рівності відцентрової сили та сили тяжіння вантажу в ковші. У такому разі шари вантажу, що знаходяться біля днища ковша, будуть зсипатись під дією гравітації, а шари, які межують зі стінкою ковша, – під дією відцентрової сили. Таке розвантаження ковшів має змішаний характер.

Сипкі вантажі в елеваторах переміщаються ковшами (рис. 9.20). Ковші виготовляють зі сталевих листів завтовшки 2…4 мм штампування або зварними.

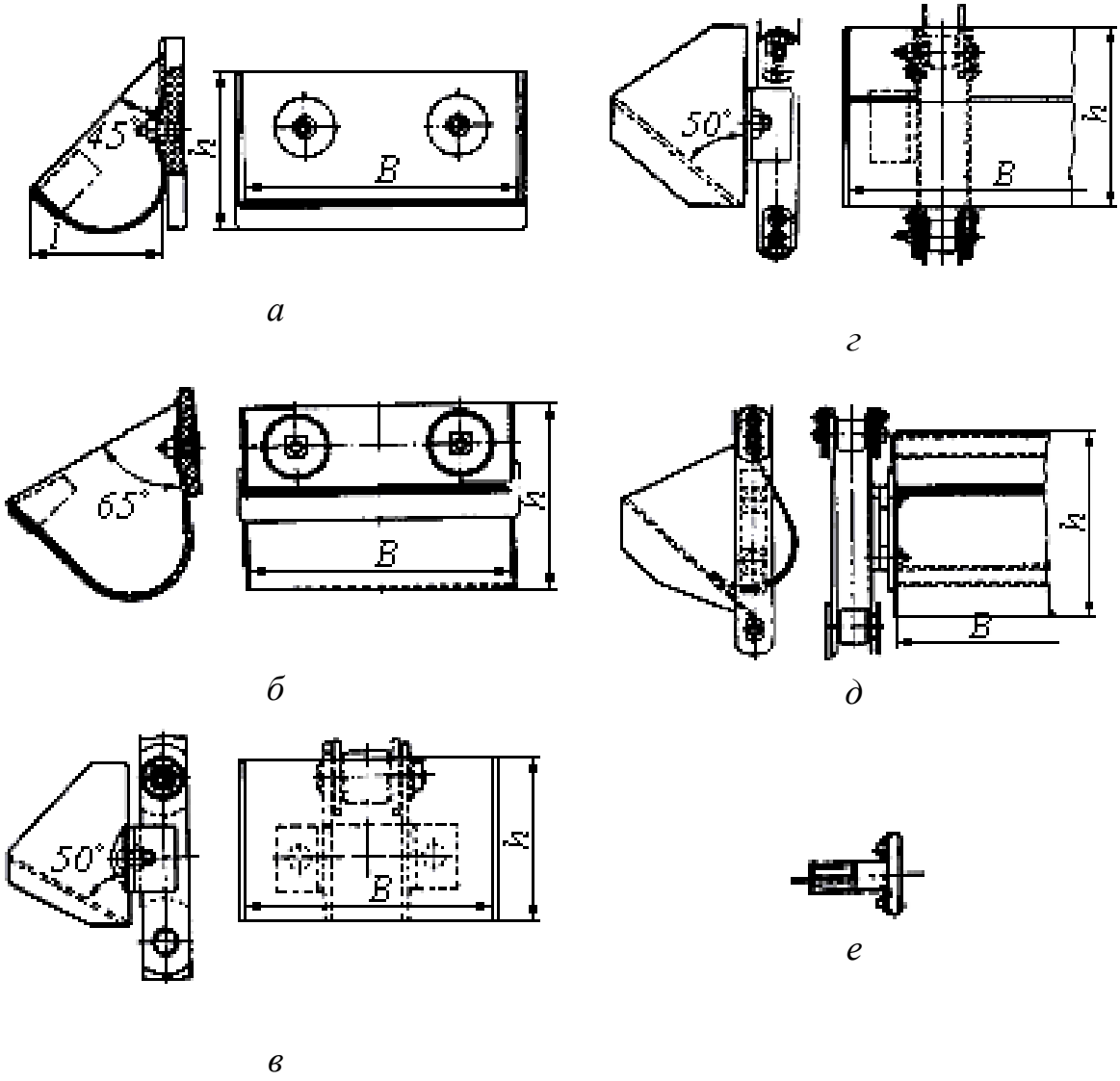


Рис. 9.20. Схеми ковшів

Мілкі півкруглі ковші (тип М) (рис. 9.20, *а*) використовують для вологих, поганосипких вантажів (порошкоподібна крейда, пісок та ін.); глибокі ковші (тип Г) – для добресипких дрібнокускових вантажів (пісок, глина суха, щебінка та ін.) (рис. 9.20, *б*); для гострогранних, середньо- та крупнокускових абразивних вантажів (гравій, руда) (рис. 9.20, *в, г*). Скруглені ковші (тип С) використовують для переміщення так само, але з великою продуктивністю (рис. 9.20, *д*). Подібні ковші кріплять краями до тягових ланцюгів.

Ковші завширшки до 250 мм кріплять до одного ланцюга посередині (див. рис. 9.20, *в*). За ширини $B \geq 250$ мм, ковші кріплять задньою стінкою або бічними сторонами до двох ланцюгів. До стрічки ковші задньою стінкою кріплять за допомогою спеціальних елеваторних болтів (див. рис. 9.20, *е*) з плоскою головкою (із зубцями), якою занурюються в стрічку. Кількість болтів визначають конструктивно, але беруть не менш як два. Ширину стрічки беруть на 40…50 мм більшу за ширину ковшів.

Привід елеватора – редукторний (рис. 9.21), розміщений у верхній частині елеватора. Він складається з електродвигуна *1* типу 4А, муфти пружної втулково-пальцевої *2*, редуктора *3*, муфти зубчастої або кулачково-дискової *4*, барабана (зірочок) 5.

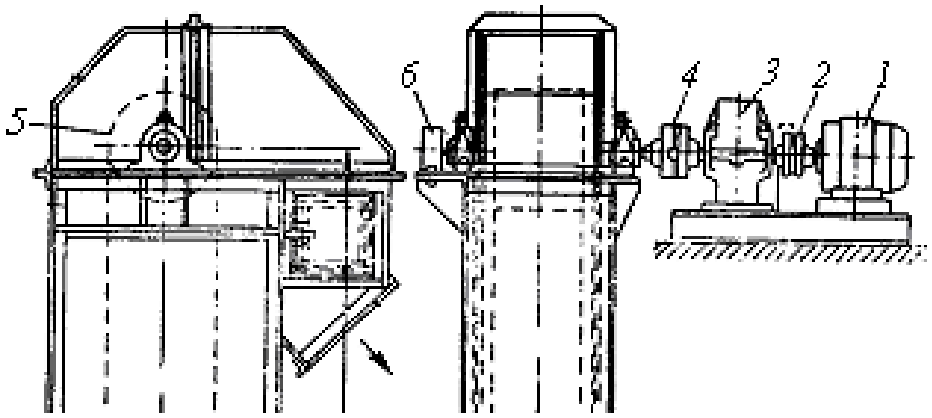


Рис. 9.21. Привід елеватора

Для запобігання зворотньому руху тягового елемента з ковшами під час зупинки елеватора привід обладнують храповим або роликовим зупинником 6. В елеваторів важкого типу в ролі зупинника використовують електромагнітне колодкове гальмо.

Привід встановлюють на окремій рамі з кріпленням на перекритті або на спеціальних балках.

Продуктивність ківшових елеваторів визначають за формулою, м^3/год.

$$П = 0{,}06 q k_{н} \rho n, \qquad (9.4)$$

де q – місткість одного ковша, л; $k_{н}$ – коефіцієнт наповнення ковша ($k_{н}$ = 0,5...0,9, менші значення – для великошматкових матеріалів); ρ – щільність матеріалу, т/м^3; $n = 60v / T$ – кількість розвантажень за хвилину; v - швидкість руху ковшів, м/с; T – крок установлення ковшів, м.

Підвісні конвеєри

Такі конвеєри використовують на підприємствах для переміщення заготовок виробів, комплектувальних деталей та інших матеріалів в технологічному ланцюгу виробництва, в процесі складання, а також для подавання їх на комплектування. Залежно від призначення конвеєра визначають схему траси, її просторове орієнтування і вертикальний профіль.

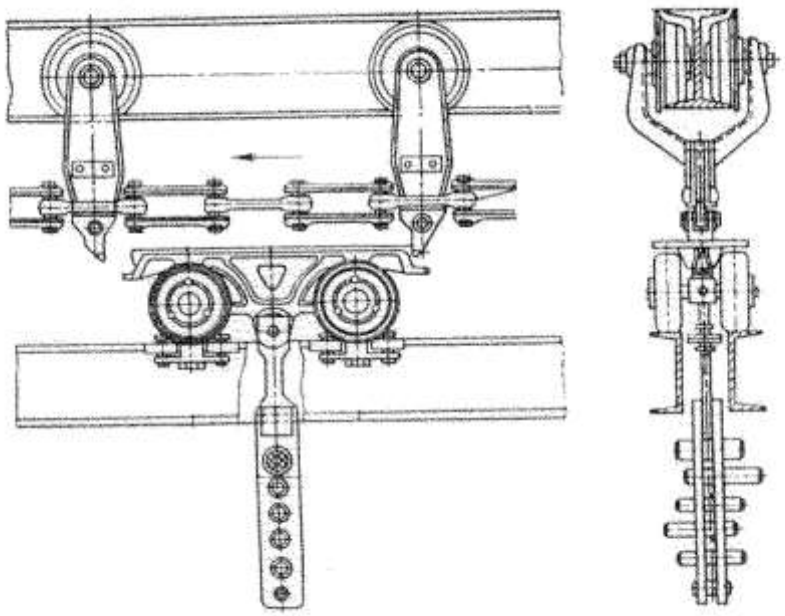
Основою конвеєра є підвісний монорейковий шлях (двотаврова балка, швелерна коробка, складний зварний профіль тощо) прикріплений до перекриття або до стін будівлі. По підвісному шляху рухаються ходові візки, з'єднані замкнутим контуром, що утворений тяговим органом – ланцюгом. До ланцюга з відповідним кроком прикріплено вантажні платформи, каретки чи захоплювачі, що утримують вантаж або виріб. Руху ланцюговому контуру надає привідна станція, а натягу – натяжні пристрої. Як опорні ходові пристрої використовують дво- або чотирикоткові візки. На вантажні платформи вантаж укладають вручну чи автоматично.

Залежно від технологічного призначення підвісні конвеєри виконують за двома схемами: з вантажонесними пристроями, які відмикаються від траси, та вантажонесними пристроями, що безперервно переміщуються по ній. До тих, в яких вантажонесні пристрої за потреби відмикаються, належать вантажопровідні рис. 9.22, *а*) та вантажотягові (рис. 9.22, *б*) підвісні конвеєри. Конвеєри у яких вантажонесні пристрої безперервно рухаються по трасі дістали назву вантажонесні (рис. 9.22, *в*).

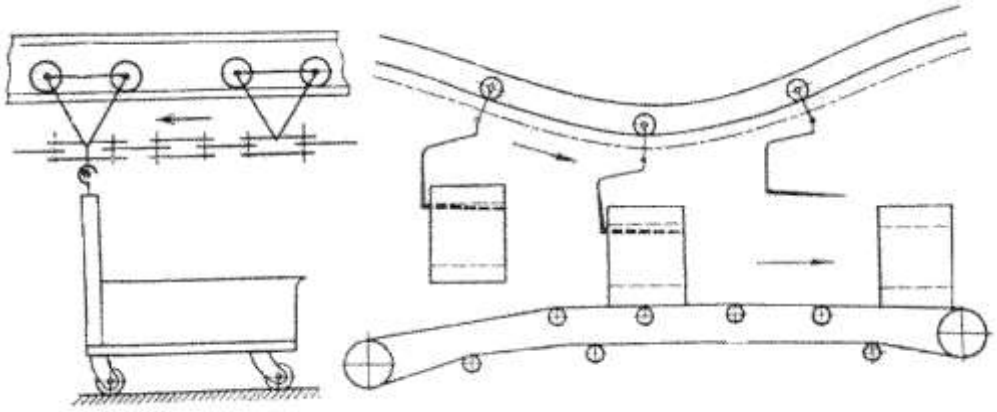
Продуктивність підвісних конвеєрів (шт./с) залежить від швидкості переміщення вантажонесні пристроїв і кроку між ними:

$$П = \frac{\upsilon z_1 \varphi}{t_{\text{пр}}},$$

де z_1 – кількість вантажів, що розміщені на одному вантажонесному пристрої (платформі, каретці, візку); υ – швидкість ланцюга, м/с; $t_{\text{пр}}$ – крок підвісок вантажонесних пристроїв (повинен бути кратним подвійному кроку ланцюга), м; φ – коефіцієнт використання загальної кількості вантажонесних пристроїв.



