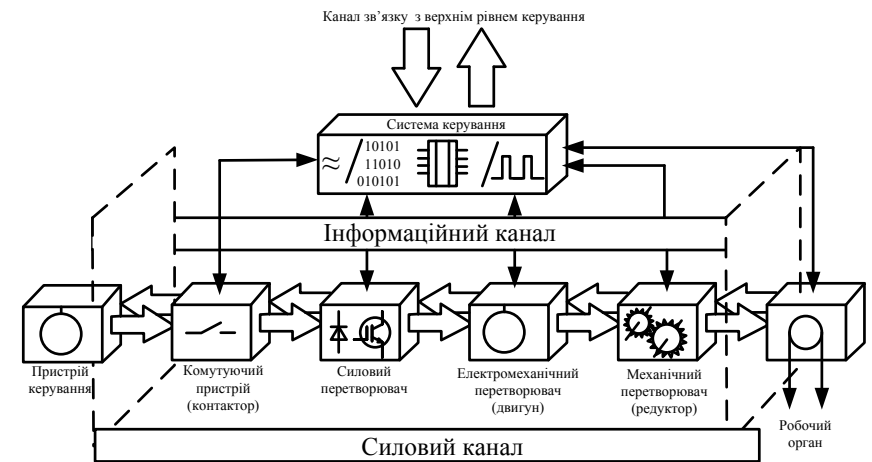


**В. В. Грабко, С. М. Бабій, М. М. Мошноріз**

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ТИПОВИХ  
ВИРОБНИЧИХ МЕХАНІЗМІВ  
КУРСОВЕ ТА ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ  
САМОСТІЙНА ТА ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА  
СТУДЕНТІВ**



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**В. В. Грабко, С. М. Бабій, М. М. Мошноріз**

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ТИПОВИХ  
ВИРОБНИЧИХ МЕХАНІЗМІВ  
КУРСОВЕ ТА ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ  
САМОСТІЙНА ТА ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА  
СТУДЕНТІВ**

**Навчальний посібник**

Вінниця  
ВНТУ  
2017

**УДК 62-83(075)**  
**ББК 32.973.2я73**  
**Г75**

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 14 від 23.06.2016 р.)

Рецензенти:

**М. Й. Бурбело**, доктор технічних наук, професор  
**О. В. Садовой**, доктор технічних наук, професор  
**О. П. Чорний**, доктор технічних наук, професор  
**Ю. В. Булига**, кандидат технічних наук, доцент

**Грабко, В. В.**

**Г75** Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів : навчальний посібник / Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 119 с.

Посібник призначений для організації виконання курсової роботи з дисципліни «Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів» і буде корисним студентам електротехнічних спеціальностей.

В посібнику розглядаються теоретичні та практичні питання розрахунку електроприводів широкого кола типових виробничих механізмів.

**УДК 62-83(075)**  
**ББК 31.973.2я73**

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	6
1 ОРГАНІЗАЦІЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ .....	7
2 ЗМІСТ І ОБСЯГ КУРСОВОЇ РОБОТИ .....	8
2.1 Коротка характеристика виробничого механізму і режимів його роботи .....	8
2.2 Розрахунок та побудова тахограми і навантажувальної діаграми виконавчого органа виробничого механізму .....	9
2.3 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна .....	11
2.4 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода .....	14
2.5 Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання .....	18
2.6 Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода .....	18
2.7 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску .....	20
2.8 Розрахунок характеристик приводного двигуна .....	23
2.8.1 Розрахунок характеристик двигуна постійного струму незалежного збудження .....	23
2.8.2 Розрахунок характеристик асинхронного двигуна .....	24
2.8.3 Використання формул Клоса та Чекунова для побудови механічної характеристики асинхронного двигуна .....	25
2.9 Розрахунок і вибір перетворювального пристрою для живлення приводного двигуна .....	27
2.9.1 Вибір тиристорного перетворювача напруги для живлення двигуна постійного струму .....	27
2.9.2 Вибір тиристорного регулятора напруги для живлення двигуна змінного струму .....	29
2.9.3 Вибір перетворювача частоти для живлення двигуна змінного струму .....	31
2.10 Побудова структурної схеми електропривода та розрахунок регуляторів системи автоматичного керування .....	34
2.10.1 Побудова структурної схеми двигуна постійного струму .....	34
2.10.2 Побудова структурної схеми двигуна змінного струму .....	35
2.10.3 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода підйомної лебідки крана .....	36
2.10.4 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода підйомника .....	37
2.10.5 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода скіпового підйомника .....	38
2.10.6 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода двоскіпового підйомника .....	39

2.10.7 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода механізму переміщення мостового крана.....	40
2.10.8 Побудова структурної схеми механічної частини механізму переміщення візка мостового крана.....	42
2.10.9 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода рольганга .....	43
2.10.10 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода ланцюгового транспортера.....	44
2.10.11 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода штовхача методичної печі.....	45
2.10.12 Розрахунок регуляторів системи автоматичного керування.....	46
2.11 Моделювання перехідних процесів електропривода.....	48
2.12 Розробка принципової схеми автоматизованого електропривода або модифікація до власних умов типової .....	48
<b>3 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ТИПОВИХ ВИРОБНИЧИХ МЕХАНІЗМІВ .....</b>	<b>51</b>
3.1 Крани.....	51
3.1.1 Загальна характеристика .....	51
3.1.2 Статичні навантаження підйомних лебідок .....	52
3.1.3 Статичні навантаження механізмів поступального руху .....	55
3.2 Ліфти .....	58
3.2.1 Загальна характеристика .....	58
3.2.2 Статичні навантаження ліфтів.....	62
3.3 Скіпові підйомники .....	71
3.3.1 Загальна характеристика .....	71
3.3.2 Статичні навантаження скіпових підйомників .....	72
3.4 Штовхачі .....	77
3.4.1 Загальна характеристика .....	77
3.4.2 Статичні навантаження рейкових штовхачів.....	78
3.5 Транспортери.....	79
3.5.1 Загальна характеристика .....	79
3.4.2 Статичні навантаження транспортерів .....	80
3.6 Рольганги .....	82
3.6.1 Загальна характеристика .....	82
3.6.2 Статичні навантаження рольгангів .....	84
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>88</b>
<b>ГЛОСАРІЙ.....</b>	<b>90</b>
<b>Додаток А Завдання на проектування.....</b>	<b>91</b>
А.1 Автоматизований електропривод підйомної лебідки крана.....	91
А.2 Автоматизований електропривод вантажного підйомника.....	93
А.3 Автоматизований електропривод пасажирського підйомника .....	95

А.4 Автоматизований електропривод скіпового підйомника .....	97
А.5 Автоматизований електропривод двоскіпового підйомника .....	99
А.6 Автоматизований електропривод механізму переміщення мостового крана .....	101
А.7 Автоматизований електропривод механізму переміщення вантажного візка мостового крана .....	103
А.8 Автоматизований електропривод рольганга .....	105
А.9 Автоматизований електропривод ланцюгового транспортера .....	107
А.10 Автоматизований електропривод штовхача методичної печі .....	109
Додаток Б Зразки оформлення ключових сторінок .....	111

## ПЕРЕДМОВА

Типові виробничі механізми становлять основу більшості технологічних процесів, які використовуються в промисловості, сільському господарстві, на транспорті, в комунальному господарстві тощо. Більшість із них оснащені системами автоматизованого електропривода різного рівня складності.

*Автоматизованим електроприводом* називається електромеханічна система, що складається з одного або декількох електродвигунів, перетворювального, передавального та керувального пристроїв, призначена для приведення в рух виконавчих органів робочої машини і керування цим рухом з метою забезпечення заданого технологічного процесу.

В навчальному посібнику розглянуто питання проектування автоматизованого електропривода деяких типових виробничих механізмів: кранів, ліфтів, скіпових підйомників, транспортерів, рольгангів, штовхачів. Навчальний посібник призначений для організації самостійної роботи та допомоги студентам спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» денної та заочної форм навчання при виконанні курсової роботи з дисципліни «Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів» та буде корисним при виконанні основної частини дипломних проектів та кваліфікаційних магістерських робіт. Навчальний посібник може бути використаний при виконанні контрольних робіт студентами заочної форми навчання.

Метою курсової роботи є:

- систематизація і закріплення знань з дисципліни «Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів»;
- обґрунтування техніко-економічної доцільності проектування;
- закріплення методів розрахунку потужності приводних двигунів типових виробничих механізмів;
- обґрунтований вибір силового обладнання та апаратури керування автоматизованого електропривода;
- ознайомлення з електрообладнанням, яке випускається серійно (електродвигунами, силовими перетворювачами);
- дослідження характеристик електропривода в статичних та динамічних режимах;
- перевірка проектних рішень методами комп'ютерного моделювання;
- побудова принципів схем автоматизованого електропривода.

Передбачені варіанти завдань дозволяють набути практичних навичок розрахунку автоматизованих електроприводів типових виробничих механізмів, які працюють в повторно-короткочасному режимі роботи.

# 1 ОРГАНІЗАЦІЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Завдання на курсове проектування (додаток А) видається студенту в терміни, визначені графіком навчального процесу. Дата видачі вноситься в індивідуальне завдання і вважається початком курсового проектування.

Завданням передбачено вирішення основних питань проектування автоматизованого електропривода одного із типових виробничих механізмів.

При виконанні курсової роботи доцільно використовувати даний навчальний посібник, спеціалізовану технічну літературу, а також літературу, рекомендовану викладачем щодо опрацювання окремих питань проектування.

Пояснювальна записка і графічна частина курсової роботи оформляються відповідно до правил Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД). Правила оформлення основної частини пояснювальної записки узагальнено викладено в роботі [1]. Графічна частина повинна містити принципову електричну схему. Кінематична схема, графіки механічних характеристик та результати комп'ютерного моделювання розміщуються в тексті основної частини пояснювальної записки. Всі технічні рішення повинні бути обґрунтовані. Кожен розділ пояснювальної записки повинен закінчуватись лаконічними висновками.

Закінчена курсова робота, після перевірки її керівником роботи і вивчення виявлених недоліків, захищається перед комісією, яка складається з викладачів кафедри. Захист робіт проводиться відповідно до попередньо оголошеного розкладу. На захисті курсової роботи студент робить доповідь, в якій має бути:

- сформульовано тему роботи;
- викладено основні технічні рішення;
- вказано застосовані методи розрахунків;
- зроблено висновки.

Доповідь розраховується на 4...5 хв. Основні результати проектування студент повинен підтверджувати результатами проведених розрахунків та комп'ютерного моделювання.

При оцінюванні студента комісією береться до уваги:

- обґрунтованість ухвалених в роботі рішень;
- глибина опрацювання основних питань;
- якість оформлення пояснювальної записки і графічної частини роботи;
- якість, правильність і повнота відповідей на запитання, задані членами комісії в процесі захисту курсової роботи.



## 2 ЗМІСТ І ОБСЯГ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Структура курсової роботи така: титульний аркуш; індивідуальне завдання; анотація; зміст; вступ; основна частина; висновки; перелік посилань; додатки; графічна частина.

До складу основної частини роботи входять такі розділи.

1. Коротка характеристика виробничого механізму і режимів його роботи.
  2. Розрахунок та побудова тахограми і навантажувальної діаграми виконавчого органа виробничого механізму.
  3. Попередній розрахунок потужності приводного двигуна.
  4. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода.
  5. Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання.
  6. Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода.
  7. Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску.
  8. Розрахунок характеристик приводного двигуна.
  9. Розрахунок і вибір перетворювального пристрою для живлення приводного двигуна.
  10. Побудова структурної схеми електропривода та розрахунок регуляторів системи автоматичного керування.
  11. Моделювання перехідних процесів електропривода.
  12. Розробка принципової схеми автоматизованого електропривода або модифікація до власних умов типової.
- За необхідності, після узгодження з керівником роботи, зміст роботи і об'єм графічної частини можуть бути змінені.

### **2.1 Коротка характеристика виробничого механізму і режимів його роботи**

На початковому етапі проектування здійснюється загальна характеристика виробничого механізму, наводиться класифікація та визначається місце даного механізму в межах наведеної класифікації. Здійснюється загальна характеристика технологічного процесу, в умовах якого експлуатується даний виробничий механізм.

Принцип дії виробничого механізму пояснюється на основі аналізу кінематичної схеми, на якій зображуються всі рухомі обертальні і поступальні маси, простежуються шляхи передачі потужності від приводного двигуна до виконавчого органа виробничого механізму.

На підставі проведеного аналізу визначаються вимоги до автоматизованого електропривода виробничого механізму, а саме: діапазон регулювання, точність регулювання, допустимі прискорення, необхідність реверсування тощо.

У висновку до розділу необхідно зазначити, які системи автоматизованого електропривода доцільно використовувати для привода даного виробничого механізму.

## 2.2 Розрахунок та побудова тахограми і навантажувальної діаграми виконавчого органа виробничого механізму

*Тахограма* (діаграма швидкості) – залежність лінійної  $V_{\text{во}}$  або кутової  $\omega_{\text{во}}$  швидкості виконавчого органа виробничого механізму від часу  $t$ :

$$V_{\text{во}} = f(t), \quad (2.1)$$

$$\omega_{\text{во}} = f(t). \quad (2.2)$$

Після виконання операції приведення ці залежності зображають у вигляді графіка кутової швидкості приводного двигуна  $\omega_{\text{дв}}$  від часу  $t$ :

$$\omega_{\text{дв}} = f(t). \quad (2.3)$$

Приведення лінійної швидкості руху виконавчого органа виробничого механізму  $V_{\text{во}}$  до кутової швидкості приводного двигуна  $\omega_{\text{дв}}$ , якщо відомими є передаточне число механічної передачі  $i_{\text{мп}}$  та діаметр виконавчого органа  $D_{\text{во}}$ , який знаходиться на вихідному валі редуктора і перетворює обертальний рух в поступальний рух тіла, здійснюється відповідно до формули:

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{2V_{\text{во}} \cdot i_{\text{мп}}}{D_{\text{во}}}. \quad (2.4)$$

На основі заданих шляху переміщення  $S$ , усталеної лінійної  $V_y$  або кутової  $\omega_y$  швидкостей руху, початкового  $V_{\text{поч}}$  та кінцевого  $V_{\text{кін}}$  значень швидкостей руху, допустимого лінійного  $a_{\text{доп}}$  або кутового  $\varepsilon_{\text{доп}}$  прискорення, кількості циклів за годину  $Z$  та фактичної тривалості ввімкнення  $T_{\text{вф}}\%$  розраховують:

– час пуску до усталеної швидкості або час гальмування від усталеної швидкості до зупинки з допустимим прискоренням:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{г}} = \frac{V_y}{a_{\text{доп}}} = \frac{\omega_y}{\varepsilon_{\text{доп}}}; \quad (2.5)$$

– шлях, який проходить тіло, що рухається поступально, за час пуску (гальмування):

$$S_{\text{п}} = S_{\text{г}} = \frac{V_y^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}}, \quad (2.6)$$

$$S_{\Pi} = S_{\Gamma} = \frac{1}{2} \cdot a_{\text{доп}} \cdot t_{\Pi(\Gamma)}^2, \quad (2.7)$$

$$S_{\Pi} = S_{\Gamma} = \frac{V_{\text{кін}}^2 - V_{\text{поч}}^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}}; \quad (2.8)$$

– час руху з усталеною швидкістю:

$$t_y = \frac{S - (S_{\Pi} + S_{\Gamma})}{V_y}; \quad (2.9)$$

– час циклу:

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{Z}; \quad (2.10)$$

– час роботи за цикл:

$$t_{\text{роб}} = \frac{TB_{\phi} \% \cdot t_{\text{ц}}}{100\%}; \quad (2.11)$$

– час пауз за цикл роботи:

$$t_0 = t_{\text{ц}} - t_{\text{роб}}. \quad (2.12)$$

При побудові тахограми необхідно врахувати напрям руху виробничого механізму. При робочому ході (основному технологічному режимі виробничого механізму) беруть  $V > 0$ , а при зворотному ході –  $V < 0$ .

*Навантажувальна діаграма виробничого механізму* – залежність приведеного до вала двигуна моменту опору виробничого механізму (моменту статичного опору) від часу:

$$M_c = f(t). \quad (2.13)$$

Якщо між приводним двигуном та виконавчим органом виробничого механізму розміщений ряд механічних передач, кожна з яких характеризується відповідними передаточними числами  $i_{\text{мп}}$  та ККД  $\eta_{\text{мп}}$ , то для прямого напрямку передачі енергії (від двигуна до виробничого механізму) приведений до вала двигуна момент опору механізму визначається:

$$M_c = M_{\text{мех}} \cdot \frac{1}{i_{\text{мп}_1} \cdot i_{\text{мп}_2} \cdot \dots \cdot i_{\text{мп}_n}} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{мп}_1} \cdot \eta_{\text{мп}_2} \cdot \dots \cdot \eta_{\text{мп}_n}}, \quad (2.14)$$

а для зворотного напрямку передачі енергії (від виробничого механізму до двигуна):

$$M_c = M_{\text{мех}} \cdot \frac{1}{i_{\text{мп1}} \cdot i_{\text{мп2}} \cdot \dots \cdot i_{\text{мпn}}} \cdot \eta_{\text{мп1}} \cdot \eta_{\text{мп2}} \cdot \dots \cdot \eta_{\text{мпn}}. \quad (2.15)$$

У висновку до розділу, на основі аналізу тахограми та навантажувальної діаграми, визначити режим роботи виробничого механізму.

### 2.3 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна

Потужність приводного двигуна визначається, головним чином, на основі трьох умов:

- нагрів двигуна під час роботи не повинен перевищувати допустимого значення для даного класу ізоляції;
- перевантажувальна здатність двигуна повинна бути достатньою для того, щоб короткочасно забезпечити максимальні значення моментів, які, зазвичай, визначаються динамічними складовими при пусках;
- у випадку привода механізмів з великим моментом інерції або механізмів з великим числом включень за годину пускові втрати в двигуні не повинні призводити до його перегріву.

Вибір приводного двигуна недостатньої потужності може призвести до порушення заданого технологічного процесу, зниження продуктивності механізму, а також зумовити перегрів двигуна та передчасний вихід його з ладу.

Небажаним є також і використання приводного двигуна завищеної потужності, оскільки при цьому значно збільшується вартість електропривода, а його робота відбувається при знижених ККД та коефіцієнті потужності.

Основою для розрахунку потужності приводного двигуна є навантажувальна діаграма і тахограма виробничого механізму.

Зазвичай для привода виробничих механізмів застосовують:

- двигуни, призначені для роботи в режимі S1;
- двигуни, призначені для роботи в режимі S2;
- двигуни, призначені для роботи в режимі S3.

Залежно від того, з якої серії необхідно вибрати двигун, здійснюють перетворення реальної навантажувальної діаграми до стандартної, для роботи з якою спроектований приводний двигун.

Оскільки механізми, які розглядаються в даному посібнику, працюють в повторно-короткочасному режимі, то розглянемо методику розрахунку потужності приводного двигуна для цього випадку.

В загальному випадку, розрахункова потужність приводного двигуна:

$$P_{\text{роз}} = k_3 \cdot M_{\text{с.екв}} \cdot \omega_y \cdot \sqrt{\frac{TB_{\phi} \%}{TB_{\text{ст}} \%}}, \quad (2.16)$$

$$P_{\text{роз}} = k_3 \cdot P_{\text{с.екв}} \cdot \sqrt{\frac{TB_{\phi} \%}{TB_{\text{ст}} \%}}, \quad (2.17)$$

де  $k_3$  – коефіцієнту запасу, який враховує неточності при розрахунку сил опору та динаміку ( $k_3 = 1,1 \dots 1,3$ );

$M_{\text{с.екв}}$  – еквівалентний момент згідно з навантажувальною діаграмою виробничого механізму, Н·м;

$P_{\text{с.екв}}$  – еквівалентна потужність згідно з навантажувальною діаграмою виробничого механізму, Вт;

$\omega_y$  – усталена кутова швидкість виконавчого органа виробничого механізму, приведена до вала двигуна,  $\text{с}^{-1}$ ;

$TB_{\phi}$  – фактична тривалість ввімкнення, %;

$TB_{\text{ст}}$  – стандартна тривалість ввімкнення, %.

Значення еквівалентного моменту  $M_{\text{с.екв}}$  або еквівалентної потужності  $P_{\text{с.екв}}$  розраховують на основі навантажувальної діаграми механізму:

– при незмінній швидкості ( $\omega = \text{const}$ ):

$$M_{\text{с.екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (M_{c_i}^2 \cdot t_{p_i})}{\sum_{i=1}^m t_{p_i}}}, \quad (2.18)$$

$$P_{\text{с.екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (P_{c_i}^2 \cdot t_{p_i})}{\sum_{i=1}^m t_{p_i}}}; \quad (2.19)$$

– при змінній швидкості ( $\omega = \text{var}$ ):

$$P_{\text{с.екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \left( \left( P_{c_i} \cdot \frac{\omega_{y.\text{max}}}{\omega_{y_i}} \right)^2 \cdot t_{p_i} \right)}{\sum_{i=1}^m (\beta_{y_i} \cdot t_{p_i})}}, \quad (2.20)$$

де  $M_{c_i}$  та  $P_{c_i}$  – статичні навантаження на  $i$ -тій робочій ділянці наванта-

жувальної діаграми виконавчого органа виробничого механізму;

$\omega_{y_i}$  – усталена кутова швидкість виконавчого органа виробничого механізму, приведена до вала двигуна на  $i$ -тій робочій ділянці циклу;

$\omega_{y_{max}}$  – усталена максимальна кутова швидкості виконавчого органа виробничого механізму приведена до вала двигуна;

$\beta_{y_i}$  – коефіцієнт погіршення тепловіддачі на  $i$ -тій робочій ділянці циклу при швидкості  $\omega_{y_i}$ ;

$t_{p_i}$  – тривалість роботи на  $i$ -тій робочій ділянці циклу з відповідним навантаженням  $M_{ci}$  або  $P_{ci}$ ;

$m$  – число робочих ділянок навантажувальної діаграми виконавчого органа виробничого механізму у циклі.

Фактичне значення тривалості ввімкнення:

$$TB_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{p_i}}{\sum_{i=1}^m t_{p_i} + \sum_{q=1}^z t_{0q}} \cdot 100\%, \quad (2.21)$$

де  $t_{0q}$  – тривалість паузи на  $q$ -тій ділянці навантажувальної діаграми;

$z$  – число пауз у циклі.

Коефіцієнт погіршення тепловіддачі на  $i$ -тій робочій ділянці циклу при усталеній швидкості  $\omega_{y_i}$ :

$$\beta_{y_i} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_{y_i}}{\omega_{y_{max}}}, \quad (2.22)$$

де  $\beta_0$  – коефіцієнт погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі (якорі) (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Наближені значення коефіцієнта  $\beta_0$

Виконання двигуна	Коефіцієнт $\beta_0$
З незалежною вентиляцією	1
Без примусового охолодження	0,95...0,98
Самовентильовані	0,45...0,55
Захищені самовентильовані	0,25...0,35

У висновку до розділу порівняти отриманий діапазон потужностей зі стандартним рядом потужностей електродвигунів та вибрати значення номінальної потужності приводного двигуна, яке потрапляє в розрахунковий діапазон або найближче більше.

## 2.4 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Техніко-економічне обґрунтування виконується з метою вибору оптимального варіанта системи автоматизованого електропривода із ряду можливих, які придатні для привода даного виробничого механізму.

Техніко-економічне обґрунтування базується на використанні двох критеріїв:

- технічного;
- економічного.

Обґрунтування згідно з технічним критерієм передбачає виконання порівняльного аналізу технічних характеристик кожної із систем автоматизованого електропривода, які можуть бути використані для привода даного виробничого механізму.

До переліку основних технічних характеристик відносяться:

- діапазон регулювання швидкості;
- жорсткість механічних характеристик;
- перевантажувальна здатність;
- економічність;
- можливість інтеграції в систему комплексної автоматизації виробництва тощо.

Обґрунтування згідно з економічним критерієм передбачає порівняння розглянутих варіантів систем автоматизованого електропривода за критерієм зведених витрат.

*Зведені витрати* – показник порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень, який широко використовують при виборі кращого з варіантів вирішення технічних завдань. При порівнянні можливих варіантів вирішення будь-якого завдання кращим, за інших рівних умов, вважається варіант, який передбачає мінімум зведених витрат:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (2.23)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень, 1/рік;

$K$  – капітальні вкладення, грн;

$C$  – загальні щорічні відрахування, які враховуються у собівартості продукції, грн/рік.

Капітальні вкладення:

$$K = D + SK, \quad (2.24)$$

де  $D$  – вартість приводного двигуна, грн;

$SK$  – вартість системи керування, грн.

Річні капітальні витрати:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K. \quad (2.25)$$

Загальні додаткові відрахування:

$$C = C_A + C_P + C_D + C_O, \quad (2.26)$$

де  $C_A$  – амортизаційні відрахування, грн/рік;

$C_P$  – відрахування на ремонт, грн/рік;

$C_D$  – додаткові відрахування, грн/рік;

$C_O$  – відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому береться як 10% від капітальних вкладень:

$$C_A = 0,1 \cdot K. \quad (2.27)$$

Відрахування на ремонт електрообладнання беруться в розрахунку 2% від капітальних вкладень:

$$C_P = 0,02 \cdot K. \quad (2.28)$$

Додаткові відрахування враховують втрати енергії в електроприводі за рік:

$$C_D = C_{D1} + C_{D2}, \quad (2.29)$$

де  $C_{D1}$  – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні, грн/рік;

$C_{D2}$  – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування, грн/рік.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік:

$$C_{D1} = \Delta W_{дв} \cdot c, \quad (2.30)$$

де  $\Delta W_{дв}$  – сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

$c$  – вартість електроенергії, грн/(кВт·год).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$\Delta W_{дв} = (\Delta P_{дв.н} + \Delta P_{дв.пр}) \cdot k_{зв} \cdot \Phi, \quad (2.31)$$

де  $\Delta P_{дв.н}$  – втрати потужності в двигуні у номінальному режимі роботи, кВт/год;

$\Delta P_{дв.пр}$  – додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт;

$k_{зв}$  – коефіцієнт завантаження за потужністю (береться рівним 0,8);

$\Phi$  – дійсний фонд часу роботи електропривода за рік, год/рік.



Втрати потужності в двигуні у номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{\text{дв.н}} = P_{\text{дв.н}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (2.32)$$

де  $P_{\text{дв.н}}$  – номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$\eta_{\text{дв.н}}$  – номінальний ККД приводного двигуна.

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи беруться як 10% від номінальних:

$$\Delta P_{\text{дв.пр.}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{дв.н}}. \quad (2.33)$$

Дійсний фонд часу роботи електропривода за рік:

$$\Phi = \frac{ТВ_{\phi} \%}{100} \cdot Z_{\text{рд}} \cdot Z_{\text{рз}} \cdot t_{\text{рз}}, \quad (2.34)$$

де  $ТВ_{\phi}$  – фактична тривалість ввімкнення згідно з тахограмою, %;

$Z_{\text{рд}}$  – кількість робочих днів за рік;

$Z_{\text{рз}}$  – кількість робочих змін;

$t_{\text{рз}}$  – тривалість робочої зміни, год.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік:

$$C_{\text{д2}} = \Delta W_{\text{ск}} \cdot c, \quad (2.35)$$

де  $\Delta W_{\text{ск}}$  – кількість втраченої електроенергії в системі керування за рік, (кВт·год)/рік.

Втрати енергії в системі керування за рік:

$$\Delta W_{\text{ск}} = \Delta P_{\text{ск}} \cdot k_{\text{зв}} \cdot \Phi, \quad (2.36)$$

де  $\Delta P_{\text{ск}}$  – втрати потужності в системі керування, кВт.

Втрати потужності в системі керування:

$$\Delta P_{\text{ск}} = P_{\text{пп}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{пп}}}{\eta_{\text{пп}}}, \quad (2.37)$$

де  $P_{\text{пп}}$  – номінальна потужність перетворювального пристрою, кВт;

$\eta_{\text{пп}}$  – ККД перетворювального пристрою.

Відрахування на обслуговування електрообладнання беруться як 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових витрат:

$$C_{\text{O}} = 0,05 \cdot (C_{\text{A}} + C_{\text{P}} + C_{\text{Д}}). \quad (2.38)$$

Результати розрахунків зводяться у порівняльну табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняльна таблиця

Показники	Системи електричного привода				
	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ТП-Д	ТРН-АД	ПЧ-АД
Вартість двигуна $D$ , грн					
Вартість системи керування СК, грн.					
Капітальні вкладення $K$ , грн					
Річні капітальні витрати $K_{річн}$ , грн/рік					
Амортизаційні відрахування $C_A$ , грн/рік					
Відрахування на ремонт $C_P$ , грн/рік					
Додаткові відрахування $C_D$ , грн/рік					
Відрахування на обслуговування $C_O$ , грн/рік					
Загальні відрахування $C$ , грн/рік					
Зведені витрати $Z$ , грн/рік					

У висновку до розділу, базуючись на результатах проведених розрахунків, обґрунтувати, яка із розглянутих систем автоматизованого електропривода найкраще підходить для привода даного виробничого механізму.