а



б *в*

Рис.9.22. Схеми підвісних конвеєрів:
а – вантажоведучого; *б* – вантажотягового; *в* – вантажонесного

Швидкість ланцюга конвеєра залежить від технологічних задач, вона може становити від 0,05 до 0,5 м/сек.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Наведіть види механічних транспортувальних машин з гнучкими тяговими органами.
2. Які види стрічок застосовують у стрічкових конвеєрах?
3. Як поділяються стрічкові конвеєри за ступенем рухомості?

4. Охарактеризуйте застосування пластинчастих конвеєрів.
5. У чому особливість застосування скребкових конвеєрів? Наведіть види і матеріал, з якого виготовляють скребки.
6. Наведіть типи елеваторів за тяговим та вантажонесним органом.
7. Як поділяють елеватори за способами навантаження і розвантаження?
8. Де застосовують підвісні конвеєри? Наведіть їх види.

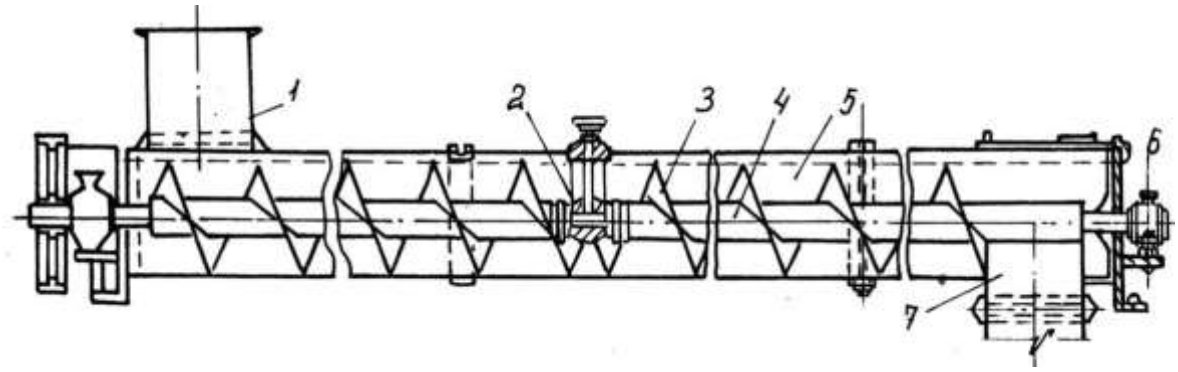
Лекція 10. Особливості конструкцій та розрахунку транспортувальних машин без гнучкого тягового органа

10.1. Гвинтові, коливальні, роликові конвеєри та гравітаційні пристрої

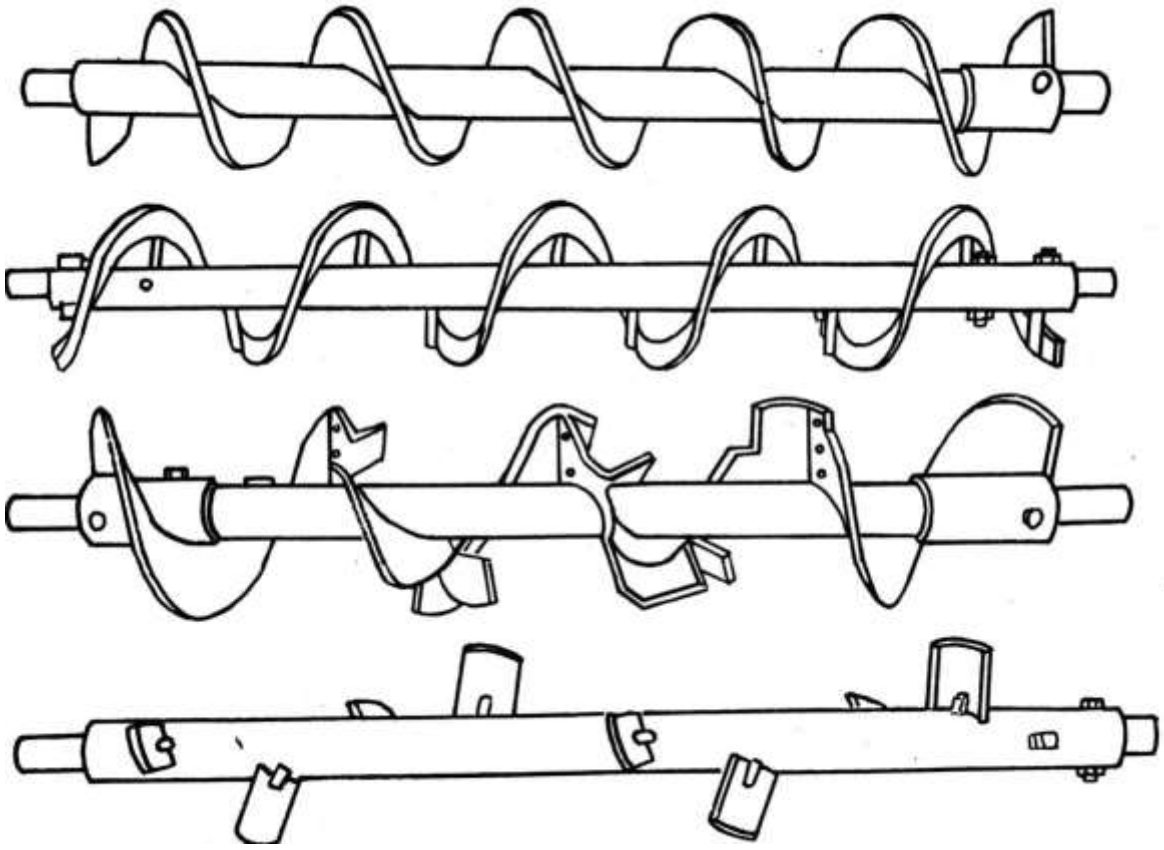
Гвинтові конвеєри

Гвинтові конвеєри переміщають сипкі і в'язкі матеріали в горизонтальному, похилому і вертикальному напрямках. Роль транспортувального органа відіграє архімедів гвинт (шнек), гвинтова поверхня якого переміщає матеріал, обмежений нею і стінками нерухомого жолоба (рис. 10.1).

Гвинтові конвеєри, які іноді називають шнековими, зазвичай застосовують для транспортування сипких та дрібношматкових матеріалів - цементу, гравію, піску, шлаку та ін., а також в'язких і тістоподібних матеріалів на відстань до 30 ... 40 м. У гвинтових конвеєрах переміщення вантажу здійснюється за допомогою гвинта, який, обертаючись, забезпечує поступальний рух вантажу, що контактує з його боковою поверхнею. Гвинт може бути занурений частково чи повністю в жолоб для переміщення насипних матеріалів або в штучний вантаж, укладений на зовнішніх твірних гвинтів, і послідовно переміщуватися. У всіх випадках утворюється гвинтова пара, у якій роль гайки виконує вантаж.



а



б

Рис. 10.1. Гвинтовий конвеєр:
а – схема конвеєра; *б* – конструкції гвинтів: суцільного; фасонного, стрічкового, лопатевого

Гвинтові конвеєри можуть бути закритого (горизонтальні, похилі і вертикальні) та відкритого типу.

Гвинтовий конвеєр (рис. 10.1, *а*) складається з жолоба *5*, привідного вала *4* з закріпленим на ньому транспортувальним гвинтом *3*, проміжних підшипників *2*, упорного підшипника *6*, завантажувальної воронки *1*, розвантажувального люка *7* із засувками та привода.

Матеріал, що переміщується гвинтом в закритому конвеєрі, утримується від обертання силами тертя по дну та стінках жолоба, він є ніби гайкою, що отримує поступальний рух по гвинту під час його обертання в нерухомих опорах. Отже, для переміщення матеріалу в такому гвинтовому конвеєрі потрібно, щоби сила зчеплення матеріалу з гвинтом була меншою за силу тертя матеріалу по стінках і дну жолоба. У вертикальних конвеєрах для захоплення матеріалу потрібен постійний підпір матеріалу від зовнішнього живильника.

До позитивних властивостей гвинтових конвеєрів належить простота конструкції, невеликі розміри у перерізі, зручність проміжного розвантаження та можливість повної герметизації. Однак значне тертя матеріалу по гвинту і жолобу призводить до сильного спрацювання конвеєра, а також до значних витрат енергії на переміщення вантажу.

У гвинтових конвеєрах форма гвинта залежить від типу транспортованого матеріалу (див. рис. 10.1, *б*). Сипкі матеріали (цемент, крейда, сухий пісок) транспортують суцільним гвинтом. Дрібнокускові матеріали (гравій, шлак) переміщують стрічковим гвинтом. Середньокускові матеріали (крупний гравій, вапняк, шлак негранульований), тістоподібні матеріали (мокра глина, будівельні розчини) транспортують лопатевим або фасонним гвинтом.

За відповідного конструктивного рішення гвинтові конвеєри можуть бути не тільки транспортувальними машинами, а ще й технологічними, тобто живильниками, затворами, змішувачами, ущільнювачами тощо. У гвинтових ущільнювачах крок гвинта змінний зі зменшенням в бік переміщення матеріалу, що сприяє його ущільненню.

Гвинтові конвеєри розрізняються:

а) за кількістю спіралей гвинта – з одноходовим і з багатоходовим гвинтом (дво- та тризахідні); за багатоходового гвинта переміщення матеріалу відбувається більш інтенсивно, а продуктивність є вищою;

б) за конструкцією гвинта – із суцільним гвинтом, зі стрічковим гвинтом, з фасонним гвинтом і з лопатевим гвинтом.

Продуктивність гвинтового конвеєра визначається за формулами:

об’ємна ($м^3/с$)

– горизонтального

$$П_{г.об} = \frac{1}{60}\frac{\pi\left(D_з^2 - D_в^2\right)}{4}sn\psi = \frac{1}{240}\pi\left(D_з^2 - D_в^2\right)sn\psi;$$

масова (кг/с)

– горизонтального

$$П_{г.м} = П_{г.об}\rho_м;$$

– похилого

$$П_{п.м} = П_{г.м}C;$$

– вертикального

$$П_{в.м} = 0{,}5П_{г.м},$$

де $D_з$ – зовнішній діаметр гвинта (добирають залежно від розмірів фракцій і фізико-механічних властивостей матеріалу; ряд діаметрів стандартизовано), м; $D_в$ – внутрішній діаметр гвинта, м; s – крок гвинта (залежить від властивостей матеріалу і його гранулометричних даних – $s = (0{,}8 \div 1)D_з$), м; $n \le \frac{A}{\sqrt{D_з}}$ – кількість обертів гвинта (залежить від виду транспортувального матеріалу: для легких та малоабразивних – крейда, вугільний пил, торф, азбест, сода – A = 50; для важких та малоабразивних – вугілля, суха глина і т. п. – A = 45; для важких та абразивних – цемент, зола, пісок, глина волога, здрібнена руда, шлак – A = 30), хв.$^{-1}$; ψ – коефіцієнт заповнення жолоба (залежить від виду транспортувального матеріалу: для легких та малоабразивних – крейда, вугільний пил, торф, азбест, сода – ψ = 0,32; для важких та малоабразивних – вугілля, суха глина і т.п. – ψ = 0,25; для важких та абразивних – цемент, зола, пісок, глина волога, здрібнена руда, шлак – ψ = 0,125); C – коефіцієнт зменшення продуктивності похилого конвеєра (за $\alpha \ge 5^0$ – C = 0,9; $\alpha \ge 10^0$ – C = 0,8; $\alpha \ge 25^0$ – C = 0,7; $\alpha \ge 30^0$ – C = 0,65).

Відомо, що осьове зусилля $F_{\text{ос}}$ (Н), створюване гвинтом під час переміщення матеріалу в горизонтальному напрямку, визначатиметься залежністю

$$F_{\text{ос}} = \frac{F_{\text{к}}}{tg(\varphi + f)} = \frac{30N}{\pi n r},$$

де $F_{\text{к}}$ – максимальне колове зусилля на радіусі гвинта $r = (0{,}7 \div 0{,}8)\frac{D_{\text{з}}}{2}$, Н; φ – кут підйому гвинтової лінії гвинта на радіусі r, град.; f – кут тертя матеріалу по поверхні гвинта, град.; N – потужність, потрібна для переміщення матеріалу горизонтальним конвеєром, Вт.

Потужність у гвинтових конвеєрах витрачається на подолання тертя матеріалу по жолобу та гвинту, внутрішнього тертя у масиві ґрунту, опору від переміщення гвинтом матеріалу, тертя в кінцевих та підвісних підшипниках (у похилих конвеєрах потужність також витрачається на підіймання матеріалу).

Додаткові витрати потужності відображає узагальнений коефіцієнт опору руху матеріалу по жолобу ω, який залежить від виду транспортувального матеріалу: для легких та малоабразивних (крейда, вугільний пил, торф, азбест, сода) – ω = 1,6; для важких та малоабразивних (вугілля, суха глина і т. п.) – ω = 2,5; для важких та абразивних (цемент, зола, пісок, глина волога, подрібнена руда, шлак) – ω = 4,0.

Потужність двигуна (Вт) привода конвеєра, потрібна для переміщення матеріалу, визначиться залежностями:

– для горизонтального конвеєра

$$N = \frac{П_{\text{г.м}} L_{\text{г}} \omega g}{\eta_1 \eta_2};$$

– для похилого конвеєра

$$N_{\text{п}} = \frac{П_{\text{п.м}} L_{\text{г}} \omega g}{\eta_1 \eta_2} + \frac{П_{\text{п.м}} H g}{\eta_1 \eta_2} = \frac{П_{\text{п.м}} g}{\eta_1 \eta_2} \left(L_{\text{г}} \varpi + H \right);$$

– вертикального

$$N_{\text{в}} = \frac{П_{\text{в.м}} H g}{\eta_1 \eta_2},$$

де $L_{\text{г}}$ – довжина горизонтального конвеєра чи довжина горизонтальної проекції похилого конвеєра, м; H – висота підйому вертикального конвеєра чи вертикальна проекція похилого конвеєра, м; g – прискорення вільного падіння, м/с^2; η_1 – коефіцієнт корисної дії кінцевих і проміжних підшипників гвинта конвеєра; η_2 – коефіцієнт корисної дії передавання від вала двигуна до гвинта.

Коливальні (вібраційні) конвеєри

Коливальні конвеєри застосовують для транспортування насипних, а іноді штучних вантажів в горизонтальному та похилому (до 15^0) напрямках за досить незначної відстані переміщення (до 50 м, рідко – до 100 м) з продуктивністю до 0,11 м^3/с.

Найбільш оптимальна сфера застосування – герметичне транспортування пилоподібних, отруйних, хімічно агресивних вантажів у виробництві будівельних матеріалів, на підприємствах хімічної та металургійної промисловості.

Коливальні конвеєри являють собою відкритий або закритий герметичний жолоб, підвішений до опорної конструкції чи встановлений на неї. Жолобу через збурювач коливань надається зворотно-поступального (коливального) руху, в результаті якого вантаж, що знаходиться всередині жолоба, здійснює послідовно короткі переміщення вперед з відповідною швидкістю. Характер переміщення матеріалу залежить від режиму руху жолоба, який визначається конструкцією і характеристикою роботи привода та типом зв`язків жолоба з опорною поверхнею.

Коливальні конвеєри працюють з електромагнітним збурювачем або механічним приводом у вигляді ексцентрикового або кривошипно-шатунного механізму.

Коливальний конвеєр з електромагнітним віброзбурювачем (рис. 10.2, *а*) складається з вантажонесного органа – труби *2*, підвішеної на пружних тягах *1*. Труба здійснює направлені коливання по осі *X–X*, викликані електромагнітним збурювачем *4* на підвісці *3*. Такі коливання під кутом α до осі труби надають руху частинкам матеріалу вперед по транспортувальному органу. Вантажонесний орган у разі великої довжини поділяють на ділянки, кожна з яких має свій збурювач.

Електромагнітний збурювач складається з корпусу, жорстко з'єднаного з вантажонесним органом, та осердя з котушками *5* (рис. 10.2, *а*). Між корпусом та осердям розміщено пружини. Добираючи жорсткість пружин, можна досягти збігу частот власних коливань вантажонесного органа та вимушених коливань, тобто працювати у резонансному режимі.

За механічного приводу коливання передаються жолобу за допомогою кривошипа або ексцентрика.

На рис. 10.2, *б* показано схему конвеєра, який складається з двох жолобів *1*, з'єднаних пружинами *2*. Ексцентриковий привід *3* надає цим жолобам коливання у протилежних напрямках, тобто назустріч один одному. Внаслідок цього сили інерції коливних мас врівноважуються й основа *4* вивільняється від вібраційних навантажень.

Переваги коливальних конвеєрів: відносна простота конструкції; можливість повної герметизації під час транспортування вантажів; незначні витрати енергії за сталого руху.

Недоліки коливальних конвеєрів: значне зменшення продуктивності під час транспортування вантажів під ухил; неможливість переміщення липких вантажів; передавання динамічних навантажень на опорні конструкції; нетривалий термін служби пружних елементів.

Коливальні конвеєри за режимом руху жолоба і вантажу поділяються на інерційні та вібраційні. На інерційному конвеєрі вантаж ковзає по жолобу під дією сили інерції (вертикальна складова прискорення жолоба є меншою за прискорення вільного падіння); на вібраційному конвеєрі вантаж відривається від жолоба (контакт жолоба та вантажу – дискретний) і рухається стрибкоподібно (вертикальна

складова прискорення жолоба більша за прискорення вільного падіння). Ця принципова різниця в русі вантажу зумовлює різницю в характері зношення стінок жолоба конвеєра та участі маси вантажу в коливальному русі.

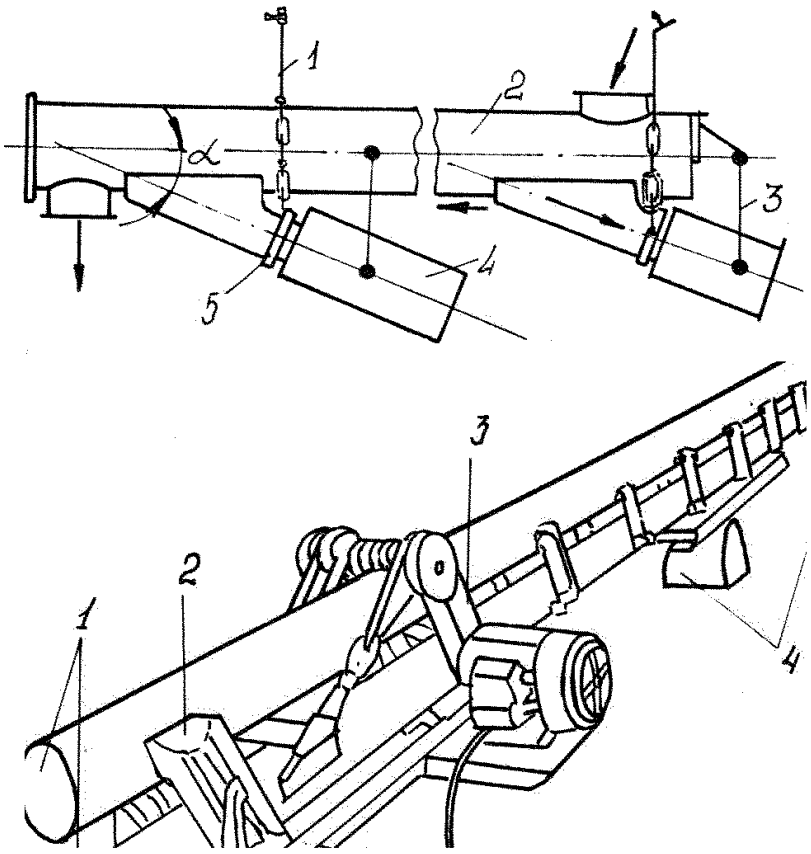


Рис. 10.2. Схеми коливальних конвеєрів:
а – з електромагнітним збудником; *б* – з ексцентриковим приводом

Якщо похилий до горизонту під кутом α площині буде наданий від зовнішнього джерела енергії коливальний рух з прискоренням j, спрямованим під кутом β (рис. 10.3), то частинка вантажу, яка контактує з площиною, буде переміщуватись вздовж неї. Нормальний тиск N частинки вантажу на площину (тобто на дно жолоба) складається з нормальних складових сили тяжіння частинки і сили інерції:

$$N = mg\cos\alpha + mj_Y,$$

де m – маса частинки вантажу; g – прискорення вільного падіння; j_Y – складова прискорення j по осі *Y-Y*.

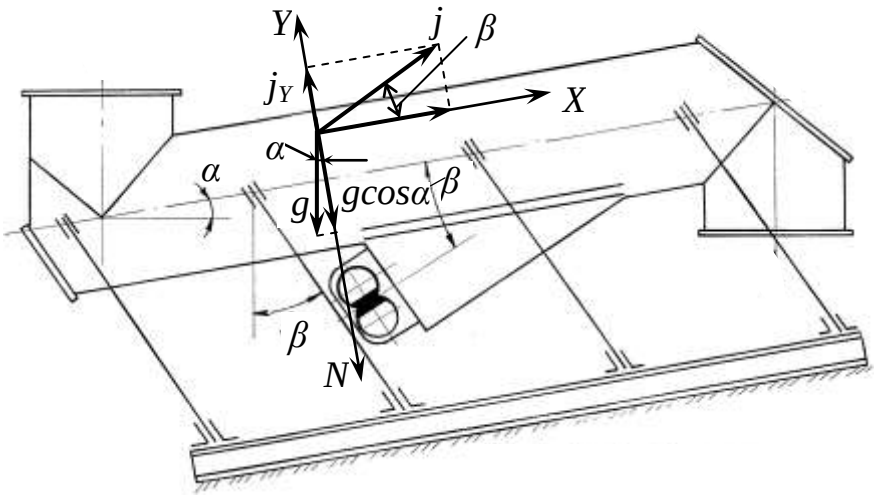


Рис. 10.3. Схема коливального конвеєра

Осі координат *X-X* та *Y-Y* розмістимо паралельно і перпендикулярно площині, а їх центр помістимо у центрі тяжіння частинки вантажу. Тоді складова прискорення площини по осі *Y-Y* становитиме

$$j_Y = -j\sin\beta = -a\omega^2\sin\varphi\sin\beta,$$

а сила тиску вантажу на площину дорівнюватиме

$$N = m\left(g\cos\alpha - a\omega^2\sin\varphi\sin\beta\right),$$

де a – амплітуда коливань площини; ω – частота збурювача коливань; $\varphi = \omega t$ – фазовий кут коливань (тут t – час). Рекомендовані значення a і ω для віброконвеєрів наведено у табл. 10.1.

Співвідношення між величинами правої частини останнього рівняння, що знаходяться в дужках, характеризує напрям сили тиску вантажу на площину: за $g\cos\alpha > a\omega^2\sin\varphi\sin\beta$ вона спрямована донизу і вантаж постійно контактує з днищем жолоба; якщо $g\cos\alpha < a\omega^2\sin\varphi\sin\beta$, сила тиску спрямована вгору і вантаж прагне відірватись від площини. Кут φ змінюється від 0 до 360^0, і $\sin\varphi$ набуває максимального значення за $\varphi = \pi/2 = 90^0$.

Таблиця 10.1

Рекомендовані значення a і ω вібраційних конвеєрів

Тип приводу	ω, 1/с	a (м) для вантажів	
		пилоподібні, порошкоподібні	кускові
Електромагнітний	50	0,0012 - 0,002	0,00075 - 0,001
Відцентровий одинарний	47 - 25	0,0012 - 0,003	0,0008 - 0,0025
Відцентровий здвоєний	25 - 17	0,002 - 0,004	0,002 - 0,004
Ексцентриковий	13 – 7,5	0,005 - 0,015	0,004 - 0,008

Відношення максимальної нормальної складової прискорення жолоба $j_{Y\max} = a\omega^2 \sin(\pi/2)\sin\beta = a\omega^2 \sin\beta$ до складової прискорення сили тяжіння вантажу $g\cos\alpha$ називають коефіцієнтом Γ режиму роботи коливального конвеєра:

$$\Gamma = \frac{a\omega^2 \sin\beta}{g\cos\alpha}.$$

Для горизонтального конвеєра ($\cos\alpha = \cos 0^0 = 1$) коефіцієнт режиму

$$\Gamma_{\text{г}} = \frac{a\omega^2 \sin\beta}{g}.$$

Коефіцієнт Γ характеризує динамічний режим роботи коливального конвеєра (динамічні навантаження на привід та інші елементи конвеєра) і характер руху вантажу: за $\Gamma < 1$ вантаж розміщено на площині, що коливається, і переміщується не відриваючись від неї (режим інерційних конвеєрів); якщо $\Gamma > 1$, вантаж відривається від жолоба та переміщується здебільшого мікрострибками (режим вібраційних конвеєрів); якщо $\Gamma = 1$, йдеться про граничні умови. Рекомендовані значення коефіцієнта режиму роботи Γ віброконвейєрів наведено в табл. 10.2.

Таблиця 10.2

Рекомендовані значення коефіцієнта режиму роботи віброконвеєрів

Конструкція конвеєрів	Тип вібраційного приводу	Коефіцієнт Γ для транспортування вантажів	
		пилоподібні, порошкоподібні	кускові
Однотрубні (одножолобні) за П ≤ 15 кг/с	Відцентровий Електромагнітний	3,0 - 3,3	2,8 - 3,0
Однотрубні (одножолобні) за П > 15 кг/с	Відцентровий Електромагнітний	2,0 - 2,5	1,8 - 2,3
Двотрубні, або однотрубні за П ≤ 15 кг/с та L ≤ 30 м	Ексцентриковий	1,6 - 2,8	1,5 - 2,5
Двотрубні, або однотрубні за П > 15 кг/с та L > 30 м	Ексцентриковий	1,3 - 2,5	1,2 - 2,0

Швидкість транспортування υ (м/с) залежить від властивостей транспортувальних вантажів та кута нахилу конвеєра:

$$\upsilon \approx \left(\kappa_1 \mp \kappa_2 \sin\alpha\right) a\omega \cos\beta \sqrt{1 - \frac{1}{\Gamma^2}},$$

де κ_1, κ_2 – емпіричні коефіцієнти, що залежать від фізико-механічних властивостей транспортувального вантажу (табл. 10.3).