## 2.5 Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання

Відповідно до результатів проведених розрахунків та техніко-економічного обґрунтування вибирають приводний двигун за потужністю та швидкістю обертання:

$$P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{роз}}, \quad (2.39)$$

де  $P_{\text{дв.н}}$  – номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$P_{\text{роз}}$  – розрахункова потужність приводного двигуна, кВт.

Швидкість обертання приводного двигуна повинна забезпечувати необхідні швидкості технологічного процесу.

Основною швидкістю руху електропривода називається швидкість на природній механічній характеристиці при номінальних напрузі, частоті, потоці двигуна.

Якщо робочий хід (на зниженій швидкості) виконується на природній характеристиці, а зворотний хід (на підвищеній швидкості) – при ослабленому потоці, то основною швидкістю буде швидкість робочого ходу, а вибрана система електропривода забезпечує двозонне регулювання швидкості. При однозонному регулюванні швидкості основною швидкістю буде швидкість на природній характеристиці.

Паспортні дані приводних двигунів наведено в роботах [7, 9].

## 2.6 Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода

*Навантажувальною діаграмою привода* називається залежність моменту, який розвиває приводний двигун, від часу:

$$M = f(t). \quad (2.40)$$

Для розрахунку навантажувальної діаграми привода необхідно скористатись основним рівнянням руху:

$$M = M_c + M_d. \quad (2.41)$$

де  $M_c$  – момент статичного опору, Н·м;

$M_d$  – динамічний момент, Н·м.

Динамічний момент  $M_d$  визначається сумарним приведеним моментом інерції  $J$  і кутовими прискореннями  $\varepsilon$  на ділянках розгону та гальмування привода:

$$M_d = J \cdot \varepsilon = J \cdot \frac{d\omega}{dt}. \quad (2.42)$$

Якщо прийняти графік  $\omega(t)$  на ділянках розгону та гальмування ліній-

ним, то динамічний момент на цих ділянках:

$$M_{др} = J \frac{d\omega}{dt} = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = J \frac{\omega_{уср}}{t_{п}} = \text{const}, \quad (2.43)$$

$$M_{дг} = -J \frac{\omega_{уср}}{t_{г}} = \text{const}. \quad (2.44)$$

Приведений до вала двигуна момент інерції системи «двигун-виробничий механізм» визначають на основі твердження, що сумарний запас кінетичної енергії рухомих частин привода, відносно однієї осі, залишається незмінним. Отже, динамічну дію елементів кінематичної схеми привода, які обертаються з кутовими швидкостями  $\omega_{дв}$ ,  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ , ...,  $\omega_n$  і характеризуються моментами інерції  $J_{дв}$ ,  $J_1$ ,  $J_2$ , ...,  $J_n$ , можна замінити дією одного моменту інерції, приведенного до швидкості вала двигуна. У цьому випадку можна записати:

$$J \frac{\omega_{дв}^2}{2} = J_{дв} \frac{\omega_{дв}^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + \dots + J_n \frac{\omega_n^2}{2}, \quad (2.45)$$

звідки момент інерції, приведенний до вала двигуна:

$$J = J_{дв} + J_1 \left( \frac{\omega_1}{\omega_{дв}} \right)^2 + J_2 \left( \frac{\omega_2}{\omega_{дв}} \right)^2 + \dots + J_n \left( \frac{\omega_n}{\omega_{дв}} \right)^2, \quad (2.46)$$

$$J = \delta \cdot J_{дв} + J_1 \frac{1}{i_{мп1}^2} + J_2 \frac{1}{i_{мп1}^2 \cdot i_{мп2}^2} + \dots + J_n \frac{1}{i_{мп1}^2 \cdot i_{мп2}^2 \cdot \dots \cdot i_{мпn}^2}, \quad (2.47)$$

де  $\delta$  – коефіцієнт, що враховує інерцію муфт, момент інерції яких, зазвичай, є невідомим ( $\delta = 1, 2$ ).

Досить часто у виробничих механізмах присутні також і елементи масою  $m_{п}$ , які здійснюють поступальний рух із лінійною швидкістю  $V$ . Їх інерційні маси приводяться таким чином:

$$m_{п} \frac{V^2}{2} = J \frac{\omega_{дв}^2}{2}, \quad (2.48)$$

звідки момент інерції, приведенний до вала двигуна:

$$J = m_{п} \cdot \left( \frac{V}{\omega_{дв}} \right)^2 = m_{п} \cdot \left( \frac{V}{\omega_{дв}} \right)^2 = m_{п} \cdot \rho^2, \quad (2.49)$$

де  $\rho$  – радіус приведення.

Якщо виробничий механізм має елементи, які рухаються як обертально, так і поступально, то сумарний приведений до вала двигуна момент інерції визначається:

$$J = \delta \cdot J_{\text{дв}} + J_1 \frac{1}{i_{\text{мп1}}^2} + J_2 \frac{1}{i_{\text{мп1}}^2 \cdot i_{\text{мп2}}^2} + \dots + J_n \frac{1}{i_{\text{мп1}}^2 \cdot i_{\text{мп2}}^2 \cdot \dots \cdot i_{\text{мпn}}^2} + m_{\text{п}} \left( \frac{V}{\omega_{\text{дв}}} \right)^2. \quad (2.50)$$

## 2.7 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску

Для перевірки правильності вибору приводного двигуна необхідно здійснити його перевірку за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску.

Оскільки режим роботи виробничого механізму може передбачати часті пуски та електричні гальмування, які суттєво впливають на нагрів приводного двигуна, то виконується його перевірка за нагрівом відповідно до умови:

$$M_{\text{дв.н}} \geq M_{\text{екв}} \cdot \sqrt{\frac{ТВ_{\text{ф}} \%}{ТВ_{\text{ст}} \%}}, \quad (2.51)$$

де  $M_{\text{дв.н}}$  – номінальний момент приводного двигуна, Н·м;

$M_{\text{екв}}$  – еквівалентний момент згідно з навантажувальною діаграмою привода, Н·м;

$ТВ_{\text{ф}}$  – фактична тривалість ввімкнення, %;

$ТВ_{\text{ст}}$  – стандартна тривалість ввімкнення, %.

Еквівалентний момент згідно з навантажувальною діаграмою привода:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^w (M_j^2 t_j)}{\sum_{j=1}^w (\beta_j t_j)}}, \quad (2.52)$$

де  $M_j$  – момент, який повинен розвивати приводний двигун на  $j$ -тій робочій ділянці навантажувальної діаграми привода, Н·м;

$\beta_j$  – коефіцієнт погіршення тепловіддачі приводного двигуна на  $j$ -тій робочій ділянці навантажувальної діаграми привода;

$t_j$  – тривалість роботи на  $j$ -тій ділянці навантажувальної діаграми привода з відповідним навантаженням  $M_j$ , с;

$w$  – число робочих ділянок навантажувальної діаграми привода в циклі.

Значення коефіцієнта погіршення тепловіддачі приводного двигуна на  $j$ -тій робочій ділянці навантажувальної діаграми привода визначається:

– при роботі з усталеною швидкістю  $\omega_{yj}$ :

$$\beta_{yj} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_{yj}}{\omega_{дв.н}}; \quad (2.53)$$

– при роботі зі змінною швидкістю (пуски, гальмування):

$$\beta_{пj} = \frac{1 + \beta_0}{2}, \quad (2.54)$$

де  $\beta_0$  – коефіцієнт погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі (якорі);

$\omega_{yj}$  – усталена кутова швидкість виконавчого органу виробничого механізму, приведена до вала двигуна на  $j$ -тій робочій ділянці навантажувальної діаграми привода;

$\omega_{дв.н}$  – номінальна кутова швидкість приводного двигуна,  $c^{-1}$ .

Перевірка приводного двигуна на перевантажувальну здатність здійснюється відповідно до умови:

$$\lambda_k \geq \frac{M_{max}}{M_{дв.н}}, \quad (2.55)$$

де  $\lambda_k$  – кратність критичного моменту приводного двигуна (відповідно до паспортних даних);

$M_{max}$  – максимальне значення моменту, який повинен розвивати приводний двигун за цикл роботи (згідно з навантажувальною діаграмою привода), Н·м;

$M_{дв.н}$  – номінальний момент приводного двигуна, Н·м.

Для забезпечення надійного пуску приводного двигуна необхідно здійснити його перевірку за умовами пуску відповідно до умови:

$$M_{дв.п} \geq M_{с.п} + M_d, \quad (2.56)$$

де  $M_{дв.п}$  – пусковий момент приводного двигуна (згідно з паспортом), Н·м;

$M_{с.п}$  – момент опору механізму при швидкості, що дорівнює нулю, Н·м;

$M_d$  – динамічний момент, Н·м.

Оскільки пусковий момент асинхронного двигуна пропорційний квадрату напруги, то в умові перевірки додатково необхідно врахувати можли-

ве зниження напруги мережі при пуску:

$$k_u^2 \cdot M_{\text{дв.п}} \geq M_{\text{с.п}} + M_{\text{д}}, \quad (2.57)$$

де  $k_u$  – коефіцієнт, який враховує зниження напруги мережі при пуску (при 10% зниженні напруги мережі живлення  $k_u = 0,9$ ).

$$k_u = \frac{U_{\text{пуск}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (2.58)$$

де  $U_{\text{пуск}}$  – напруга в мережі при пуску, В;

$U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга мережі, В.

Для механізмів, які характеризуються підвищеним моментом опору на початку руху (рис. 2.1), перевірка за умовами пуску здійснюється таким чином:

$$M_{\text{дв.п}} \geq 1,2 \cdot M_{\text{с.п}} + M_{\text{д}}, \quad (2.59)$$

або

$$k_u^2 \cdot M_{\text{дв.п}} \geq 1,2 \cdot M_{\text{с.п}} + M_{\text{д}}. \quad (2.60)$$

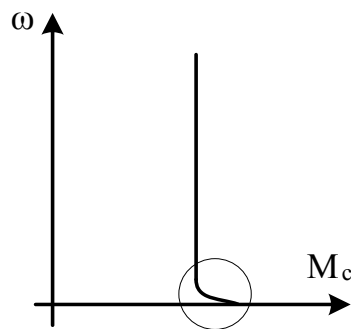


Рисунок 2.1 – Механічна характеристика механізму, який характеризується підвищеним моментом опору на початку руху

У висновку до розділу проаналізувати результати проведених перевірок, на основі чого зробити висновок щодо правильності вибору приводного двигуна.

## 2.8 Розрахунок характеристик приводного двигуна

Основними характеристиками приводного електродвигуна є механічна та електромеханічна характеристики.

*Механічною характеристикою* електродвигуна називається залежність його кутової швидкості  $\omega$  від обертового моменту  $M$ :

$$\omega = f(M). \quad (2.61)$$

*Електромеханічною характеристикою* електродвигуна називається залежність його кутової швидкості  $\omega$  від струму  $I$ :

$$\omega = f(I). \quad (2.62)$$

### 2.8.1 Розрахунок характеристик двигуна постійного струму незалежного збудження

Рівняння механічної характеристики двигуна постійного струму незалежного (паралельного) збудження:

$$\omega = \frac{U}{C_M \Phi} - M \frac{R_{\text{я}}}{(C_M \Phi)^2}, \quad (2.63)$$

де  $U$  – напруга, прикладена до якоря, В;

$C_M \Phi$  – коефіцієнт потоку;

$M$  – момент двигуна, Н·м;

$R_{\text{я}}$  – опір кола якоря, Ом.

Рівняння електромеханічної характеристики двигуна постійного струму незалежного (паралельного) збудження:

$$\omega = \frac{U}{C_M \Phi} - I_{\text{я}} \frac{R_{\text{я}}}{C_M \Phi}, \quad (2.64)$$

де  $I_{\text{я}}$  – струм в колі якоря, А.

Природні механічна та електромеханічна характеристики двигуна постійного струму незалежного (паралельного) збудження будуються за паспортними даними по характерних точках:

– швидкість ідеального холостого ходу ( $M = 0$  або  $I_{\text{я}} = 0$ ):

$$\omega_0 = \frac{U_{\text{дв.н}}}{C_M \Phi}, \quad (2.65)$$

де  $U_{\text{дв.н}}$  – номінальна напруга приводного двигуна, В;

– момент та струм короткого замикання ( $\omega = 0$ ):



$$M_{кз} = \frac{U_{дв.н} \cdot C_M \Phi}{R_{я}}, \quad (2.66)$$

$$I_{кз} = \frac{U_{дв.н}}{R_{я}}. \quad (2.67)$$

Коефіцієнт потоку відповідно до паспортних даних:

$$C_M \Phi = \frac{U_{дв.н} - I_{я.н}}{\omega_{дв.н}}, \quad (2.68)$$

де  $I_{я.н}$  – номінальний струм якоря приводного двигуна, А;  
 $\omega_{дв.н}$  – номінальна кутова швидкість приводного двигуна,  $c^{-1}$ .  
 Опір якоря згідно з паспортними даними:

$$R_{я} = 0,5 \cdot (1 - \eta_{дв.н}) \frac{U_{дв.н}}{I_{я.н}}, \quad (2.69)$$

де  $\eta_{дв.н}$  – номінальний ККД приводного двигуна.

### 2.8.2 Розрахунок характеристик асинхронного двигуна

Рівняння, яке пов'язує кутову швидкість двигуна з ковзанням s:

$$\omega(s) = \omega_0 \cdot (1 - s), \quad (2.70)$$

де  $\omega_0$  – синхронна кутова швидкість двигуна,  $c^{-1}$ .

Момент двигуна:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2 \cdot \frac{R'_2}{s}}{\omega_0 \cdot \left[ \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}, \quad (2.71)$$

де  $U_{\phi}$  – фазна напруга, В;

$R_1$  – активний опір обмотки статора, Ом;

$R'_2$  – приведений активний опір обмотки ротора, Ом;

$X_1$  – індуктивний опір розсіювання обмотки статора, Ом;

$X'_2$  – приведений індуктивний опір розсіювання обмотки ротора, Ом.

Приведений струм ротора:

$$I'_2(s) = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}. \quad (2.72)$$

Критичний момент двигуна:

$$M_k = \frac{3 \cdot U_\phi^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[ R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2} \right]}. \quad (2.73)$$

Критичне ковзання двигуна:

$$s_k = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}}. \quad (2.74)$$

### 2.8.3 Використання формул Клоса та Чекунова для побудови механічної характеристики асинхронного двигуна

Для побудови природної механічної характеристики АД можна використати формули Клоса (2.75) та Чекунова (2.76):

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s}{s_k} + 2 \cdot a \cdot s_k + \frac{s_k}{s}}, \quad (2.75)$$

де  $M_k$  – критичний момент двигуна, Н·м;

$s$  – ковзання;

$s_k$  – критичне ковзання;

$a$  – розрахунковий коефіцієнт;

$$M(s) = M_k \cdot \frac{2 + (s^2 - s_k^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (2.76)$$

де  $K_s$  – розрахунковий коефіцієнт.

При використанні формул Клоса та Чекунова пропонується:

– для АД, призначених для роботи в режимі S1 в діапазоні зміни ковзання від 0 до  $s_k$ , використати формулу Клоса, а в діапазоні зміни ковзання від  $s_k$  до 1 використати формулу Чекунова;

– для АД, призначених для роботи в режимі S2 чи S3, в усьому діапазоні зміни ковзання використати формулу Чекунова.

Усі необхідні параметри розраховуються з паспортних даних електродвигуна.

Критичне ковзання:

$$s_k = s_{\text{НОМ}} \cdot (\lambda_k + \sqrt{\lambda_k^2 - 1}), \quad (2.77)$$

де  $s_{\text{НОМ}}$  – номінальне ковзання;

$\lambda_k$  – кратність критичного моменту.

Номінальне ковзання:

$$s_{\text{НОМ}} = \frac{n_0 - n_{\text{дв.н}}}{n_0}, \quad (2.78)$$

де  $n_0$  – синхронна швидкість обертання приводного двигуна, об/хв;

$n_{\text{дв.н}}$  – номінальна швидкість обертання приводного двигуна, об/хв.

Кратність критичного моменту:

$$\lambda_k = \frac{M_k}{M_{\text{дв.н}}}, \quad (2.79)$$

де  $M_{\text{дв.н}}$  – номінальний момент приводного двигуна, Н·м.

Коефіцієнт  $a$ :

$$a = \frac{R_1}{R'_2}, \quad (2.80)$$

де  $R_1$  – активний опір обмотки статора, Ом;

$R'_2$  – приведений активний опір обмотки ротора, Ом.

Розрахунковий приведений активний опір обмотки ротора:

$$R'_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{дв.н}} + \Delta P_{\text{мех}}}{I_{\text{дв.н}}^2 \cdot \frac{1 - s_{\text{НОМ}}}{s_{\text{НОМ}}}}, \quad (2.81)$$

де  $P_{\text{дв.н}}$  – номінальна потужність приводного двигуна, Вт;

$\Delta P_{\text{мех}}$  – механічні втрати потужності приводного двигуна, Вт;

$I_{\text{дв.н}}$  – номінальний струм приводного двигуна, А.

Механічні втрати беруть рівними:

$$\Delta P_{\text{мех}} = (0,01 \dots 0,05) \cdot P_{\text{дв.н}}. \quad (2.82)$$

Розрахунковий активний опір статора:

$$R_1 = \frac{U_{\text{ф.н}} \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \eta_{\text{дв.н}})}{I_{\text{дв.н}}} - C_{\text{роз}}^2 \cdot R'_2 - \frac{\Delta P_{\text{мех}}}{3 \cdot I_{\text{дв.н}}^2}, \quad (2.83)$$

де  $U_{\text{ф.н}}$  – номінальна фазна напруга, В;  
 $\cos\varphi$  – коефіцієнт потужності;  
 $\eta_{\text{дв.н}}$  – номінальний ККД приводного двигуна;  
 $C_{\text{роз}}$  – розрахунковий коефіцієнт ( $C_{\text{роз}} = 1,01 \dots 1,05$ , менші значення беруться для машин більшої потужності).

Номінальна фазна напруга при схемі з'єднання обмоток «зіркою»:

$$U_{\text{ф.н}} = \frac{U_{\text{л.н}}}{\sqrt{3}}, \quad (2.84)$$

де  $U_{\text{л.н}}$  – номінальна лінійна напруга приводного двигуна, В.  
 Коефіцієнт  $K_s$ :

$$K_s = \frac{\lambda_{\text{п}} \cdot \left( \frac{1}{s_{\text{к}}} + s_{\text{к}} \right) - 2}{1 - s_{\text{к}}^2}, \quad (2.85)$$

де  $\lambda_{\text{п}}$  – кратність пускового моменту приводного двигуна.  
 Кратність пускового моменту:

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{M_{\text{дв.п}}}{M_{\text{дв.н}}}, \quad (2.86)$$

де  $M_{\text{дв.п}}$  – пусковий момент приводного двигуна.

## 2.9 Розрахунок і вибір перетворювального пристрою для живлення приводного двигуна

Електротехнічна промисловість випускає широке коло перетворювачів енергії для живлення електродвигунів. Задача вибору перетворювального пристрою зводиться до мінімуму:

- вибір за родом струму;
- вибір за значенням вхідної напруги мережі живлення;
- вибір за потужністю та струмом.

Сучасні перетворювачі виконуються з мікропроцесорними системами керування, що забезпечує високу якість керування та дозволяє їм легко інтегруватися в системи комплексної автоматизації виробництва.

### 2.9.1 Вибір тиристорного перетворювача напруги для живлення двигуна постійного струму

При виборі комплектних тиристорних перетворювачів необхідно, щоб номінальні значення напруги  $U_{\text{тп.н}}$  та струму  $I_{\text{тп.н}}$  тиристорного перетворювача були більші або дорівнювали номінальним значенням напруги  $U_{\text{дв.н}}$  та струму  $I_{\text{дв.н}}$  двигуна, тобто:

$$\begin{cases} U_{\text{тп.н}} \geq U_{\text{дв.н}} \\ I_{\text{тп.н}} \geq I_{\text{дв.н}} \end{cases} \quad (2.87)$$

Рекомендується, щоб номінальна напруга приводного двигуна була меншою номінальної напруги комплектного тиристорного перетворювача на 5–10%, що враховує можливе зниження напруги мережі живлення.

Окрім цього, необхідно щоб максимальний струм перетворювача  $I_{\text{тп.мах}}$  був не меншим максимального струму приводного двигуна  $I_{\text{дв.мах}}$ :

$$I_{\text{тп.мах}} \geq I_{\text{дв.мах}} \quad (2.88)$$

Враховуючи цю умову, номінальний струм тиристорного перетворювача можна визначити таким чином:

$$I_{\text{тп.н}} \geq \frac{\lambda_{\text{д}}}{\lambda_{\text{тп}}} \cdot I_{\text{дв.н}} \quad (2.89)$$

де  $\lambda_{\text{д}}$  – перевантажувальна здатність двигуна постійного струму;

$\lambda_{\text{тп}}$  – перевантажувальна здатність тиристорного перетворювача.

Слід мати на увазі, що всі тиристорні перетворювачі, призначені для живлення якірних кіл, повинні допускати роботу в циклічному режимі. При чому, циклічне перевантаження не повинно перевищувати 75% при тривалості перевантаження 60 с і 125% при тривалості перевантаження 10 с.

З джерела [10] пропонується вибрати комплектний тиристорний перетворювач типу КТЭ з мікропроцесорною системою керування. Структура перетворювача типу КТЭ показана на рис. 2.2.

Використання таких перетворювачів в складі замкнених систем ЕП забезпечує діапазон регулювання 25:1 при зворотному зв'язку за ЕРС та 100:1 при зворотному зв'язку за швидкістю.

На рис. 2.2: Q1 – триполюсний автоматичний вимикач; Q2 – двополюсний автоматичний вимикач; КМ – лінійний контактор; В – пристрій живлення обмотки збудження; М – пристрій живлення електромагнітного гальма; Д – динамічне гальмо; Т1 – трансформатор; Т – блок живлення тахогенератора; ZZ – сельсин-сенсор кута повороту.

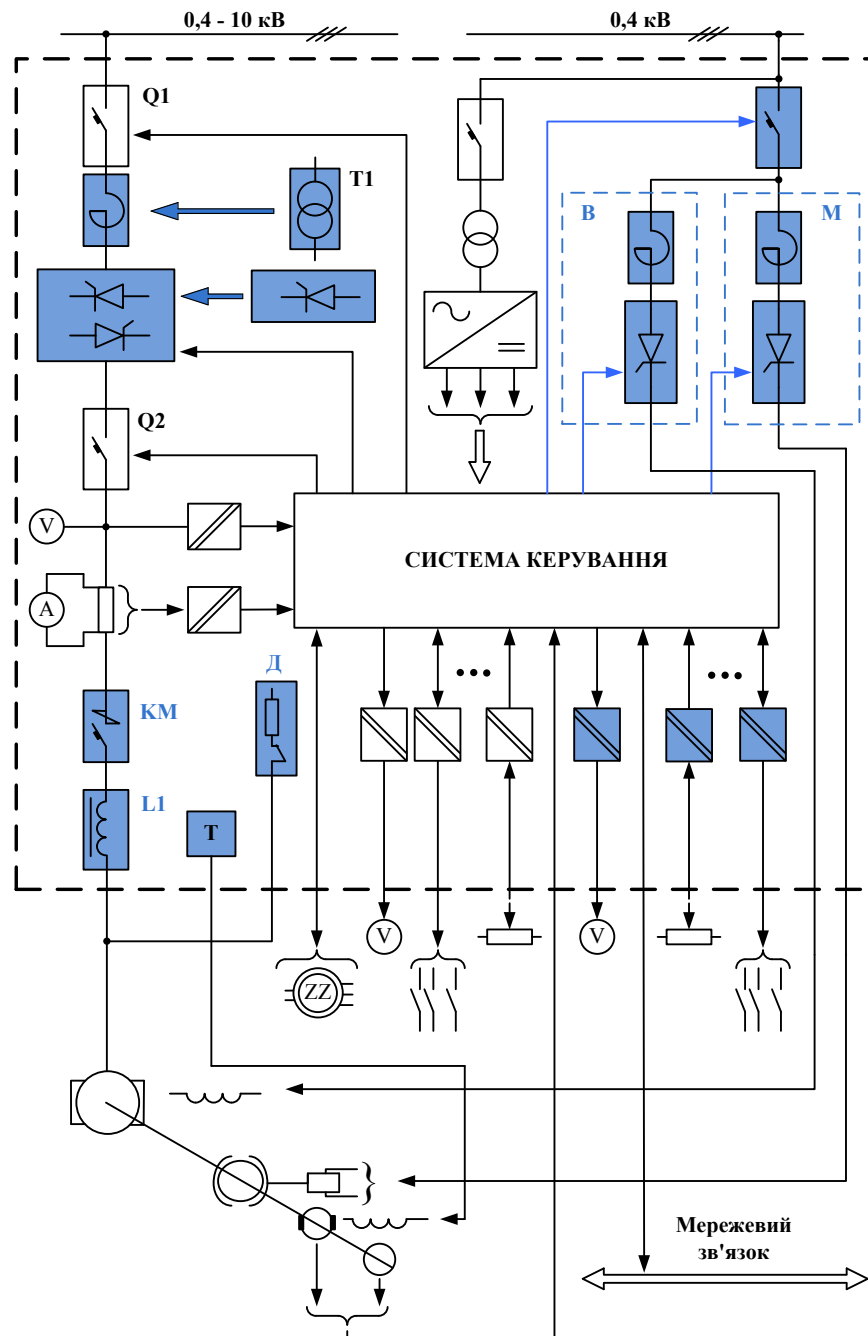


Рисунок 2.2 – Структура перетворювача типу КТЭ на струми від 10 до 1600 А

### 2.9.2 Вибір тиристорного регулятора напруги для живлення двигуна змінного струму

Електроприводи змінного струму з тиристорними регуляторами напруги характеризуються незначним діапазоном регулювання швидкості та необхідністю суттєвого зниження моменту навантаження при регулюванні.

Наприклад, при регулюванні швидкості двигуна на 12,5% вниз від основної (при цьому ковзання змінюється від  $s_{\text{ном}} = 0,03$  до  $s_{\text{рег}} = 0,13$ ) допустимий момент навантаження необхідно зменшити в п'ять раз:

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{дв.н}} \frac{S_{\text{ном}}}{S_{\text{рег}}} \quad (2.90)$$

Таким чином, використання тиристорних регуляторів напруги в електроприводах навіть з вентиляторним моментом навантаження зумовлює необхідність завищення потужності приводного двигуна в 2,5–3 рази.

Отже, тиристорні регулятори напруги доцільно використовувати в нерегульованих електроприводах із перемежованим режимом роботи, оскільки дозволяють підвищити енергетичні показники асинхронних електроприводів при малих навантаженнях.

На рис. 2.3 показано побудовані для двигуна 4А180М4 потужністю 30 кВт залежності ККД,  $\cos\varphi$ , відносних струму статора  $I_1^*$  і втрат потужності в двигуні  $\Delta P^*$  від відносної напруги  $U_1^*$  при моменті навантаження  $M_c$ , що дорівнює 20% від номінального. З кривих видно, що найкращих значень ці показники досягають при напругах, що дорівнюють 0,6...0,8 номінального значення.

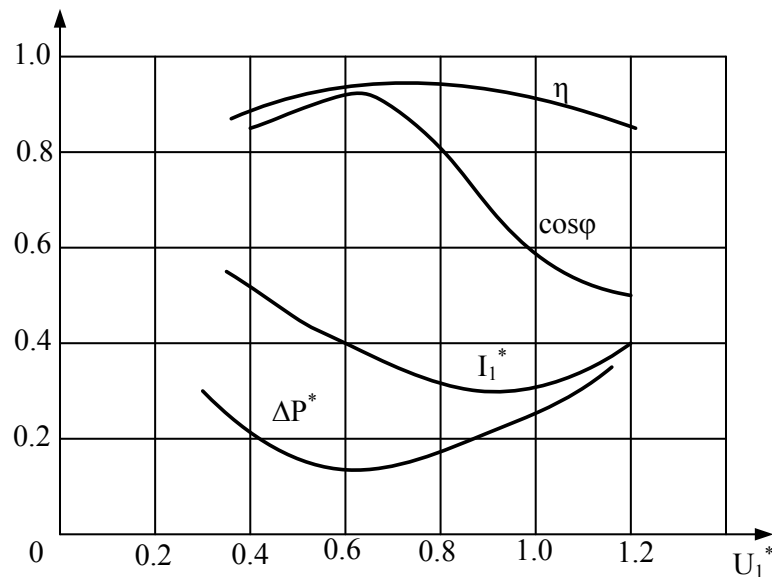


Рисунок 2.3 – Залежності струму статора, втрат потужності, ККД і коефіцієнта потужності від напруги при  $M_c = 0,2M_{\text{ном}}$

Тиристорні перетворювачі також широко використовують в пристроях плавного пуску для обмеження пускових струмів. Звичайно, обмеження пускового струму в асинхронному двигуні призводить до зниження його моменту, а тому область їх використання обмежується механізмами, які запускають в режимі холостого ходу, або характеризується незначними моментами статичного опору при малих швидкостях.

Тиристорний регулятор напруги вибирають відповідно до умов (2.87)–(2.89).