Кут напрямку коливань β беруть залежно від частоти коливань ω: якщо $\omega \geq 17$ с$^{-1}$, то $\beta = 20 \div 25^0$; якщо $\omega < 17$ с$^{-1}$, то $\beta = 30 \div 35^o$.

Знак «мінус» в дужках беруть для конвеєрів, які працюють на підіймання, а знак «плюс» – для конвеєрів, що працюють на спускання вантажу.

Продуктивність $П_м$ (кг/с) коливальних конвеєрів обчислюється відомою залежністю

$$П_м = S\upsilon\rho_м k_з,$$

де S – площа перерізу вантажонесного органа (жолоба), м^2; $\gamma_м$ – щільність вантажу, т/м^3; $k_з$ – коефіцієнт наповнення (для відкритих жолобів – $k_з$ = 0,6÷0,9; прямокутних труб – $k_з$ = 0,6÷0,8; круглих труб – $k_з$ = 0,5÷0,6).

Таблиця 10.3

Середні узагальнювальні значення дослідних коефіцієнтів κ_1 і κ_2

Транспортувальний матеріал	Розміри характерних частинок, мм	Вологість, %	κ_1	κ_2
Кусковий	5,0 - 200,0	-	0,9 - 1,1	1,5 - 2,0
Порошкоподібний	0,1 - 0,5	0,5 - 5	0,4 - 0,5	1,8 - 3,0
Зернистий	0,5 - 5,0	0,5 - 10	0,8 - 1,0	1,6 - 2,5
Пилоподібний	Менш ніж 0,1	0,5 - 5	0,2 - 0,5	2,0 - 5,0

Потужність N (Вт) привідного електродвигуна конвеєра з підвищеним пусковим моментом визначають за емпіричними формулами, запропонованими В. К. Дьячковим:

для коротких конвеєрів довжиною $L \le 10$ м

$$N \approx \frac{C_{\text{тр}} П_{\text{м}}}{\eta}\left(\kappa_3 L + \frac{H}{0{,}36}\right);$$

для конвеєрів завдовжки $L > 10$ м

$$N \approx \frac{C_{\text{тр}} П_{\text{м}}}{\eta}\left[10\kappa_3 + (L-10)\kappa_4 + \frac{H}{0{,}36}\right],$$

де $C_{\text{тр}}$ – коефіцієнт транспортабельності вантажу (для кускових вантажів – $C_{\text{тр}} = 1$; для пилопібних та порошкоподібних – $C_{\text{тр}} = 1{,}5 \div 2$); κ_3, κ_4 – коефіцієнти питомої витрати потужності, що залежать від конструкції конвеєра та типу привода (табл. 10.4); L – горизонтальна проекція довжини транспортування матеріалу, м; H – висота підіймання вантажу, м; η – загальний коефіцієнт корисної дії механізмів приводу ($\eta = 0{,}8 \div 0{,}9$).

Таблиця 10.4

Середні значення коефіцієнтів κ_3 і κ_4

Вібраційний конвеєр	Продуктивність конвеєра, кг/с	κ_3	κ_4
Підвісний одномасний з відцентровим приводом	1,5 - 15 понад 15	6 - 7 5 - 5,5	
Опорний з напрямними похилими ресорами і відцентровим приводом	1,5 - 15 понад 15	7 - 10 5 - 6	5 - 6 3,5 - 4
Опорний, двомасний, врівноважений з ексцентриковим приводом	 1,5 - 15 1,5 - 15 понад 15	з жорсткими 10 - 12 з пружними 4,5 - 5 4 - 5	шатунами 8 - 10 шатунами 3,5 - 4 3 - 3,5

Роликові конвеєри

Основною частиною роликових конвеєрів (рольгангів) є ролики, найчастіше виготовлені зі сталевих труб, змонтованих на рамі у підшипниках кочення. На роликах переміщуються штучні вантажі, наприклад, залізобетонні вироби.

За способом дії роликові конвеєри можуть бути непривідними (рис. 10.4) та привідними. На перших вантажі переміщуються під дією мускульної енергії робітника, який надає вантажу імпульсу (у горизонтальних конвеєрах), чи під дією складової сили тяжіння вантажу (у гравітаційних пристроях), коли роликові секції встановлюють в транспортувальному напрямку під незначним ухилом – 3...5°.

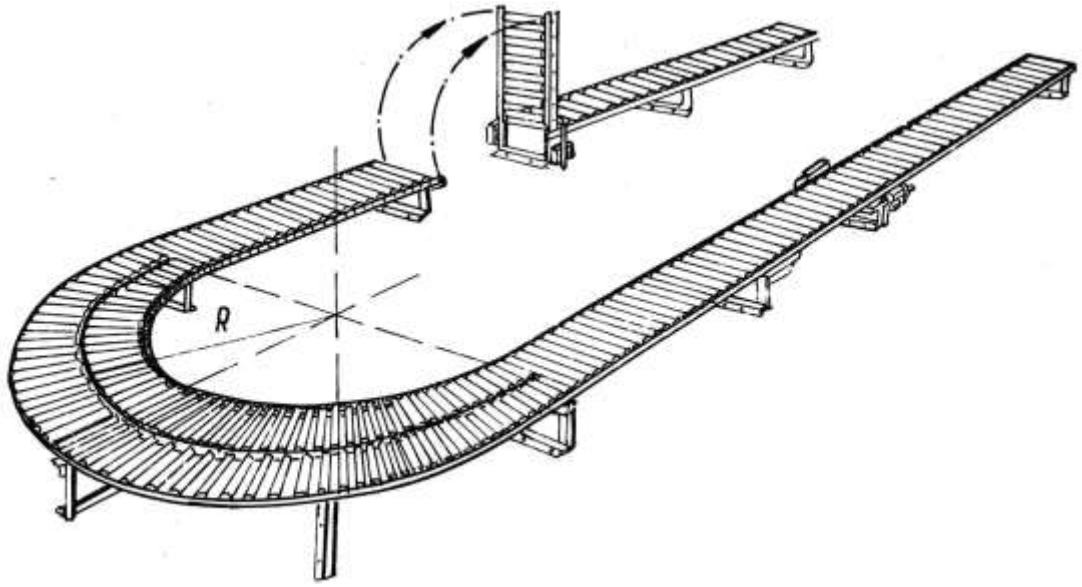


Рис. 10.4 Схема неприводного роликового конвеєра

На других ролики приводяться до обертання через привід і тертям надають руху вантажам (рис. 10.5).

Повний опір руху F, Н, вантажу вагою G по горизонтальному непривідному роликовому конвеєру має такі складові:

1) опір руху вантажу по роликах

$$F_1 = G\left(\frac{2r}{D} + f\frac{d_{\text{ц}}}{D}\right),$$

де r – плече тертя кочення вантажу по роликах, м; D – діаметр ролика, м; $d_{\text{ц}}$ – діаметр цапфи осі ролика; f – коефіцієнт тертя у цапфі;

2) опір внаслідок тертя у цапфах роликів під час їх обертання:

$$F_2 = G_{\text{р}} z f \frac{d_{\text{ц}}}{D},$$

де $G_{\text{р}}$ – вага одного ролика, Н; z – кількість роликів, на яких лежить вантаж;

3) опір, що виникає внаслідок ковзання вантажу по роликах та від інерції маси внаслідок набігання вантажу на нерухомі ролики:

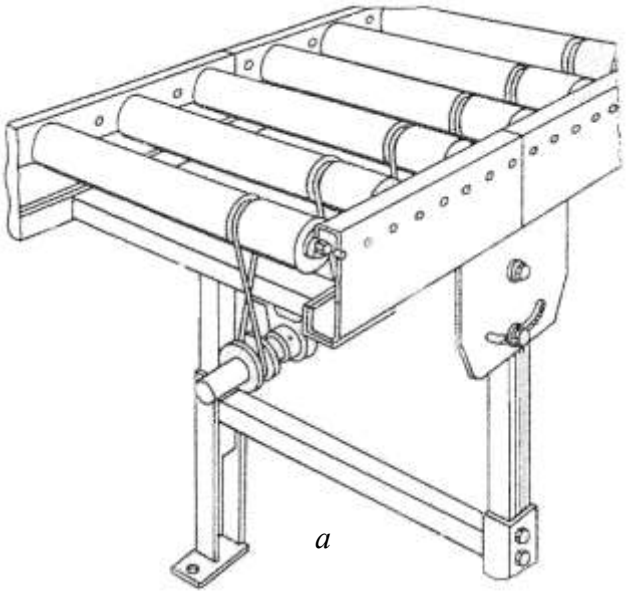
$$F_3 = K m_{\text{р}} \frac{\upsilon^2}{a_{\text{р}}},$$

де K – коефіцієнт, який відображає конструкцію ролика ($K \approx 0{,}8...0{,}9$); $m_{\text{р}}$ – маса частини ролика, що обертається, кг; υ – швидкість ролика під дією вантажу, м/с; $a_{\text{р}}$ – відстань між роликами на конвеєрі, м.

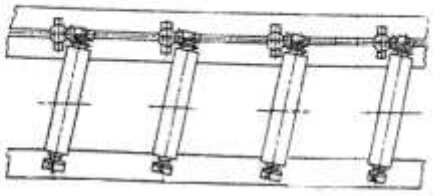
Сила, яку має прикласти робітник для переміщення вантажу, повинна бути більшою за суму названих величин опору.

У привідних конвеєрах ролики приводяться до обертання від індивідуального електродвигуна під час транспортування важких вантажів, а в разі транспортуванні невеликих габаритів – клинопасовим приводом (рис. 10.5, *а*), від загального вала з зубчастими конічними передачами (рис. 10.5, *б*), ланцюговою чи канатною тягами.

Ролики виготовляють циліндричними, конічними і циліндроконічними, гладкими, з рифленнями, литими зі спіраллю і з наварною спіраллю. Останні два види можуть бути виготовлені з однобічною спіраллю – для скидання вантажу в один бік, чи з двобічною – для скидання в різні від напрямку руху вантажу боки. Для скидання матеріалу вбік застосовують також гладкі ролики, встановлені під кутом до поперечної осі конвеєра.



а



б

Рис. 10.5. Приводи роликових конвеєрів:
а – клинопасовий; *б* – з зубчастими передачами

Якщо конвеєр установлено горизонтально, повна сила опору руху вантажів має дві складових:

1) опір руху вантажу по роликах

$$F_1^{\text{п}} = Gn\left(\frac{2r}{D} + f\frac{d_{\text{ц}}}{D}\right),$$

де n – кількість вантажів; G – вага кожного з вантажів, кН;

2) опір тертю у цапфах роликів під час їх обертання:

$$F_2^{\text{п}} = G_{\text{р}} z' f \frac{d_{\text{ц}}}{D},$$

де z' – кількість роликів на конвеєрі, оскільки ролики обертаються всі незалежно від того, є на них вантаж чи ні;

Потужність двигуна привідного горизонтального конвеєра, кВт:

$$N = \frac{\left(F_1^{\text{п}} + F_2^{\text{п}}\right)\upsilon}{\eta},$$

де υ – швидкість руху вантажу, м/с, η – коефіцієнт корисної дії механізму.

У цій формулі не відображено витрат потужності на подолання опору, який виникає під час руху ланцюгів чи канатів по напрямних і під час огинання зірочок та блоків (для ланцюгового або канатного приводів роликів). Цей опір і додаткову, пов'язану з ним витрату потужності визначають за раніше викладеними методами.

Гравітаційні пристрої

Пристрої, у яких вантаж масою m переміщується вниз під дією власної сили тяжіння $mg\sin\alpha$ (рис. 10.6), називають гравітаційними. Розрізняють чотири види гравітаційних пристроїв: прості, роликові, візкові та гвинтові.

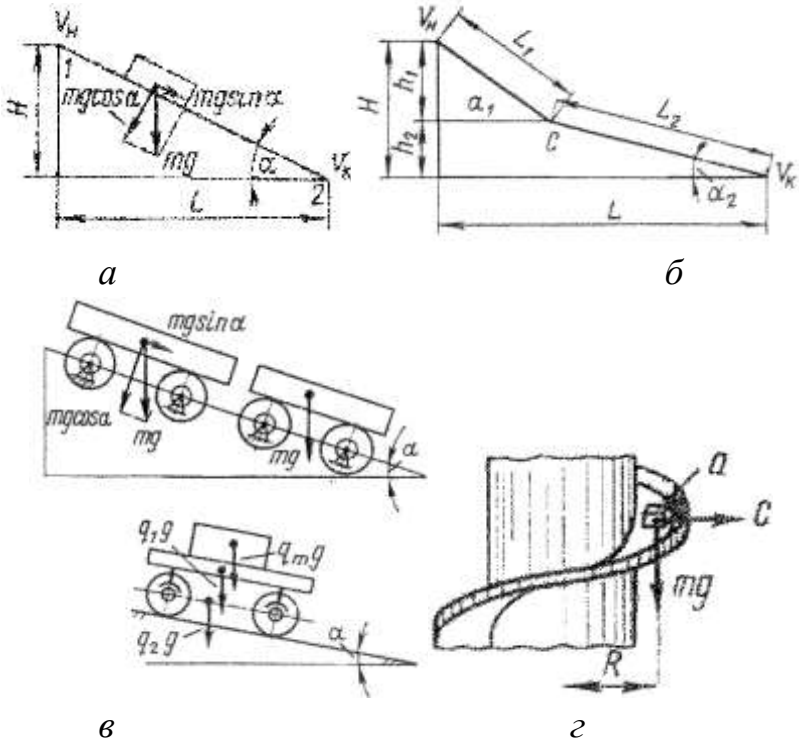


Рис. 10.6 Схеми гравітаційних пристроїв:

а – простого; *б* – простого з гальмівною ділянкою; *в* – роликового; *г* – гвинтового

Для всіх видів гравітаційних пристроїв можливість руху вантажу визначається нерівністю

$$mg\sin\alpha > F_{\text{заг}},$$

де $F_{\text{заг}}$ – загальний опір руху вантажу; α – кут нахилу траєкторії руху вантажу.