З джерела [11] пропонується вибирати трифазний тиристорний регулятор напруги, який забезпечує регулювання напруги в діапазоні від 5% до 98% від вхідної, а з джерела [12] – пристрій плавного пуску АД.

### 2.9.3 Вибір перетворювача частоти для живлення двигуна змінного струму

Популярність перетворювачів частоти обумовлена рядом переваг, які з'являються при їх використанні, серед яких:

- оперативне автоматичне чи ручне керування швидкістю або параметром, який залежить від швидкості;
- економія електроенергії за рахунок високого ККД перетворювача та оптимізації роботи приводного двигуна із конкретним навантаженням;
- широкий діапазон регулювання швидкості;
- зниження пускових струмів до мінімального рівня, який необхідний для реалізації пуску;
- зниження ударних навантажень на механізм при пуску;
- комплексний захист двигуна та механізму.

Умови вибору перетворювача частоти:

$$\begin{cases} P_{\text{ПЧ}} \geq P_{\text{дв.сп}}, \\ I_{\text{ПЧ}} \geq I_{\text{дв.н}}, \end{cases} \quad (2.91)$$

де  $P_{\text{дв.сп}}$  – споживана електродвигуном потужність в номінальному режимі, кВт;

$I_{\text{дв.н}}$  – номінальний струм приводного двигуна, А.

Споживана електродвигуном потужність в номінальному режимі:

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{k \cdot P_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (2.92)$$

де  $k$  – коефіцієнт спотворення струму на виході перетворювача частоти ( $k = 0,95 \dots 1,05$ );

$P_{\text{дв.н}}$  – номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$\eta_{\text{дв.н}}$  – номінальний ККД приводного двигуна.

Якщо робота приводного двигуна характеризується важкими умовами пуску, то перетворювач частоти додатково перевіряється за такими умовами:

- необхідна робоча потужність перетворювача частоти:

$$P_{\text{ПЧ}} \geq \frac{P_{\text{дв.пуск}}}{\lambda_{\text{ПЧ}}}, \quad (2.93)$$

де  $P_{\text{дв.пуск}}$  – пускова потужність приводного двигуна, кВт;

$\lambda_{\text{ПЧ}}$  – перевантажувальна здатність перетворювача ( $\lambda_{\text{ПЧ}} = 1,2 \dots 2$ );

- пускова потужність приводного двигуна:



$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{k \cdot n}{9550 \cdot \eta_{\text{дв.н}} \cdot \cos \varphi} \cdot (M_{\text{дв.н}} + M_{\text{д}}), \quad (2.94)$$

де  $n$  – оберти до яких потрібно розігнати двигун за час  $t$ , об/хв;

$M_{\text{дв.н}}$  – номінальний момент приводного двигуна, Н·м;

$M_{\text{д}}$  – динамічний момент при пуску, Н·м;

– динамічний момент при пуску:

$$M_{\text{д}} = \frac{J \cdot n}{9,55 \cdot t_{\text{п}}}, \quad (2.95)$$

де  $J$  – приведений до вала двигуна момент інерції привода, кг·м<sup>2</sup>;

– струм, який споживає електродвигун при лінійному розгоні, не повинен перевищувати пускового струму перетворювача частоти:

$$I_{\text{ПЧ.пуск}} \geq \frac{k \cdot n}{9,55 \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \cos \varphi \cdot U_{\text{ном}} \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{\text{дв.н}} + M_{\text{д}}), \quad (2.96)$$

де  $U_{\text{ном}}$  – напруга на обмотках двигуна на номінальних обертах, В.

З джерел [14, 15] пропонується вибрати перетворювачі частоти Micromaster 440, які оснащені мікропроцесорною системою керування і використовують технології з IGBT модулями.

Основні характеристики перетворювачів Micromaster 440:

- простий монтаж та введення в експлуатацію;
- релейні виходи;
- аналогові виходи 0–20 мА;
- 6 дискретних входів;
- 2 аналогових входи, які в разі необхідності можуть бути використані як 7-й і 8-й дискретні входи:

AIN 1: 0–10 В, 0–20 мА або від -10 до +10 В;

AIN 2: 0–10 В, 0–20 мА;

- модульна конструкція;
- безшумна робота двигуна завдяки високій частоті імпульсів;
- зовнішні опції для обміну даними з комп'ютером, базова панель обслуговування (BOP), розширена панель оператора (AOP) і модулі передачі даних по шині Profibus.

Блок-схема перетворювача частоти Micromaster 440 зображена на рис. 2.4.

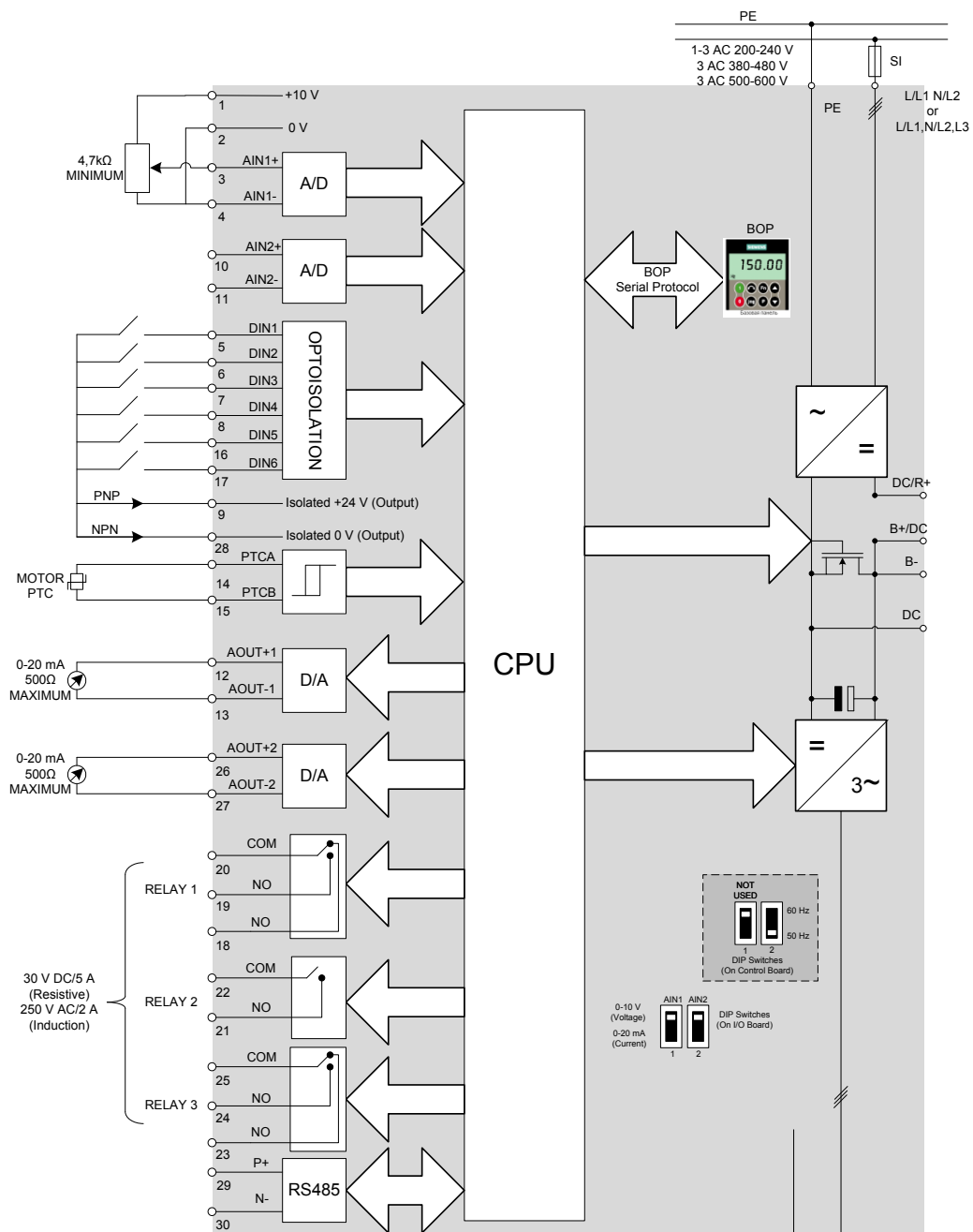


Рисунок 2.4 – Блок-схема перетворювача частоти Micromaster 440

#### Функціональні особливості:

- векторне керування без датчика швидкості;
- вбудоване динамічне гальмування постійним струмом;
- використання замкнутого PID регулятора з автопідстроюванням;
- програмована інтенсивність розгону і зупинення.

#### Особливості захисту:

- захист від підвищеної і зниженої напруги живлення;
- захист перетворювача від перегріву;
- захист від замикання на землю;
- захист від короткого замикання;
- захист від перегріву двигуна.

## 2.10 Побудова структурної схеми електропривода та розрахунок регуляторів системи автоматичного керування

### 2.10.1 Побудова структурної схеми двигуна постійного струму

Схема заміщення ДПС НЗ при постійному магнітному потоці зображена на рис. 2.5.

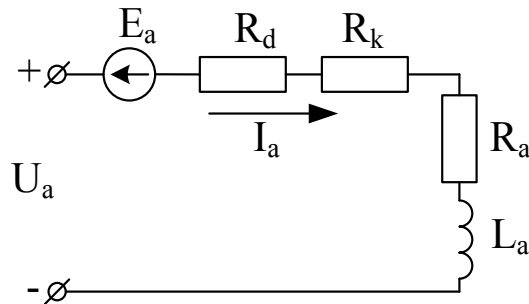


Рисунок 2.5 – Схема заміщення ДПС НЗ при постійному магнітному потоці

На рис. 2.5:  $R_d$  – активний опір додаткових полюсів;  $R_k$  – активний опір компенсаційної обмотки;  $R_a$  – активний опір кола якоря;  $L_a$  – індуктивність кола якоря;  $I_a$  – струм кола якоря;  $U_a$  – напруга живлення двигуна.

Якщо суму активних опорів позначити як  $R_\Sigma$ , то у просторі Лапласа за другим законом Кірхгофа отримаємо:

$$U_a(p) = E_a(p) + R_\Sigma I_a(p) + L_a p I_a(p), \quad (2.97)$$

де  $E_a(p)$  – ЕРС, що наводиться в колі якоря,

$$E_a(p) = k\Phi \cdot \omega(p). \quad (2.98)$$

Струм якоря можна розрахувати за виразом:

$$I_a(p) = \frac{1/R_\Sigma}{1 + T_e p} [U_a(p) - E_a(p)], \quad (2.99)$$

де  $T_e$  – електромагнітна стала часу,

$$T_e = \frac{L_a}{R_\Sigma}. \quad (2.100)$$

Основне рівняння руху у просторі Лапласа має вигляд:

$$Jp\omega(p) = M_a(p) - M_c(p), \quad (2.101)$$

де  $J$  – сумарний приведений момент інерції рухомих мас;  $M_c(t)$  – статичний момент навантаження двигуна.

Момент ДПС розраховується як добуток магнітного потоку на струм якоря двигуна. У просторі Лапласа отримаємо:

$$M_a(p) = k\Phi \cdot I_a(p). \quad (2.102)$$

Система рівнянь (2.97) – (2.102) є математичною моделлю ДПС НЗ при постійному магнітному потоці. Відповідна структурна схема зображена на рис. 2.6.

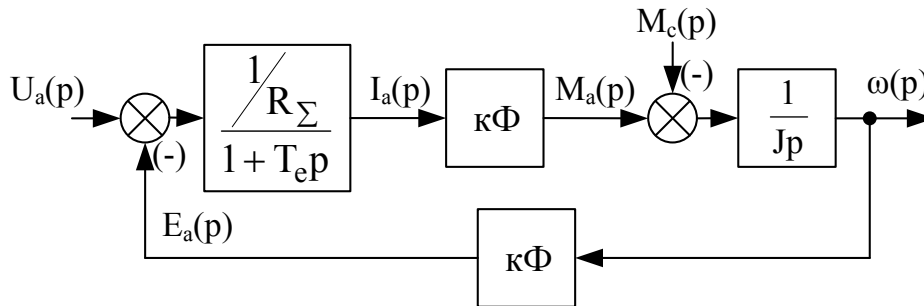


Рисунок 2.6 – Структурна схема ДПС НЗ при постійному магнітному потоці

### 2.10.2 Побудова структурної схеми двигуна змінного струму

Розглянемо модель АД, припускаючи, що робота відбувається на лінійній ділянці механічної характеристики.

Рівняння механічної характеристики на лінійній ділянці має вигляд:

$$M = \frac{2M_k}{s_k} \cdot s, \quad (2.103)$$

звідки

$$M = \frac{2M_k}{s_k} \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = \frac{2M_k}{s_k \cdot \omega_0} \cdot (\omega_0 - \omega) = \beta \cdot (\omega_0 - \omega). \quad (2.104)$$

Для обліку часу протікання електромагнітних процесів введемо електромагнітну сталу часу:

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 \cdot s_k} = \frac{x_k}{\omega_0 \cdot R'_2} = \frac{L_k}{R'_2}. \quad (2.105)$$

Структурна схема АД в межах лінійної частини характеристики буде мати вигляд (рис. 2.7):

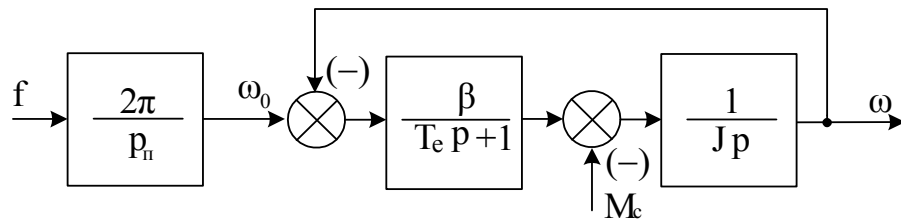


Рисунок 2.7 – Структурна схема АД в межах лінійної частини механічної характеристики

### 2.10.3 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода підйомної лебідки крана

При побудові структурної схеми механічної частини електропривода підйомної лебідки крана вважатимемо, що на вхід системи подається момент двигуна (як приводний момент), а на її виході швидкість підйому (опускання) вантажу.

Кінематична схема підйомної лебідки крана наведена на рис. А.1 (додаток А).

Структурна схема механічної частини електропривода підйомної лебідки зображена на рис. 2.8.

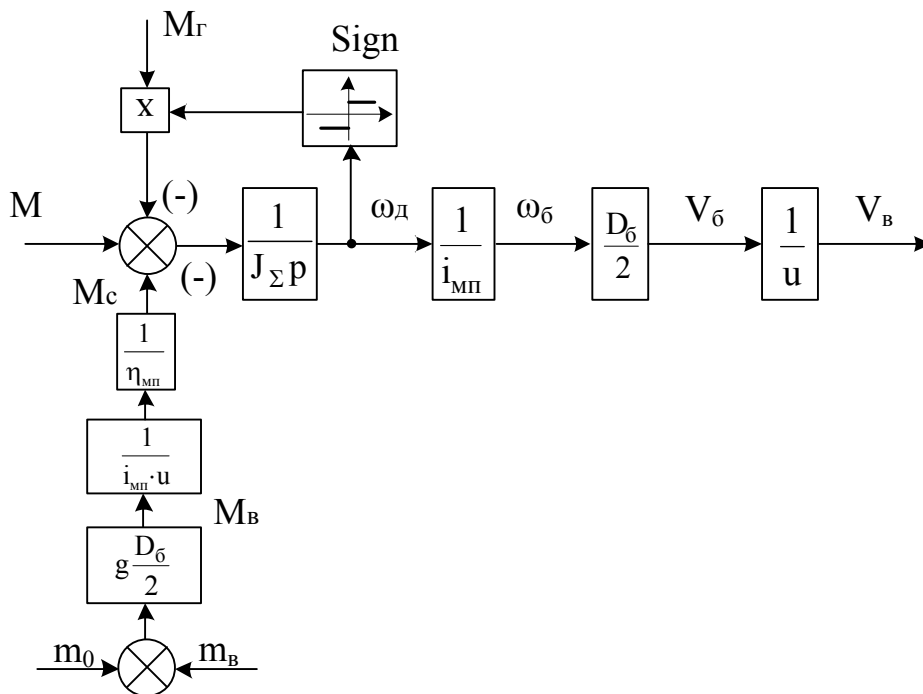


Рисунок 2.8 – Структурна схема механічної частини електропривода підйомної лебідки під час підйому

На рис. 2.8 позначено:  $M$  – момент двигуна;  $M_r$  – гальмівний момент (створюється електромагнітним гальмом);  $J_\Sigma$  – приведений до вала двигуна момент інерції привода;  $\omega_d$  – кутова швидкість обертання вала двигуна;  $\omega_b$

– кутова швидкість обертання приводного барабана;  $V_6$  – швидкість лінійного переміщення троса (намотування троса на барабан);  $V_B$  – швидкість підйому (опускання) вантажу;  $M_c$  – момент статичного опору привода;  $M_B$  – момент навантаження; Switch – перемикач, який виконує перемикання виходу залежно від знака сигналу на керувальному електроді;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $m_B$  – маса вантажу;  $D_6$  – діаметр барабана;  $i_{мп}$  – передаточне число механічної передачі (редуктора);  $\eta_{мп}$  – коефіцієнт корисної дії механічної передачі;  $\eta'_{мп}$  – ККД механічної передачі при опусканні вантажу;  $u$  – кратність поліспасти.

Елемент «Sign» використовується, щоб гальмівний момент завжди протидівав напрямку обертання.

Приведений до вала двигуна момент інерції привода можна розрахувати за формулою:

$$J_{\Sigma} = J_d + J_{гш} + J_{ред} + \frac{J_6}{i_{мп}^2} + m_B \frac{V_B^2}{\omega_d^2}, \quad (2.106)$$

де  $J_d$  – момент інерції приводного двигуна,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;

$J_{гш}$  – момент інерції гальмівного шківа,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;

$J_{ред}$  – момент інерції редуктора,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;

$J_6$  – момент інерції барабана,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ .

Під час моделювання механічної частини електропривода підйомної установки рекомендується режими підйому та опускання розглядати окремо.

#### 2.10.4 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода підйомника

При побудові структурної схеми механічної частини електропривода підйомника будуть справедливими всі позначення та пояснення, викладені під час побудови структурної схеми механічної частини електропривода підйомної лебідки. Різниця полягатиме лише у тому, що вантаж, який піднімається чи опускається, має противагу і відсутній поліспасти.

Кінематичні схеми вантажного та пасажирського підйомників наведені рис. А.2 та рис. А.3, відповідно (додаток А).

Структурна схема механічної частини електропривода врівноваженого підйомника зображена на рис. 2.9.

Приведений до вала двигуна момент інерції можна розрахувати за формулою:

$$J_{\Sigma} = J_d + J_{гш} + J_{ред} + \frac{J_{квш}}{i_{мп}^2} + (m_B + m_0 + m_{пр}) \frac{V_k^2}{\omega_d^2}, \quad (2.107)$$

де  $J_{квш}$  – момент інерції канатоведучого шківа (КВШ),  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ .

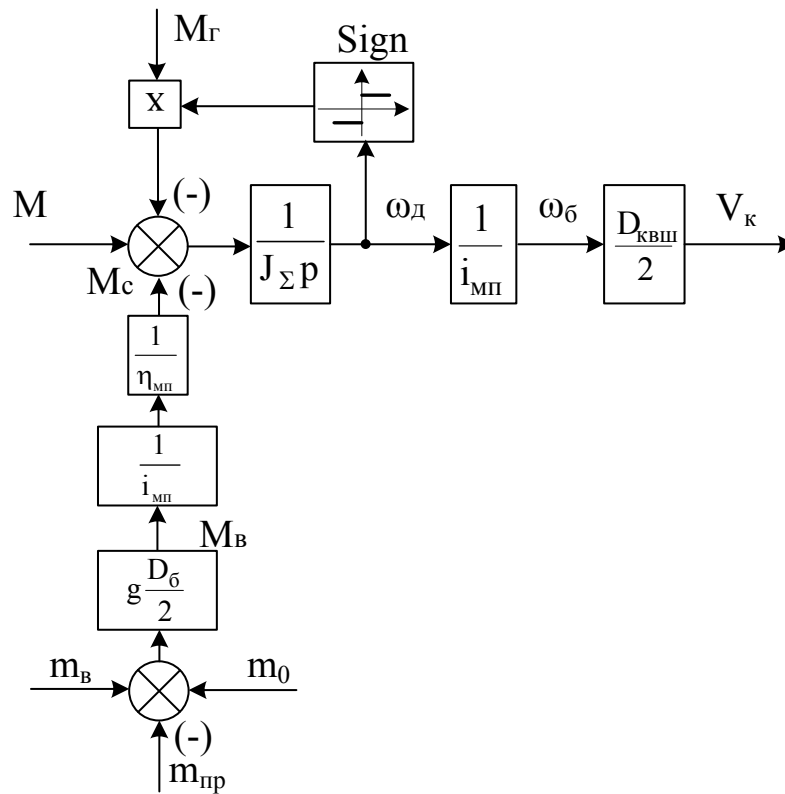


Рисунок 2.9 – Структурна схема механічної частини електропривода врівноваженого підйомника під час підйому

На рис. 2.9:  $V_k$  – швидкість переміщення кабіни;  $m_b$  – маса вантажу;  $m_0$  – маса кабіни підйомника;  $m_{пр}$  – маса противаги;  $D_{КВШ}$  – діаметр КВШ.

### 2.10.5 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода скіпового підйомника

При побудові структурної схеми механічної частини електропривода скіпового підйомника будуть справедливими всі позначення та пояснення, викладені під час побудови структурної схеми механічної частини підйомника. Різниця полягатиме лише у тому, що вантаж піднімається чи опускається по похилій площині.

Кінематична схема односкіпового підйомника наведена на рис. А.4 (додаток А).

Структурна схема механічної частини електропривода односкіпового підйомника зображена на рис. 2.10.

Сумарний приведенний до вала двигуна момент інерції можна розрахувати за формулою:

$$J_\Sigma = J_d + J_{ГШ} + J_{ред} + \frac{J_b}{i_{МП}^2} + (m_b + m_0 + m_{пр}) \frac{V_{ск}^2}{\omega_d^2}. \quad (2.108)$$

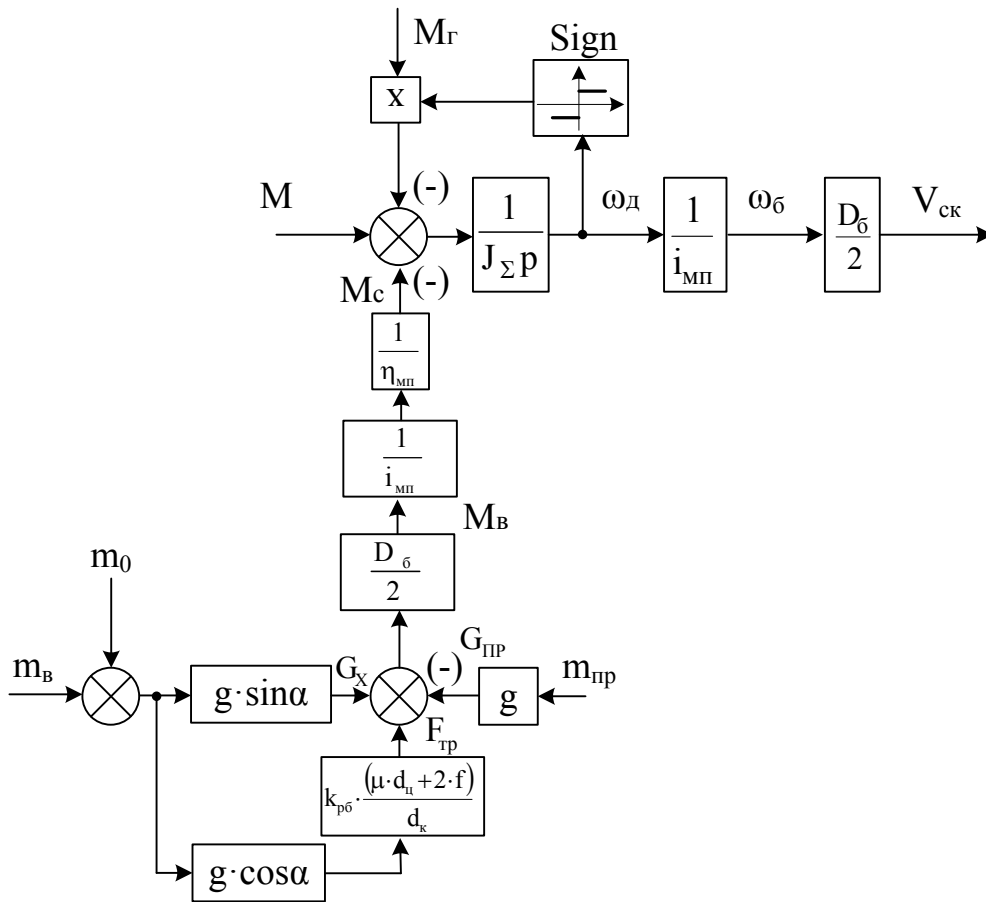


Рисунок 2.10 – Структурна схема механічної частини електропривода односкіпового підйомника під час підйому

На рис. 2.10:  $k_r$  – результувальний коефіцієнт тертя візка;  $\alpha$  – кут нахилу поверхні підйому відносно горизонту;  $V_{ск}$  – швидкість переміщення скіпа.

### 2.10.6 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода двоскіпового підйомника

Структурна схема механічної частини електропривода двоскіпового підйомника відрізняється від односкіпового тим, що роль противаги відіграє другий скіп.

Кінематична схема двоскіпового підйомника наведена на рис. А.5 (додаток А).

Структурна схема механічної частини електропривода двоскіпового підйомника зображена на рис. 2.11.

Сумарний приведений до вала двигуна момент інерції можна розрахувати за формулою:

$$J_{\Sigma} = J_d + J_{гш} + J_{ред} + \frac{J_{б}}{i_{мп}^2} + \frac{N_{нш} \cdot J_{нш}}{\left(\frac{D_{б}}{D_{нш}}\right)^2 \cdot i_{мп}^2} +$$



$$+ (m_B + 2 \cdot m_0) \cdot \frac{V_{ск}^2}{\omega_d^2}, \quad (2.109)$$

де  $N_{нш}$  – кількість напрямних шківів, шт.;  
 $J_{нш}$  – момент інерції напрямного шківа, кг·м<sup>2</sup>;  
 $D_{нш}$  – діаметр напрямного шківа, м;  
 $m_B$  – маса вантажу ( $m_B = m_{B1} + m_{B2}$ ), кг.

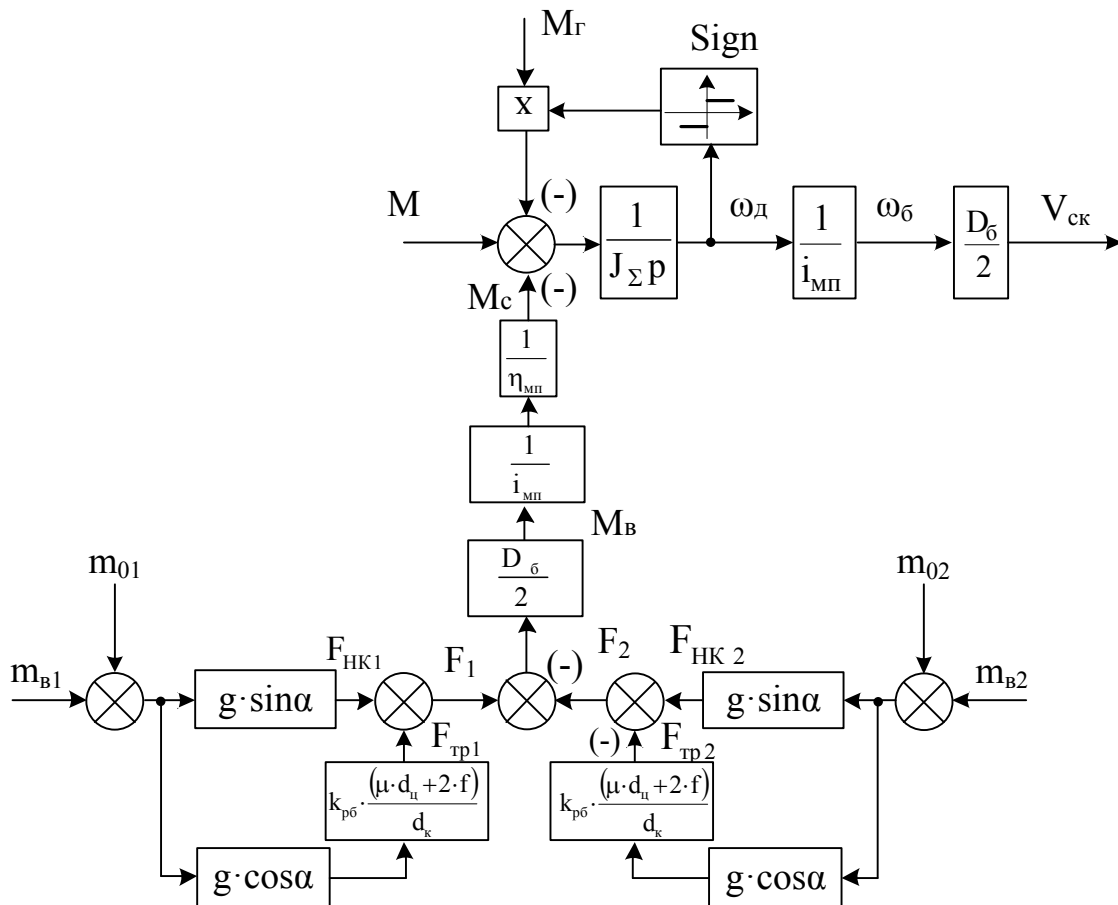


Рисунок 2.11 – Структурна схема механічної частини електропривода двоскіпового підйомника

На рис. 2.11:  $m_{B1}$  – маса вантажу першого скіпа;  $m_{01}$  – маса візка першого скіпа;  $m_{B2}$  – маса вантажу другого скіпа;  $m_{02}$  – маса візка другого скіпа.