Прості гравітаційні пристрої виконують у вигляді прямої похилої площини (рис. 10.6, *а*) чи з гальмівною ділянкою внизу (рис. 10.6, *б*), у вигляді жолобів, труб, лотків різної форми та ін.

Для простого гравітаційного пристрою у вигляді похилої площини (рис. 10.6, *а*) можливість руху вантажу може бути представлена як

$$mg\sin\alpha > mgf\cos\alpha, \text{ або } \sin\alpha > f\cos\alpha.$$

Поділивши обидві частини на $\cos\alpha$, отримаємо $\operatorname{tg}\alpha > f$. Оскільки $f = tg\rho_{\text{м}}$ ($\rho_{\text{м}}$ – кут тертя вантажу по площині), то необхідною умовою руху вантажу буде $\alpha > \rho$. Під дією сили F, що дорівнює різниці $mg\sin\alpha - mgf\cos\alpha$, вантаж має рухатись рівноприскорено вниз. Зважаючи на те, що на довжині шляху $H/\sin\alpha$ цієї сили від точки *1* до точки *2* вся робота mgH під час руху витрачається на роботу сили тертя $mgf\cos\alpha$ та на приріст кінетичної енергії, рівняння роботи набуває вигляду

$$mgH = mgf\cos\alpha\frac{H}{\sin\alpha} + \frac{m\left(\upsilon_{\text{к}}^2 - \upsilon_{\text{п}}^2\right)}{2},$$

або

$$\frac{\upsilon_{\text{к}}^2 - \upsilon_{\text{п}}^2}{2} = Hg\left(1 - f\operatorname{ctg}\alpha\right),$$

де $\upsilon_{\text{п}}$ – початкова швидкість вантажу (у точці *1*); $\upsilon_{\text{к}}$ – кінцева швидкість вантажу (у точці *2*).

Отже,

$$\upsilon_к^2 = 2Hg(1 - f\mathrm{ctg}\alpha) + \upsilon_п^2;$$

за $\upsilon_п = 0$

$$\upsilon_к = \sqrt{2Hg(1 - f\mathrm{ctg}\alpha)}.$$

Якщо відома бажана швидкість $\upsilon_к$ в кінцевій точці *2* і висота похилої ділянки H задана, кут її нахилу визначимо так:

$$\mathrm{ctg}\alpha = \frac{1}{f}\left(1 - \frac{\upsilon_к^2}{2gH}\right).$$

Обчислений кут також зумовлює довжину (горизонтальну проекцію) встановлення $L = H/\mathrm{tg}\,\alpha$.

Для зменшення L кут α беруть більшим за кут тертя в русі – тому вантаж рухатиметься прискорено. Якщо внаслідок прискореного руху вантажу по ділянці кінцева швидкість буде більшою за допустиму, то, задаючись $\upsilon_к$ і висотою H, влаштовують додаткову гальмівну ділянку завдяки L_2 (рис. 10.6, *б*), яка забезпечує необхідну швидкість вантажу в кінцевій точці. Рівняння для цього випадку:

$$\frac{m(\upsilon_к^2 - \upsilon_п^2)}{2} = mgH - mgfL_1\cos\alpha_1 - mgfL_2\cos\alpha_2.$$

Та оскільки $L_1\cos\alpha_1 + L_2\cos\alpha_2 = L$, то

$$\upsilon_к^2 - \upsilon_п^2 = 2gH - 2gLf.$$

Отже,

$$L = \frac{2gH - \upsilon_к^2 + \upsilon_п^2}{2gf},$$

за $\upsilon_п = 0$

$$L = \frac{2gH - \upsilon_к^2}{2gf}.$$

Остання з наведених залежностей свідчить про те, що довжина горизонтальної проекції L за заданих $\upsilon_к$ і H залежить не від місця перегину площини (точка *С* на рис. 10.6, *б*), а від коефіцієнта тертя вантажу по площині. Місця перегину визначають залежно від того, як змінюється швидкість руху вантажу по площині.

Якщо точку С перегину опускати, то швидкість на верхній ділянці зростатиме, а швидкість на нижній ділянці зменшуватиметься. Задаючись кутом $\alpha_1 > \rho$ і h_1, отримаємо

$$\operatorname{ctg}\alpha_2 = \frac{L - h_1 \operatorname{ctg}\alpha_1}{h_2}.$$

Для того щоб нижня ділянка могла бути гальмівною, кут α_2 повинен бути меншим за ρ. Коефіцієнти тертя ковзання штучних вантажів дорівнює: для дерев'яних виробів по металевому настилу – 0,35...0,4; для металевих виробів по металу – 0,25...0,3.

Для зменшення висоти похилих ділянок їх виконують як роликові (рис. 10.6, *в*). Переміщення вантажу по горизонтальному непривідному роликовому конвеєру розглянуто раніше, тоді як наявність роликових похилих ділянок потребує коригування у визначенні параметрів. Зокрема, складові елементи загального опору руху вантажу mg по похилій роликовій ділянці:

1) опір руху від тертя кочення вантажу по роликах:

$$F_1 = mg\cos\alpha\left(\frac{2r}{D} + f\frac{d_ц}{D}\right),$$

де r – плече тертя кочення вантажу по роликах, м; D – діаметр ролика, м; $d_ц$ – діаметр цапфи осі ролика; f – коефіцієнт тертя у цапфі; g – коефіцієнт прискорення вільного падіння, м/с^2;

2) опір унаслідок тертя у цапфах роликів під час їх обертання:

$$F_2 = m_{\text{р}} gzf \frac{d_{\text{ц}}}{D},$$

де $m_{\text{р}}$ – маса одного ролика, кг; z – кількість роликів, на яких лежить вантаж;

3) опір, що виникає внаслідок ковзання вантажу по роликах та від інерції маси через набігання вантажу на нерухомі ролики залишається без змін, отже,

$$F_3 = Km_{\text{р}} \frac{\upsilon^2}{a_{\text{р}}},$$

де K – коефіцієнт, який відображає конструкцію ролика ($K \approx 0{,}8...0{,}9$); $m_{\text{р}}$ – маса частини ролика, що обертається, кг; υ – швидкість ролика під дією вантажу, м/с; $a_{\text{р}}$ – відстань між роликами на конвеєрі, м.

Розглянемо випадок безперервного подавання вантажу на ролики, тобто коли $F_3 = 0$. Для переміщення вантажу вниз за цих умов потрібно, щоби

$$mg\sin\alpha > mg\cos\alpha\left(\frac{2r}{D} + f\frac{d_{\text{ц}}}{D}\right) + m_{\text{р}} gzf\frac{d_{\text{ц}}}{D}.$$

Розділивши обидві частини нерівності на $mg\cos\alpha$, отримаємо необхідний кут нахилу ділянки:

$$\operatorname{tg}\alpha > \frac{2r}{D} + f\frac{d_{\text{ц}}}{D}\left(1 + \frac{m_{\text{р}} z}{m\cos\alpha}\right).$$

Оскільки кут $\alpha \approx 3...5^0$ зазвичай малий, можна вважати, що $\cos\alpha \approx 1$, тоді

$$\operatorname{tg}\alpha > \frac{1}{D}\left[2r + fd_{\text{ц}}\left(1 + \frac{m_{\text{р}} z}{m}\right)\right].$$

У випадках, коли штучні вантажі потрапляють на ролики з інтервалами, ролики встигають зупинитись, доки до них підійде наступний вантаж. Через різницю швидкості вантажу та колової швидкості ролика (рівна нулю) виникає опір F_3, за наявності якого потрібний кут нахилу ділянки має визначатись залежністю:

$$\operatorname{tg}\alpha > \frac{1}{D}\left[2k + fd\left(1 + \frac{zm_{\text{р}}}{m}\right) + K\upsilon^2 \frac{m_{\text{р}} D}{mga_{\text{р}}}\right].$$

Для транспортування вантажу донизу (рис. 10.6, *г*) застосовують гравітаційні гвинтові пристрої, які можуть бути площинними чи роликовими. Вантаж в такому разі рухається по гвинтовій поверхні. Гвинтова площина складається з окремих штампованих секцій, які прикріплено до центральної стійки. Секції досить часто виготовляють дерев'яними й армують листовою сталлю. Швидкість руху вантажу у гвинтовому гравітаційному пристрої залежить від типу вантажу, кута нахилу гвинтової поверхні та її стану.

Для гвинтового гравітаційного пристрою за кута підіймання α потрібно, щоби $\operatorname{tg}\alpha > \operatorname{tg}\rho$.

Оскільки тіло (вантаж) рухається по спіралі, виникає відцентрова сила

$$F_{\text{вц}} = m\frac{\upsilon_0^2}{R},$$

де m – маса вантажу, кг; R – радіус, на якому знаходиться вантаж, м; υ_0 – радіальна швидкість вантажу ($\upsilon_0 = \upsilon\cos\alpha$, тут υ – швидкість вантажу по похилій площині, м/с).

Для того щоби перешкодити зсуву вантажу з гвинтової поверхні, встановлюють обмежувальні борти. При цьому під дією сили $F_{\text{вц}}$ на борт виникає сила тертя – $F_{\text{вц}} f$.

Проєкція всіх сил на площину руху:

$$mg\sin\alpha - mgf\cos\alpha - \frac{mf_1\upsilon_0^2}{R} = 0,$$

де $mg\sin\alpha$ – рушійна сила; $mgf\cos\alpha$ – сила тертя по площині; $mf_1\upsilon_0^2/R$ – сила тертя між вантажем і бортом; f і f_1 – відповідно коефіцієнти тертя вантажу по похилій площині і об борт.

Якщо вважати, що $f = f_1$ та $f = \mathrm{tg}\rho$, отримаємо

$$\frac{\upsilon_0^2}{gR} = \frac{\sin(\alpha - \rho)}{\sin\rho}.$$

Задавши швидкість υ, допустиму в транспортуванні вантажу, визначивши швидкість υ_0 та взявши радіус R залежно від розміру вантажу, обчислюють кут ухилу гвинтової лінії:

$$\sin(\alpha - \rho) = \frac{\upsilon_0^2\sin\rho}{gR}.$$

Різновиди типів (конструкцій) гравітаційних пристроїв використовують також як складові елементи різних засобів і систем механізації.

10.2. Устаткування пневматичного та гідравлічного транспортування будівельних вантажів

Призначення і схеми систем пневмотранспорту

Пневмотранспортне устаткування слугує для переміщення насипних і штучних вантажів по трубах за допомогою стисненого або розрідженого повітря.

Використання пневмотранспортного устаткування для навантаження, переміщення і розвантаження пилоподібних, порошкоподібних, зернистих та кускових будівельних матеріалів (цемент, пісок, вапно, тирса та ін.), які не налипають на трубопровід, дає

змогу значно підвищити продуктивність праці, уникнути забруднення вантажу, а також навколишнього середовища під час транспортування, механізувати процес навантаження-розвантаження матеріалу.

Устаткування пневмотранспорту вирізняється можливістю переміщення матеріалу по трасі довільної просторової конфігурації за значної різниці висот, великою продуктивністю та відсутністю рухомих елементів устаткування.

Недоліками пневматичного транспорту є великі питомі витрати енергії, а також підвищена зношуваність обладнання під час транспортування абразивних матеріалів. Разом з тим підвищена енергоємність пневмотранспортного устаткування значно мірою компенсується його перевагами.

Устаткування для штучних вантажів може бути використане для транспортування по трубах дрібних вантажів, що містяться у капсулі чи патроні. Різновидом пневмотранспорту є пневмоконтейнерний транспорт, який переміщує насипні вантажі в контейнерах трубопроводами великого діаметра.

Пневмотранспортне устаткування для насипних вантажів за принципом дії поділяють на таке, що переміщує вантаж в потоці повітря у завислому стані; таке, що транспортує вантаж методом аерації, тобто завдяки насиченню повітрям тіла, яке набуває при цьому властивостей рідини і рухається по похилих площинах під дією сили тяжіння; таке, що транспортує вантаж за методом флюїдизації (псевдорозрідження), коли насичений повітрям матеріал набуває високої рухомості, яка дає можливість переміщувати його по трубах під дією тиску повітря.

Устаткування, що переміщує насипні вантажі у завислому стані в потоці повітря, за принципом роботи поділяється на всмоктувальне, нагнітальне та змішане.