### 2.10.7 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода механізму переміщення мостового крана

Оскільки мостовий кран приводиться у дію двома ідентичними двигунами через однакові механічні передачі, то достатньо буде розглянути механічну частину одного двигуна.

Кінематична схема механізму переміщення мостового крана наведена на рис. А.6 (додаток А).

Структурна схема механічної частини електропривода механізму переміщення крана зображена на рис. 2.12. Оскільки кінематична схема містить два приводних двигуни, то момент статичного опору одного приводного двигуна дорівнює половині результувального.

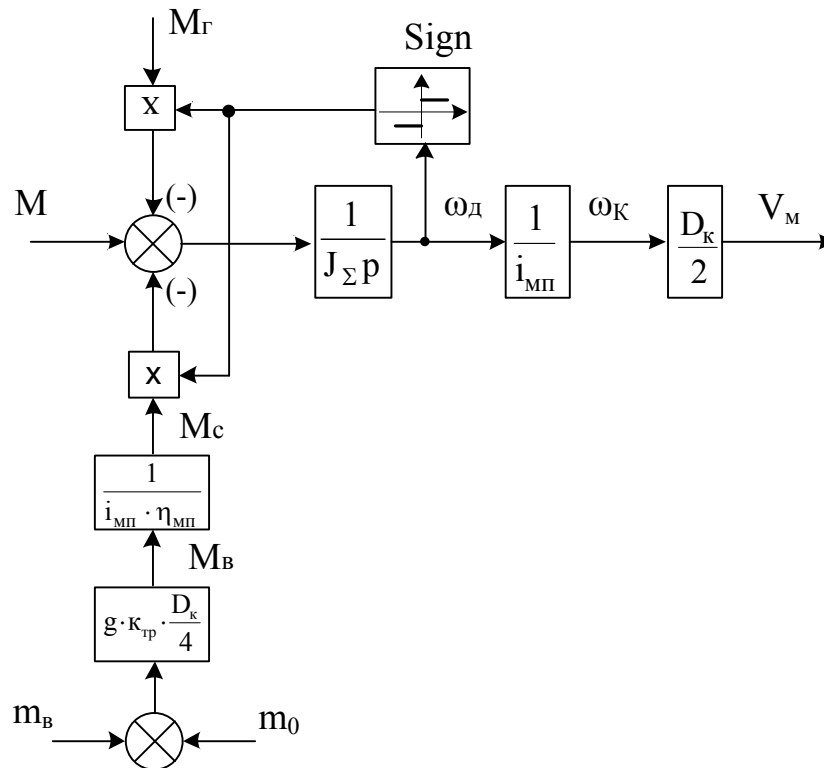


Рисунок 2.12 – Структурна схема механічної частини електропривода механізму переміщення крана без врахування вітрового навантаження

На рис. 2.12:  $m_B$  – маса вантажу;  $m_0$  – маса моста;  $k_T$  – результувальний коефіцієнт тертя;  $D_K$  – діаметр ходового колеса;  $\omega_K$  – швидкість обертання ходового колеса;  $V_M$  – швидкість переміщення мостового крана.

Сумарний приведений до вала двигуна момент інерції можна розрахувати за формулою:

$$J_{\Sigma} = \frac{J_d + 2J_{\text{ГШ}} + J_{\text{ред}} + \frac{J_{\text{к}\Sigma}}{2} + (m_B + m_0) \frac{V_M^2}{\omega_d^2}}{2}, \quad (2.110)$$

де  $J_{\text{к}\Sigma}$  – сумарний момент інерції ходових коліс (якщо чотири ходових колеса, момент інерції кожного з яких  $J_K$ , то  $J_{\text{к}\Sigma} = 4 J_K$ ),  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ .

### 2.10.8 Побудова структурної схеми механічної частини механізму переміщення візка мостового крана

Візок мостового крана приводиться у дію одним двигуном через редуктор. Структурна схема механічної частини електропривода ідентична структурній схемі механізму переміщення моста крана за виключенням того, що навантаження не ділиться на два.

Кінематична схема механізму переміщення візка мостового крана наведена на рис. А.7 (додаток А).

Структурна схема механічної частини електропривода механізму переміщення візка мостового крана зображена на рис. 12.3.

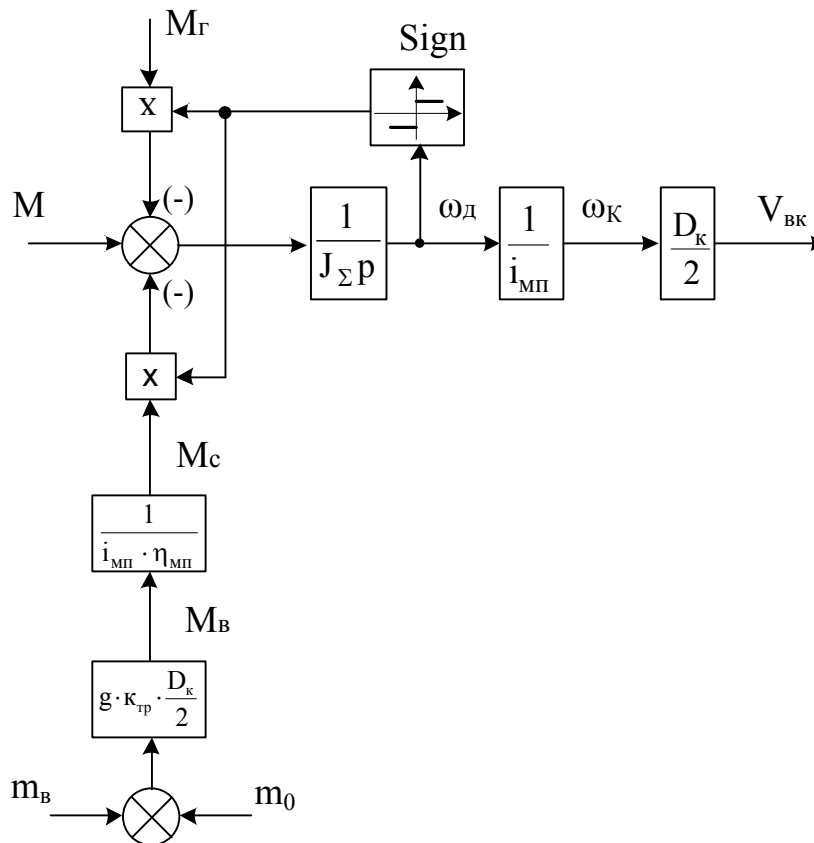


Рисунок 2.13 – Структурна схема механічної частини електропривода механізму переміщення візка

На рис. 2.13:  $m_B$  – маса вантажу;  $m_0$  – маса візка з обладнанням;  $k_T$  – результувальний коефіцієнт тертя;  $D_K$  – діаметр ходового колеса;  $\omega_K$  – швидкість обертання ходового колеса;  $V_{BK}$  – швидкість переміщення візка крана.

Сумарний приведений до вала двигуна момент інерції можна розрахувати за формулою:

$$J_{\Sigma} = J_{д} + J_{ГШ} + J_{ред} + \frac{J_{кп\Sigma}}{i_{МП}^2} + (m_B + m_0) \frac{V_{BK}^2}{\omega_{д}^2}, \quad (2.111)$$

де  $J_{кп\Sigma}$  – сумарний момент інерції колісних пар (зазвичай візок має дві колісні пари, момент інерції кожної з яких  $J_{кп}$ , то  $J_{кп\Sigma} = 2 J_{кп}$ ),  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ .

### 2.10.9 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода рольганга

Кінематична схема рольганга наведена на рис. А.8 (додаток А).

Згідно з даною кінематичною схемою всі ролики рольганга приводяться в дію одним двигуном, тому навантаження на двигун створюється усіма заготовками (злитками), які знаходяться на рольганзі.

Структурна схема механічної частини електропривода рольганга зображена на рис. 2.14.

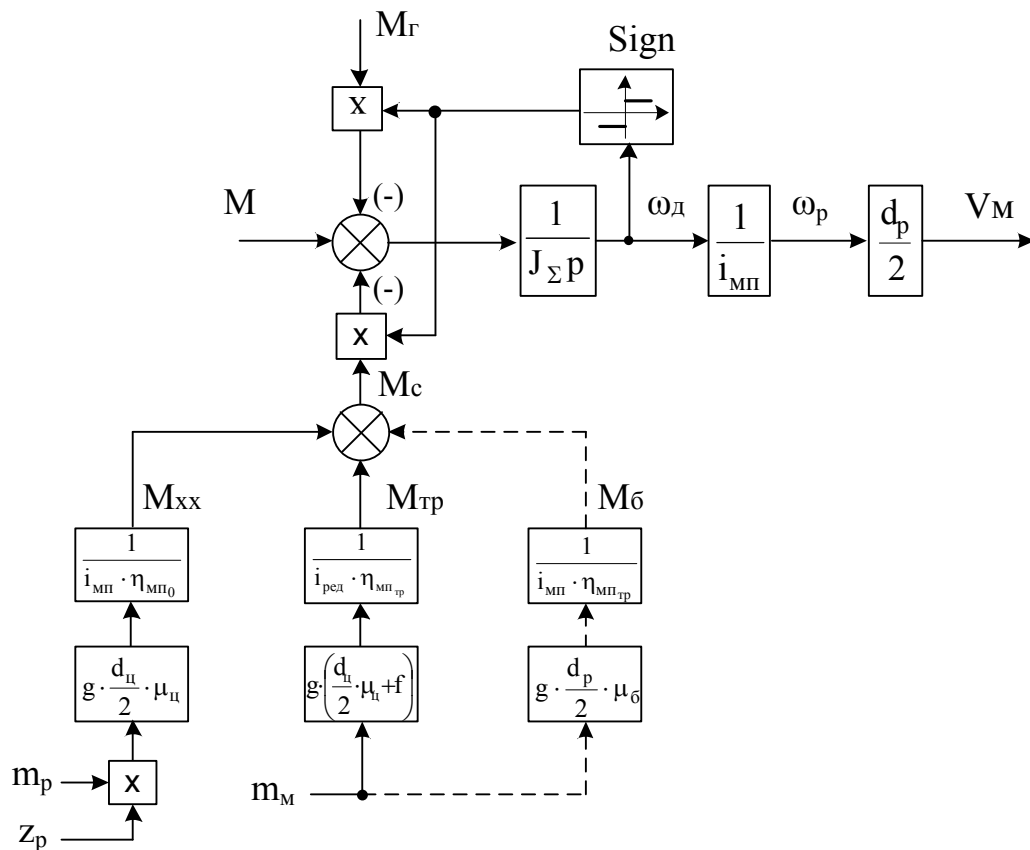


Рисунок 2.14 – Структурна схема механічної частини електропривода рольганга

На рис. 2.14 позначено:  $m_p$  – маса ролика;  $z_p$  – кількість роликів, які приводяться в дію двигуном;  $m_M$  – маса металу, яка припадає на одну секцію рольганга;  $d_{ц}$  – діаметр цапфи ролика;  $d_p$  – діаметр ролика;  $\mu_{ц}$  – коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках ролика;  $\mu_{б}$  – коефіцієнт тертя при буксуванні;  $\mu_{т}$  – коефіцієнт тертя при транспортуванні металу по роликах;  $M_{ХХ}$  – момент холостого ходу роликів;  $M_{Тр}$  – момент транспортування металу по роликах;  $M_{б}$  – момент буксування роликів по транспортованому металу;  $M_{с}$  – результувальний момент статичного опору;  $\omega_p$  – швидкість обертання роликів;  $V_M$  – швидкість лінійного переміщення металу по рольганзі.

Сумарний приведений до вала двигуна момент інерції можна розрахувати за формулою:

$$J_{\Sigma} = J_{д} + J_{гш} + J_{мп} + \frac{z_p \cdot J_p}{i_{мп}^2} + m_m \frac{V_m^2}{\omega_{д}^2}, \quad (2.112)$$

де  $J_{мп}$  – сумарний приведений до вала двигуна момент інерції механічної передачі,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;

$J_p$  – момент інерції ролика,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ .

### 2.10.10 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода ланцюгового транспортера

Ведучі зірочки транспортера приводяться в дію одним двигуном через механічну передачу. Тому навантаження на двигун створюється всіма заготовками (злитками), які транспортуються.

Кінематична схема ланцюгового транспортера наведена на рис. А.9 (додаток А).

Структурна схема механічної частини електропривода ланцюгового транспортера зображена на рис. 2.15.

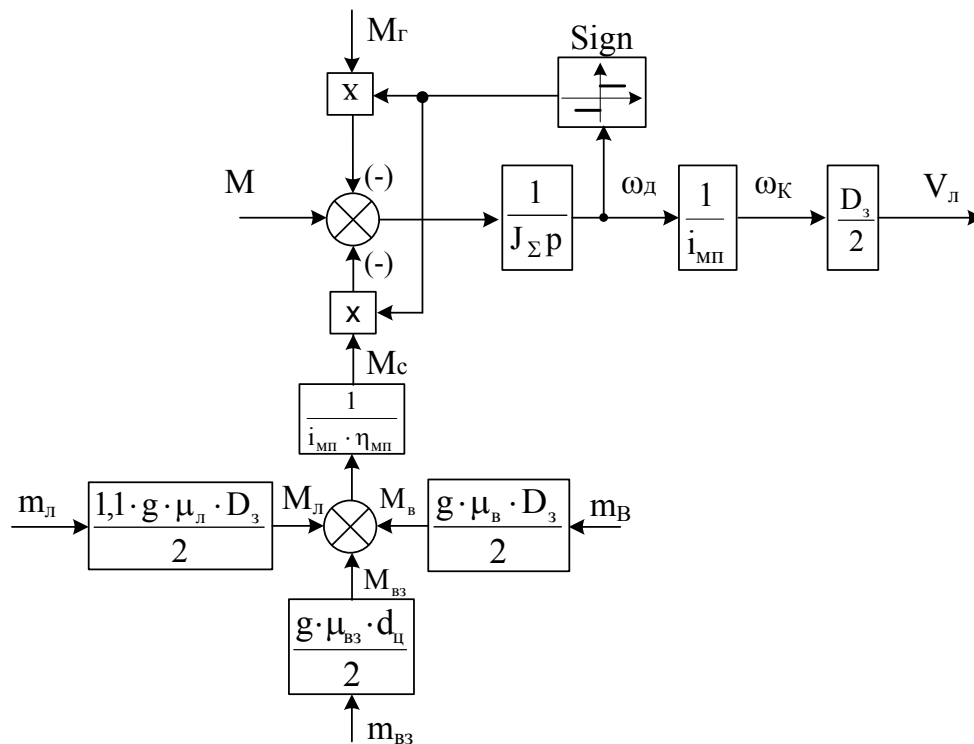


Рисунок 2.15 – Структурна схема механічної частини електропривода ланцюгового транспортера

На рис. 2.15 позначено:  $m_{л}$  – маса ланцюгів;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\mu_{л}$  – коефіцієнт тертя ковзання ланцюгів;  $D_3$  – діаметр зірочки;

$m_B$  – маса вантажу, що транспортується;  $\mu_B$  – коефіцієнт тертя ковзання вантажу по напрямних;  $m_{B3}$  – маса вала з зірочками;  $\mu_{B3}$  – коефіцієнт тертя ковзання в опорних підшипниках вала з зірочками;  $d_{ц}$  – діаметр цапфи (шийки вала);  $i_{МП}$  – передаточне число механічної передачі;  $\eta_{МП}$  – ККД механічної передачі.