Всмоктувальне устаткування (рис. 10.7, *а*) використовують у випадках, коли потрібно здійснювати забір вантажу з кількох пунктів, а розвантажувати його в один приймальний пункт. При цьому навантаження і транспортування матеріалу відбувається в результаті розрідження повітря до 0,01...0,04 МПа у транспортному трубопроводі *3*, яке створюється вакуум-насосом *8*. Насипний матеріал *1* за допомогою сопла *2* засмоктується разом з повітрям і транспортується до відокремлювача *4*. Там внаслідок різкого зниження швидкості потоку повітря в місці розширення вихідного перерізу частки вантажу випадають з цього потоку і через затвор *5* подаються в приймальний пункт *6*. Повітря, насичене пилом, з відокремлювача потрапляє у фільтр

7, де очищується і звідки відсмоктується вакуум-насосом в атмосферу. Розрідження повітря у трубопроводі зменшується за напрямом руху вантажу, відповідно змінюється і швидкість потоку. Перепад тиску в такому устаткуванні невеликий, тому транспортування матеріалу є можливим тільки на короткі відстані.

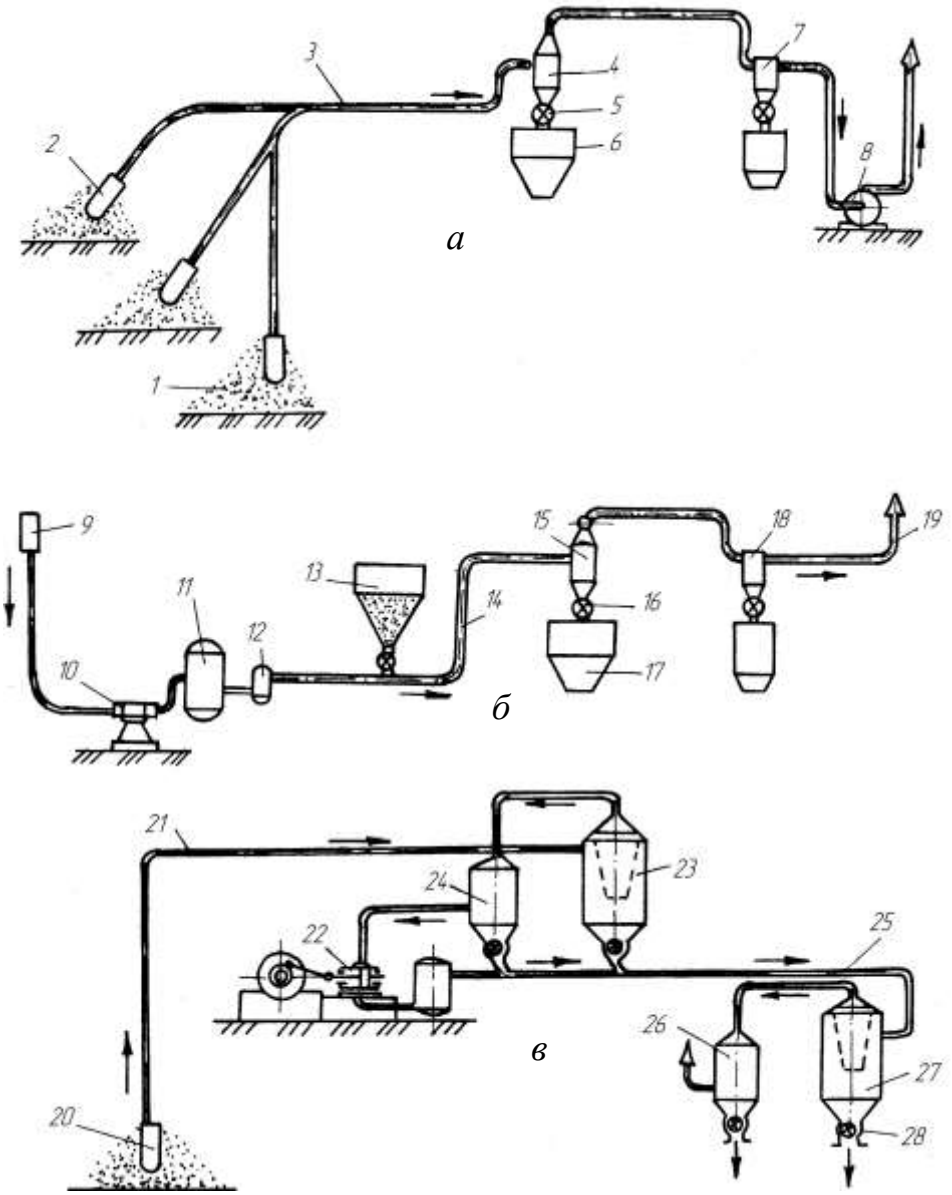


Рис.10.7. Схеми устаткування пневмотранспорту за принципом дії:
а – всмоктувальне; *б* – нагнітальне; *в* – змішане;
1 – матеріал; *2, 20* – сопло; *3, 14, 19, 21, 25* – трубопровід; *4, 15* – відокремлювач; *5, 16, 28* – затвор; *6* – приймальний пункт; *7, 9, 18, 24, 26* – фільтр; *8* – вакуум-насос; *10, 22* – компресор; *11* – ресивер; *12* – відстійник; *13* – живильник; *23*, 27 – розвантажувач; *17* – бункер

У нагнітальному устаткуванні (рис. 10.7, *б*) стиснене повітря від компресора *10* надходить до повітрозбірника (ресивера) *11*, звільнюється від вологи у відстійнику *12* і потрапляє у трубопровід, куди за допомогою спеціального живильника *13* навантажується матеріал. В місці розвантаження матеріал переходить з транспортного трубопроводу *14* у розвантажувач *15*, де частки матеріалу випадають і через шлюзовий затвор *16* надходять до бункера *17*. Повітря після проходження фільтра *18* через випускний трубопровід *19* потрапляє до атмосфери. В нагнітальному устаткуванні перепад тиску сягає 0,4...0,6 МПа, тому воно може транспортувати вантаж на велику відстань. Таке устаткування здійснює навантаження матеріалу в одній точці, а розвантаження – у кількох. Повітря, яке засмоктується з атмосфери компресором, попередньо очищується фільтром *9*.

Устаткування змішаного типу (рис. 10.7, *в*) забирає матеріал з кількох місць навантаження, збирає в одній ємкості і транспортує одночасно в декілька пунктів розвантаження. Воно складається з двох послідовно розміщених трубопроводів – всмоктувального *21* та нагнітального *25*. Вантаж засмоктується соплом *20* і потрапляє в відокремлювач *23*, який одночасно слугує живильником для нагнітального трубопроводу. Повітря з відокремлювача не викидається в атмосферу, а проходить крізь фільтр *24* і подається компресором *22* до нагнітального трубопроводу. Вантаж випадає з повітря у розвантажувачі *27* і надходить до пункту приймання через затвор *28*, а повітря, проходячи крізь фільтр *26*, потрапляє до атмосфери.

Для створення тиску або розрідження повітря використовують вентилятори, турбомашини, вакуум-насоси та компресори різних типів. Основними елементами пневмотранспортного устаткування є навантажувальні (сопла, живильники) та розвантажувальні (циклони-розвантажувачі, відокремлювачі) пристрої, фільтри, затвори, повітропроводи, ресивери.

Сопло, яке приєднують до гнучкого шланга (рис. 10.8, *а*), є навантажувальним органом всмоктувального пневмотранспортного устаткування. Використовують стаціонарні або переносні сопла. Вони складаються з внутрішньої труби *1* та зовнішнього кожуха *2*, з'єднаних між собою гвинтами. За допомогою цих гвинтів можна регулювати ширину щілини, яка призначена для надходження повітря до внутрішньої труби з кільцевої запони кожуха. Сопло установлюється на

поверхні насипного матеріалу нижнім конічним розтрубом, під дією власної ваги сопло занурюється у матеріал на деяку глибину. Повітря, що входить з великою швидкістю крізь кільцеву щілину, розпушує частки вантажу в конічному розтрубі та втягує їх у транспортний трубопровід.

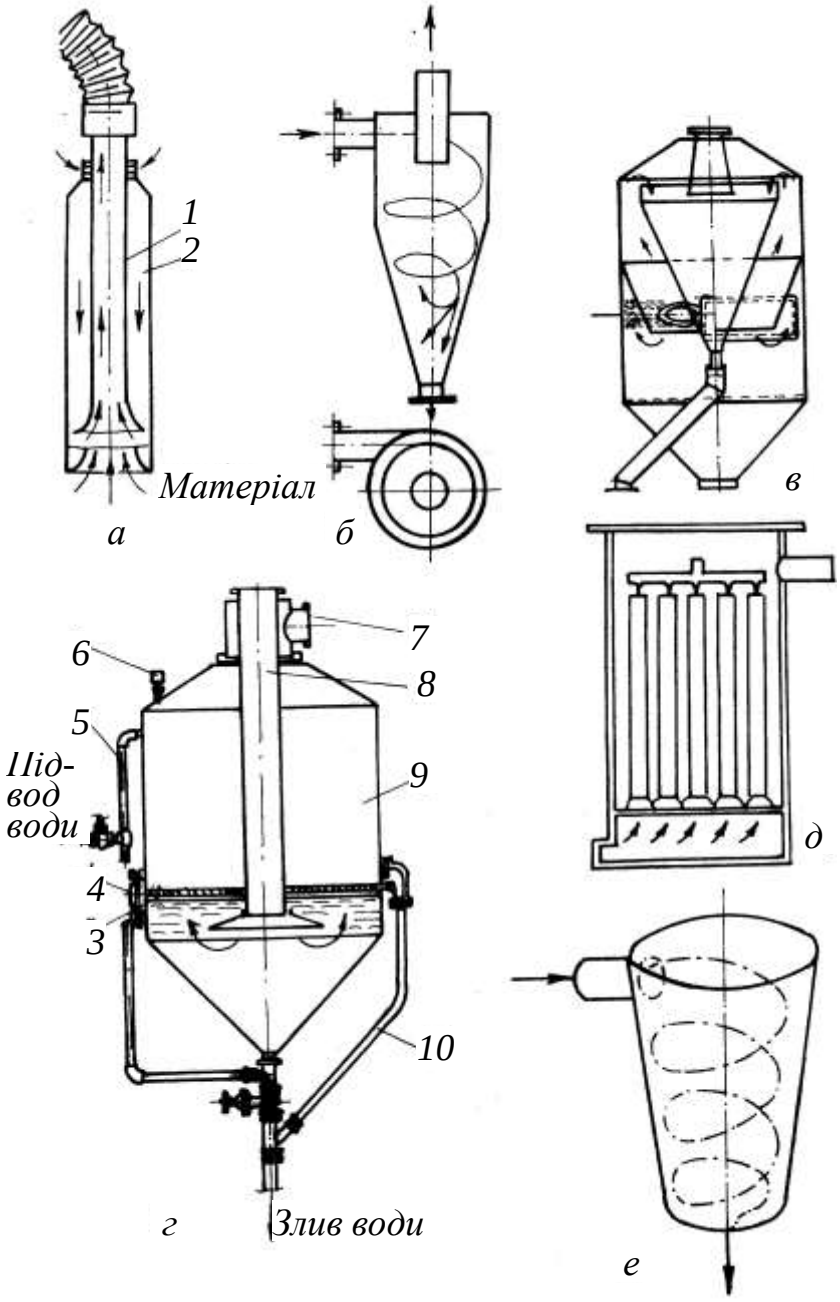


Рис. 10.8. Елементи пневмотранспортного устаткування:

а – сопло; *б* – циклон-розвантажувач; *в* – відокремлювач з внутрішніми напрямними поверхнями; *г* – мокрий фільтр; *д* – тканинний фільтр; *е* – відцентровий фільтр:

1 – внутрішня труба; *2* – зовнішній кожух; *3* – решітка; *4* – водомір; *5* – трубопровід; *6* – вакуумметр; *7, 8* – патрубок; *9* – резервуар; *10* – зливний трубопровід

Для подавання матеріалу у транспортний трубопровід використовують живильники, які можуть бути гвинтовими або камерними.

Для відокремлення від повітря матеріалу, що транспортується, використовують циклони-розвантажувачі та відокремлювачі з внутрішніми напрямними поверхнями. В циклонах-розвантажувачах, які застосовують для переміщення пилоподібних вантажів, використовується відцентрова сила, що виникає під час обертального руху струменя повітря по кільцевій запоні циклона (див. рис. 10.8, *б*). Для цього суміш повітря з вантажем спрямовується у циклон по дотичній і набуває обертального руху, притискаючись під дією відцентрової сили до внутрішньої стінки циліндра. Виникають сили тертя, і частки вантажу інтенсивно втрачають швидкість, опускаючись донизу. Звільнене від вантажу повітря виходить через верхній патрубок, а матеріал вивантажується через нижній отвір.

Відокремлювачі з внутрішніми напрямними поверхнями (див. рис. 10.8, *в*) складаються з корпусу, всередині якого змонтовано сталеві напрямні. Струмінь повітря з вантажем, обтікаючи ці напрямні поверхні або ударяючись об них, змінює свій напрям, що сприяє випаданню найбільш крупних фракцій матеріалу. Повітря, яке містить дрібніші фракції, піднімається догори, і частки потрапляють до вбудованого конічного бункера відокремлювача, звідки виводяться назовні. Повітря виходить через верхній патрубок і спрямовуються на фільтр для остаточного очищення.

Фільтри, використовувані у пневмотранспортному устаткуванні, призначено для очищення повітря від пилоподібних часток вантажу. Розрізняють фільтри мокрі (водяні) та сухі. Сухі фільтри можуть бути тканинними та відцентровими.

Мокрий фільтр (рис. 10.8, *г*) складається з резервуара *9* з водою, до якого надходить забруднене повітря через патрубок *8*. Повітря, насичене пилом, переміщується у воді, проходить решітку *3*, очищується від пилу і виходить через патрубок *7*.

Резервуар заповнюється водою за допомогою трубопроводу *5*. Для контролю процесу очищення передбачені водомір *4* та вакуумметр *6*. Зливають воду по трубопроводу *10*.

Тканинні фільтри (див. рис. 10.8, *д*) складаються з кількох послідовно розміщених шарів тканини у формі рукавів, крізь стінки яких

проходить забруднене повітря. Очищене повітря виходить назовні, а пил, що накопичився всередині рукавів, струшується спеціальним механізмом на дно фільтра, звідки його періодично видаляють.

У відцентрових фільтрах (див. рис. 10.8, *е*) забруднене повітря потрапляє до циліндра невеликого діаметра з отвором у днищі. Під дією відцентрової сили під час руху по внутрішній поверхні циліндра пил притискається до його стінок, де внаслідок тертя втрачає швидкість і випадає в отвір.

Затвори призначені для розвантаження насипних матеріалів з ємностей, тиск в яких є меншим, ніж у трубопроводах, котрі матеріал приймають. Затвори запобігають прориву повітря з підвищеним тиском до розвантажуваної ємності. Найбільш поширені в устаткуванні пневмотранспорту затвори ротаційні та камерні.

Ресивери використовують для вирівнювання тиску повітря, яке подають порціями (наприклад, компресором із зворотно-поступальним рухом поршня). Вони являють собою пустотілі закриті ємності, під'єднані до повітропроводу.

Трубопроводи виготовляють з листової сталі завтовшки 0,6...3 мм або з сталевих труб діаметром 50...300 мм з товщиною стінок 1...12 мм. Товстостінні труби (10...12 мм) використовують у транспортуванні абразивних матеріалів. Робочі трубопроводи після одного...двох років експлуатації повертають навколо осі на 180 градусів з метою більш рівномірного зносу та збільшення терміну роботи. У транспортуванні неабразивних матеріалів можуть бути використані труби з пластмаси. Як трубопроводи використовують також гнучкі шланги та рукави.

Елементи теорії руху суміші повітря з матеріалом по трубопроводу

Однією з основних задач розрахунку пневмоустаткування є визначення швидкості повітря, достатньої для транспортування вантажів. Теоретичною основою для вибору цієї швидкості $V_{\text{П}}$ є умова, щоби $V_{\text{П}}$ була більшою за швидкість $V_{\text{в}}$ матеріалу, яка залежить від його фізико-механічних властивостей та форми часток. Швидкістю витання називається швидкість повітряного потоку у вертикальному трубопроводі, за якої частка матеріалу в цьому потоці «висить» у повітрі, тобто її швидкість близька до нуля. Якщо у вертикальній трубі,

по якій рухається повітря (рис. 10.9), розмістити частки матеріалу, різні за масою та формою, то деякі з них будуть підніматися разом з потоком повітря, деякі будуть опускатися або падати, а деякі – залишатися на місці у завислому стані. Витання частки у вертикальному трубопроводі настає тоді, коли вага частки $P = mg$ урівноважується аеродинамічною силою

$$P = c\rho_{\text{п}} F V_{\text{п}}^2,$$

де c – аеродинамічний коефіцієнт, який характеризує розміри та форму часток; $\rho_{\text{п}}$ – щільність повітря; F – площа перетину частки матеріалу.

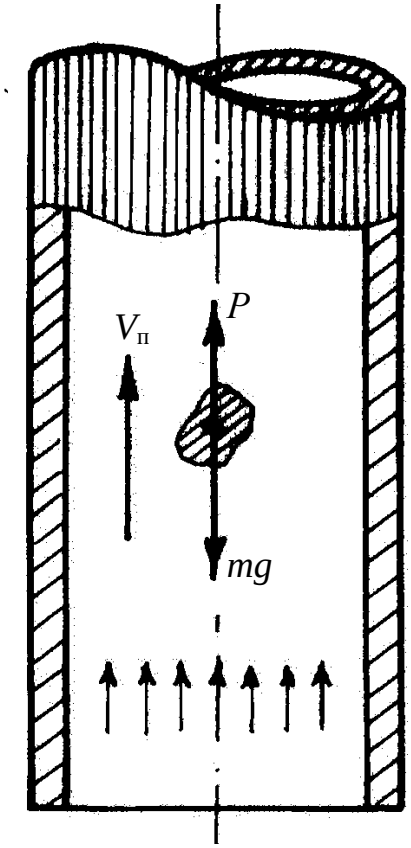


Рис. 10.9. Схема до визначення швидкості витання частки вантажу

Для часток неправильної форми визначення аеродинамічного коефіцієнта c утруднено, тому реальну частку матеріалу можна замінити еквівалентним шаром такого самого об’єму та маси. Для шару обтічної форми $c = 0{,}25$.

За щільності матеріалу $\rho_{\text{м}}$ та діаметра, еквівалентного шару d, маса частки становить

$$m = \frac{\pi}{6} d^3 \rho_{\text{м}},$$

отже,

$$\frac{\pi}{6} d^3 \rho_{\text{м}} = 0{,}25 \frac{\rho_{\text{п}}}{\text{g}} \frac{\pi}{4} d^2 V_{\text{в}}^2,$$

а швидкість витання

$$V_{\text{в}} = 5{,}12 \sqrt{\frac{\rho_{\text{м}}}{\rho_{\text{п}}} d}\,.$$

Наприклад, визначення параметрів пневмотранспортної установки для транспортування цементу ґрунтується на дотриманні кількох положень.

Зведена довжина транспортування, м:

$$L_{\text{пр}} = l_z + l + l_{\text{ек}},$$

де l_z - довжина горизонтальної ділянки, м; l - довжина вертикальної ділянки, м; $l_{\text{ек}}$ - еквівалентна коліну довжина ділянки (для коліна з кутом повороту 90^0 $l_{\text{ек}}$ = 7...8 м).

Коефіцієнт концентрації суміші $\mu_к$ дібрати за дослідною кривою (рис. 10.10, *а*) графіка залежності $\mu_к$ від $L_{\text{пр}}$ для нагнітальних установок, а швидкість повітря $V_{\text{п}}$ - за графіком на рис. 10.10, *б* залежно від $L_{\text{пр}}$.

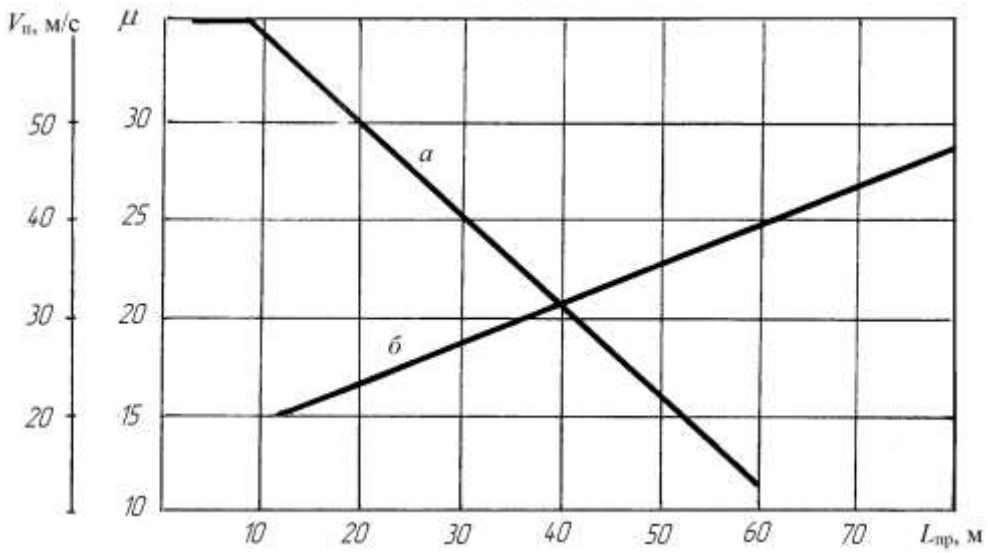


Рис. 10.10. Залежності параметрів пневмотранспортування цементу:
а – масової концентрації від довжини трубопроводу; *б* – швидкості повітря від довжини трубопроводу

Внутрішній діаметр трубопроводу, зважаючи на дотримання умови, що $V_в \le V_п$, м:

$$d_в \le \sqrt{\frac{4П_п}{\pi V_в}},$$

де $П_п$ – витрати повітря, м^3/с:

$$П_п = \frac{Q_ц}{4{,}5\mu_к};$$

де $Q_ц$ – погодинна витрата цементу для приготування бетону, т/год.

Продуктивність компресора, м^3/с:

$$П_к = \frac{\pi d_в V_п k_н}{4},$$

де $k_н$= 1,1 – коефіцієнт, який характеризує нещільності в з’єднаннях трубопроводу.

За отриманими даними добирають гвинтовий пневматичний насос.

Пневмоконтейнерний і пневмокапсульний транспорт

Принцип транспортування вантажів за допомогою повітря використовується також для переміщення матеріалу в контейнерах по трубопроводах великого діаметра (900 мм і більше). Контейнер являє собою циліндричну ємність, яка обладнана колесами, що спираються на внутрішню поверхню труби. У трубу подається повітря під тиском, яке, діючи на торець циліндричного контейнера, приводить його до руху. На виході з трубопроводу контейнер потрапляє до розвантажувального пристрою, а порожній контейнер повертається по трубопроводу до місця навантаження.

У контейнерах транспортують насипні (пісок, щебінь, вугілля тощо), рідкі та крупні штучні вантажі. Окремі контейнери можуть бути з'єднані у потяги (рис. 10.11, *а*). Потяг контейнерів *1* пересувається пневмовозом *2*, на якому встановлено ущільнювачі (манжети), що перекривають зазори між стінкою трубопроводу та елементами пневмовозу. Контейнер для вантажів (рис. 9.11, *б*) складається з кузова *3*, ходової частини *4*, ходових коліс *5* на осях з амортизаторами, які вмонтовані у маточини *6*. В кузові влаштовано поздовжні перегородки *7*. Для орієнтації потягів у трубопроводі центр мас контейнера повинен бути розміщений нижче від осі ходової частини.

Контейнерні потяги переміщуються із швидкістю 40...50 км/год. Потік повітря створюється компресорами, відцентровими нагнітачами, вакуумними насосами, повітродувними станціями, розміщеними на кінцевих ділянках трубопроводів, а також вздовж траси. Залежно від профілю траси, діаметра труб, маси потяга відстань між станціями може становити 5...15 км. Перепади тиску в трубопроводі невеликі. Для руху контейнерів з вантажем масою 65 т по горизонтальному трубопроводу діаметром 1220 мм перепад тиску становить лише 0,015 МПа, а на підйомі до трьох градусів – 0,045 МПа. В діючих системах надлишковий тиск практично не перевищує 0,1...0,2 Мпа, що дає змогу використовувати труби з маловуглецевої сталі, залізобетону, азбоцементні та пластмасові труби. На внутрішньозаводському транспорті для переміщення легких вантажів використовують скляні та склопластикові трубопроводи.

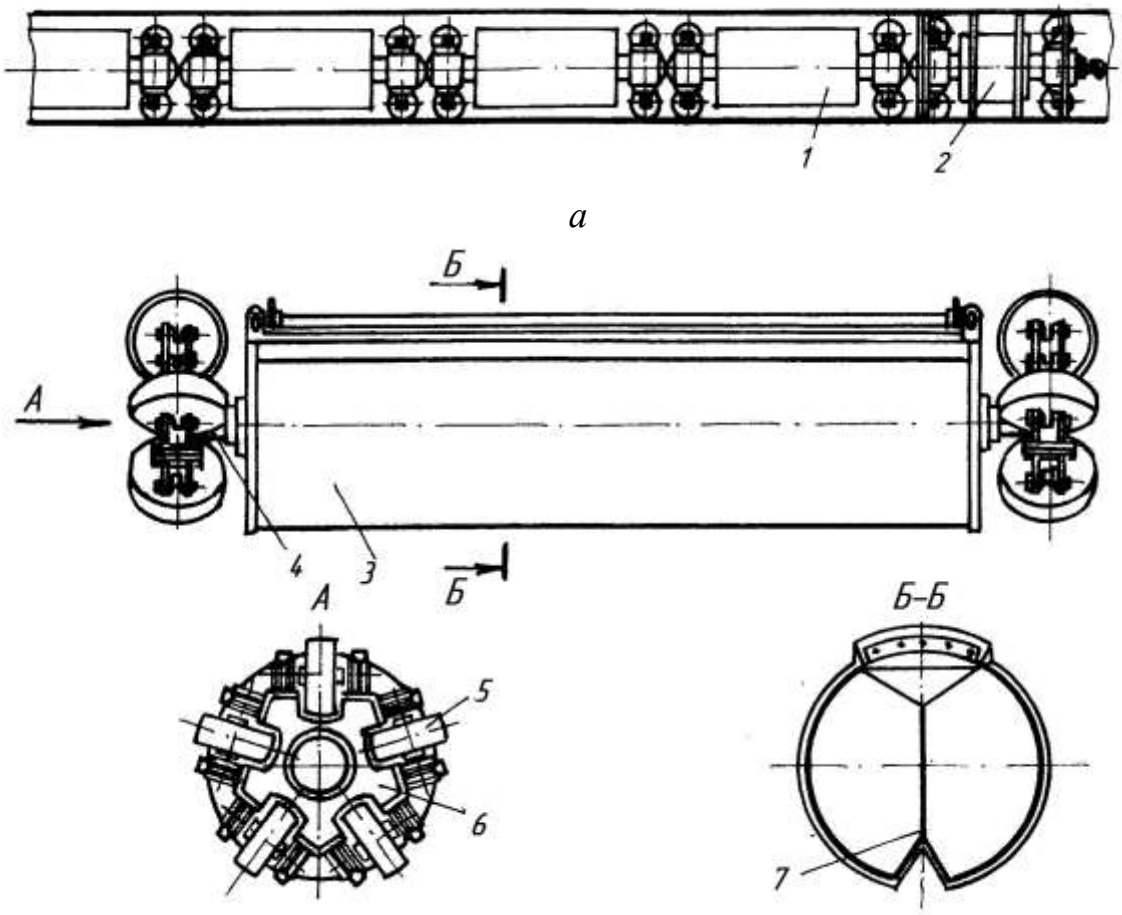


Рис. 10.11. Схема пневмоконтейнерного потяга:
а – з`єднання контейнерів у потяг; *б* – контейнер для вантажів: *1* – контейнер; *2* – пневмовоз; *3* – кузов; *4* – ходова частина; *5* – колеса; *6* – маточина; *7* – перегородка

Навантаження і розвантаження на кінцевих станціях може здійснюватися як із зупинкою контейнера, так і на ходу. Навантажувально-розвантажувальні і транспортні операції повністю автоматизовані. Для огляду й обслуговування контейнерів на трасі влаштовано люки. Контроль за пересуванням контейнерів у трубопроводі і визначенням їх швидкості здійснюють за допомогою спеціальних датчиків, які взаємодіють з магнітами, розміщеними на пневмовозах. Швидкість руху контейнерів регулює за потреби диспетчер, змінюючи витрати повітря.

Пневматичне транспортування дрібних штучних вантажів по трубопроводах здійснюється за допомогою капсул, які розміщують в отворі труби приймальної станції і переміщують повітрям. На розвантажувальних станціях транспортний трубопровід має

відгалуження із стрілочними переводами, керованими за допомогою спеціальних пристроїв, розміщених на капсулах. Коли капсула наближається до пункту призначення, спрацьовує перевід і капсула автоматично переходить на розвантажувальне відгалуження трубопроводу. Капсули можуть мати овальний, прямокутний або круглий переріз. Найбільш поширеним є круглий.

Гідравлічне транспортування будівельних вантажів

Устаткування гідравлічного транспорту призначене для переміщення насипних вантажів у струмені води по трубах або жолобах. Суміш вантажу з водою називають гідросумішшю, або пульпою. Вона характеризується відношенням маси твердого компонента до маси рідини. Принцип дії гідравлічного транспортного обладнання полягає у передаванні енергії води, що рухається, часткам вантажу та їх переміщенні з великою швидкістю.

Устаткування гідротранспорту поділяють на напірне та безнапірне. У напірному устаткуванні пульпа переміщується під напором, який створюється насосом, а в безнапірному (самопливному) – під дією складової сили тяжіння вантажу на похилій площині. Вантаж у напірному устаткуванні подається до транспортного трубопроводу за допомогою пульпонасосів або живильниками.

Перевагами цього виду транспорту є велика продуктивність і значна довжина транспортування по складній просторовій трасі, зручність обслуговування й експлуатації, невисока вартість переміщення вантажів, можливість повної автоматизації роботи. До недоліків належить обмеження крупності транспортованих шматків; значне зношення обладнання внаслідок переміщення абразивних вантажів; великі витрати води й енергії; ймовірність замерзання пульпи взимку.

Матеріал, транспортований устаткуванням з пульпонасосом (рис. 10.12, *а*), подається стрічковим транспортером *2* до резервуара *1* з водою, звідки пульпа пульпонасосом *4* транспортується по пульпопроводу *5* до місця розвантаження. Вантаж проходить крізь сито (грохот) *9*, де відокремлюється від води і по похилих решітках надходить у приймальну ємність (бункер) *10*. Вода, що відокремилася від часток вантажу, через воронку *6* стікає до резервуара *8*, звідки насосом *7* подається по водоводу *3* у резервуар *1*, в якому знову змішується з вантажем, утворюючи пульпу.

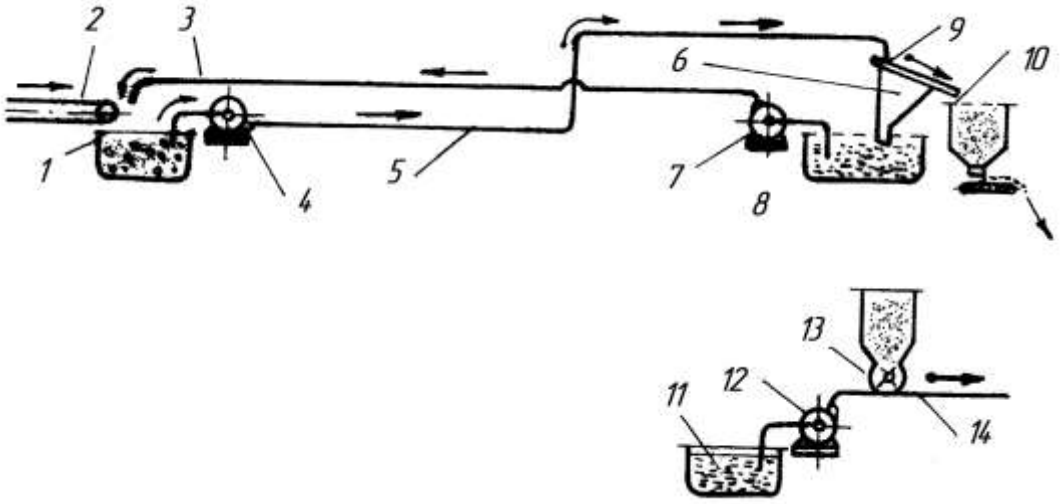


Рис. 10.12. Схеми гідравлічного напірного транспортування вантажів:
а – через пульпонасос; *б* – через живильник:
1, 8, 11 – водяний резервуар; *2* – транспортер; *3* – водовід; *4* – пульпонасос; *5, 14* – пульпопровід; *6* – воронка; *7, 12* – насос; *9* – сито (грохот); *10* – бункер; *13* – живильник

Перевагою напірної системи транспортування є простота обладнання, а недоліком – прискорене спрацювання пульпонасоса. Цього недоліку позбавлені системи призначені подавати вантаж безпосередньо з навантажувальної ємності через живильник у водовід. В такій системі (рис. 10.12, *б*) насос *12* подає чисту воду з резервуара *11* у трубопровід *14*. Насипний вантаж надходить до того самого трубопроводу з бункера, обладнаного живильником *13*, після чого вже маємо пульпопровід, оскільки частки вантажу потрапляють до швидкого потоку води й утворюють пульпу. Пульпа транспортується трубопроводом до місця розвантаження, де вантаж відокремлюється, а вода повертається до насоса для дальшого використання. За допомогою такого устаткування можна транспортувати вантажі з відносно великими шматками. Важливою перевагою є робота насоса у воді, що дає змогу використовувати звичайні водяні насоси і підвищити термін їх експлуатації.

У безнапірному обладнанні насипний вантаж за допомогою живильника надходить з бункера до відкритого жолоба, де змішується з водою, яка подається з магістрального трубопроводу. Пульпа, що утворилася, тече по жолобу, який має ухил 0,02...0,06. В місцях повороту траси для запобігання замуленню жолоба розміщено сопла, які подають воду та надають часткам вантажу додаткової кінетичної енергії.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Наведіть види механічних транспортувальних машин з жорсткими тяговими елементами та охарактеризуйте особливості їх застосування.
2. Для переміщення яких матеріалів застосовують гвинтові конвеєри?
3. Наведіть види гвинтів. Для транспортування яких матеріалів їх використовують?
4. Наведіть формулу для розрахунку продуктивності гвинтового конвеєра.
5. Для переміщення яких вантажів застосовують коливальні конвеєри?
6. Які види транспортувальних органів та віброзбудників застосовують в коливальних конвеєрах?
7. Як поділяються коливальні конвеєри за режимами роботи жолоба і переміщення вантажу?
8. Для переміщення яких вантажів застосовують роликові конвеєри?
9. Як поділяються роликові конвеєри за принципом дії? Назвіть види роликів.
10. На якому принципі працюють гравітаційні пристрої? Наведіть умову переміщення по них вантажу.
11. Які види гравітаційних пристроїв застосовують?
12. Наведіть види і принципи дії пневмотранспортного обладнання.
13. Для транспортування яких вантажів застосовують пневмоконтейнерний і пневмокапсульний транспорт?
14. Наведіть види і принципи гідравлічного транспортування будівельних вантажів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баладінський В.Л. Пристрої та механізми вантажопідйомних машин: навч. посіб. / В.Л. Баладінський, І.В. Русан, О.М. Гаркавенко, О.Ю. Вольтерс. – Київ: КНУБА, 2005. – 132 с.
2. Підйомно-транспортні та вантажно-розвантажувальні машини: підручник / О.М. Лівінський, О.І. Курок, Л.Є. Пелевін та ін. – Київ: Вид-во «МП Леся», 2016. – 676 с.
3. Будівельні машини та обладнання: підручник / О.М. Пшінько, М.В. Савицький, та ін. – Київ: «МП Леся», 2015. – 611 с.
4. Гончарук О.М. Вантажопідйомна, транспортуюча та транспортна техніка: навч. посіб. / О.М. Гончарук, В.М. Стрілець. – Рівне: Вид-во НУВГП, 2006. – 345 с.
5. Русан І.В. Вантажопідйомні машини: метод. рек. і завдання до курсового проекту для студ. спец. БМО і ПНМ / І.В. Русан, О.М. Гаркавенко, О.Ю. Вольтерс – Київ: КНУБА, 2006. – 60с.
6. Русан І.В. Підйомно-транспортні машини: метод. вказівки до практичних занять та тестові питання з модульних контролів для студ. спец. 090214 «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання», 010104 «Професійне навчання. Виробництво, експлуатація та ремонт підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх і меліоративних машин і обладнання» всіх форм навчання / І.В. Русан, Л.Є. Пелевін, О.М. Гаркавенко – Київ: КНУБА, 2008. – 58 с.
7. Волянюк В.О. Підйомно-транспортні машини: метод. рек. та завдання до курсової роботи для студ. спец. 131 «Прикладна механіка» та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» усіх форм навчання / В.О. Волянюк, Д.О. Міщук, О.Ю. Вольтерс – Київ: КНУБА, 2018. – 72 с.
8. Александров М.П. Грузоподъемные машины: учебник / М.П. Александров – М.: Высшая школа, 2000. – 552 с.
9. Вайнсон А.А. Подъемно-транспортные машины: учебник / А.А. Вайнсон – М.: Машиностроение, 1989. – 536 с.
10. Вайнсон А.А. Подъемно-транспортные машины строительной промышленности: атлас конструкций / А.А. Вайнсон – М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.
11. Додонов Б.П., Грузоподъемные и транспортные устройства: учебник / Б.П. Додонов, В.А. Лифанов – М.: Машиностроение, 1990. – 248с.
12. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини: підручник / Ф.К. Іванченко – Київ: Вища шк., 1993. – 413 с.
13. Будівельна техніка: підручник / В.Л. Баладінський, А.М. Тугай, О.М. Гаркавенко, І.В. Русан – Київ: КНУБА, 2002. – 236 с.
14. Колесник Н.П. Расчеты строительных кранов: учебник / Н.П. Колесник – Київ: Вища школа, 1985. – 240 с.

Навчальне видання

ВОЛЯНЮК Володимир Олександрович,
МІЩУК Дмитро Олександрович

ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНІ МАШИНИ (СИСТЕМИ)

Конспект лекцій

Редагування та коректура *Г.В. Кобриної*
Комп'ютерне верстання *А.П. Селівестрової*

Підписано до друку Формат 60 × 84 1/ 16
Ум. друк. арк. 10,23 Обл.-вид. арк. 11,0
Електронний документ.Вид. № 2/І-20.

Видавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.