Сумарний приведений до вала двигуна момент інерції можна розрахувати за формулою:

$$J_{\Sigma} = J_{д} + J_{гш} + J_{ред} + \frac{2 \cdot J_{B3}}{i_{МП}^2} + (m_{л} + m_B) \frac{V_B^2}{\omega_{д}^2}, \quad (2.113)$$

де  $J_{B3}$  – момент інерції вала з зірочками,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$m_{л}$  – маса ланцюгів,  $\text{кг}$ ;

$m_B$  – маса вантажу, що транспортується,  $\text{кг}$ ;

$V_B$  – швидкість транспортування вантажу,  $\text{м/с}$ .

### 2.10.11 Побудова структурної схеми механічної частини електропривода штовхача методичної печі

Кінематична схема штовхача методичної печі наведена на рис. А.10 (додаток А).

Структурна схема механічної частини електропривода штовхача методичної печі зображена на рис. 2.16 (ділянка роботи с, див. рис. 3.24).

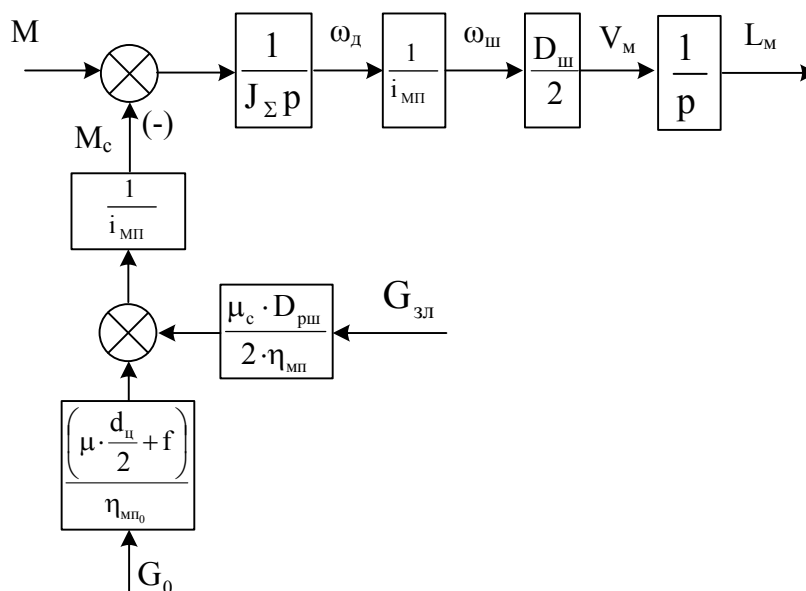


Рисунок 2.16 – Структурна схема механічної частини електропривода штовхача методичної печі

На рис. 2.16:  $G_0$  – вага штанги з рейкою;  $G_{зл}$  – вага одного злитка;  $\mu$  – коефіцієнт тертя кочення в підшипниках;  $d_{ц}$  – діаметри цапф напрямних

роликів в підшипниках кочення;  $f$  – коефіцієнт тертя кочення штаги по роликах;  $i_{мп}$  – передаточне число механічної передачі;  $\eta_{мп0}$  – ККД механічної передачі в режимі холостого ходу;  $\mu_c$  – коефіцієнт тертя ковзання злитка по настилу печі;  $\omega_{ш}$  – швидкість обертання шестерні;  $V_m$  – швидкість лінійного переміщення штанги (штовхача);  $L_m$  – відстань переміщення штанги (штовхача).

Сумарний приведений до вала двигуна момент інерції можна розрахувати за формулою:

$$J_{\Sigma} = J_d + J_{гш} + J_{ред} + \frac{J_{рш}}{i_{мп}^2} + \frac{4 \cdot J_{ор}}{\left(\frac{D_{рш}}{D_{ор}}\right) \cdot i_{мп}^2} + (m_B + m_0) \frac{V_B^2}{\omega_d^2}, \quad (2.114)$$

де  $J_{рш}$  ( $J_{ор}$ ) – момент інерції рейкової шестерні (опорного ролика),  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $D_{рш}$  ( $D_{ор}$ ) – діаметр рейкової шестерні (опорного ролика), м.

### 2.10.12 Розрахунок регуляторів системи автоматичного керування

На рис. 2.17 зображено спрощену структурну схему електропривода.

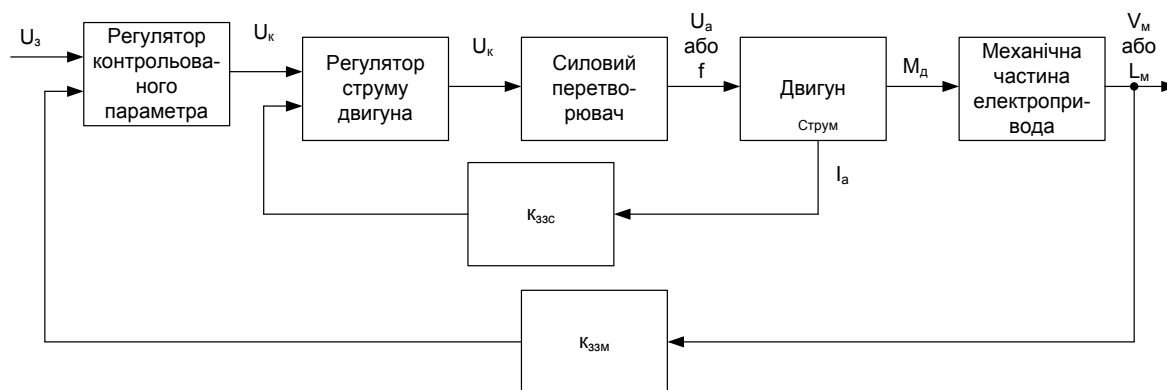


Рисунок 2.17 – Спрощена структурна схема електропривода

Дана структурна схема виконана як двоконтурна з внутрішнім контуром струму та зовнішнім контуром контрольованого параметра. Як контрольований параметр може бути або швидкість переміщення робочого органа, або лінійне переміщення заготовки.

Структурні схеми двигунів зображені на рис. 2.6 та 2.7. На вхід двигуна постійного струму подається напруга якоря  $U_a$ , а на вхід двигуна змінного струму – частота напруги живлення  $f$ .

Під силовим перетворювачем розуміється або керований випрямляч, якщо електропривод працює на постійному струмі, або перетворювач частоти, якщо електропривод працює на змінному струмі.

Силовий перетворювач можна подати аперіодичною ланкою першого порядку з певним коефіцієнтом підсилення та сталою часу:

$$W_{\text{сп}}(p) = \frac{K_{\text{сп}}}{T_{\text{сп}}p + 1}, \quad (2.115)$$

де  $K_{\text{сп}}$  – коефіцієнт підсилення силового перетворювача;

$T_{\text{сп}}$  – стала часу силового перетворювача.

Коефіцієнти зворотного зв'язку за струмом та контрольованим параметром розраховуються за формулами:

$$K_{\text{ззс}} = \frac{U_{\text{з.мах}}}{I_{\text{мах}}}, \quad (2.116)$$

$$K_{\text{ззм}} = \frac{U_{\text{з.мах}}}{V_{\text{мах}}(L_{\text{мах}})}, \quad (2.117)$$

де  $K_{\text{ззс}}$  – коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом двигуна;

$U_{\text{з.мах}}$  – максимальна задавальна напруга;

$I_{\text{мах}}$  – максимально допустимий для електропривода струм двигуна;

$V_{\text{мах}}$  – максимально допустима швидкість лінійного переміщення робочого органа виробничого механізму;

$L_{\text{мах}}$  – максимально допустима величина лінійного переміщення робочого органа виробничого механізму.

Розрахунок регуляторів системи підпорядкованого керування відбувається починаючи з внутрішнього (підпорядкованого) контуру регулювання, яким буде контур струму двигуна.

Якщо об'єкт регулювання, яким виступатиме силовий перетворювач та обмотка двигуна, має одну велику сталу часу, то регулятор слід обирати пропорційно-інтегральним. Такий регулятор дасть можливість зкомпенсувати вплив цієї сталої часу на перехідні процеси у системі. Передавальна функція такого регулятора матиме вигляд:

$$W_{\text{рс}}(p) = \frac{1 + \tau_{\text{R}}p}{\tau_0 p}, \quad (2.118)$$

де сталі часу регулятора розраховуються за формулами:

– для модульного критерію оптимальності:

$$\tau_{\text{R}} = T_{\text{е}}, \quad (2.119)$$

$$\tau_0 = 2T_{\mu}K_{\text{об}}; \quad (2.120)$$

– для симетричного критерію оптимальності:

$$\tau_{\text{R}} = 4T_{\mu}, \quad (2.121)$$



$$\tau_0 = \frac{8T_{\mu}^2 K_{об}}{T_M}. \quad (2.122)$$

У формулах (2.119) – (2.122) використано такі позначення:  $T_e$  – велика стала часу контуру струму;  $T_{\mu}$  – мала некомпенсована стала часу;  $K_{об}$  – коефіцієнт підсилення об'єкта регулювання при одиничному зворотному зв'язку;  $T_M$  – велика стала часу контуру швидкості (контрольованого параметру).

### **2.11 Моделювання перехідних процесів електропривода**

Перехідним режимом електропривода називається режим роботи при переході з одного усталеного стану привода до іншого, який відбувається під час пуску, гальмування, реверсування, скидання та накиду навантаження на валу. Ці режими характеризуються зміною електрорушійної сили, кутової швидкості, моменту і струму.

Вивчення перехідних режимів роботи електропривода дозволяє перевірити роботу спроектованої системи автоматизованого електропривода з даним навантаженням, а також оцінити коректність прийнятих методів проектування при розрахунку потужності приводного двигуна та параметрів налаштувань регуляторів системи автоматичного керування.

Моделювання електропривода рекомендується здійснювати в Matlab Simulink.

В роботі подати графіки перехідних процесів кутової швидкості, моменту навантаження та моменту приводного двигуна. Проаналізувати отримані графічні залежності.

Змоделювати роботу автоматизованого електропривода в усіх нормальних режимах роботи, а також при накиді та скиданні навантаження.

### **2.12 Розробка принципової схеми автоматизованого електропривода або модифікація до власних умов типової**

Схема принципова – схема, що визначає повний склад елементів виробу, спільна дія яких забезпечує вирішення задач керування, регулювання, захисту, вимірювання і сигналізації, а також зв'язків між ними і, як правило, дає детальне уявлення про принципи роботи виробу.

Розробка принципових електричних схем завжди містить елементи творчості і потребує умілого застосування елементарних електричних кіл і типових функціональних вузлів, оптимального компоновання їх в єдину схему з урахуванням вимог, що висуваються до схем, а також можливого спрощення і мінімізації схем.

У практиці проектування принципових електричних схем, на базі досвіду проектування, монтажу, налагоджування і експлуатації, склалися деякі загальні принципи побудови електричних схем. Електрична схема повинна забезпечувати високу надійність, простоту і економічність, чіткість

дій при аварійних режимах, зручність оперативної роботи, експлуатації, чіткість оформлення тощо.

➤ Надійність. Під надійністю схеми розуміють її здатність безвідмовно виконувати свої функції протягом певного інтервалу часу у заданих режимах роботи. Ця вимога, зазвичай, забезпечується цілим рядом технічних заходів, таких як застосування найбільш надійних елементів, приладів і апаратів; оптимальні режими їх роботи; резервування малонадійних або найбільш відповідальних елементів або кіл схеми; автоматичний контроль за несправністю схеми; заборонні блокування, що виключають можливість проведення помилкових операцій; скорочення часу знаходження елементів схеми під напругою тощо.

Якщо при проектуванні забезпеченню надійності дії схеми не буде приділено належної уваги, то усі інші її переваги можуть бути втрачені. Вимоги до рівня надійності електричних схем визначаються оцінкою наслідків їх відмови для технологічного процесу та людей.

➤ Простота і економічність проєктованих схем забезпечується застосуванням стандартної елементної бази і типових вузлів; скороченням до мінімуму числа елементів у схемі і обмеженням їх номенклатури тощо.

Істотне, а іноді і вирішальне, значення при виборі схеми контролю і керування процесом на відстані має вартість з'єднувальних кабелів або провідників.

Вирішуючи питання економічності схеми, необхідно враховувати не тільки капітальні вкладення, але і щорічні експлуатаційні витрати.

➤ Чіткість дії схеми в аварійних режимах. Кожна принципова електрична схема повинна бути побудована таким чином, щоб при виникненні аварійних режимів, зумовлених несправностями в силових колах, колах керування, сигналізації або захисту, а також при повному зникненні або зниженні і подальшому відновленні напруги живлення забезпечувалася безпека обслуговуючого персоналу і запобігався подальший розвиток аварії.

При аналізуванні роботи схеми в аварійних режимах слід враховувати можливість перегорання запобіжників або відключення автоматів; появу короткого замикання або замикання на землю в різних точках схеми; обрив проводів; згорання котушок контакторів або реле; приварювання контактів тощо. Прийнято розглядати аварійний режим, що виникає у результаті появи якої-небудь однієї несправності, оскільки імовірність одночасної появи двох або більше несправностей в одній і тій же схемі досить низька.

➤ Зручність оперативної роботи. Принципова електрична схема повинна забезпечувати оптимальні умови для роботи оперативного персоналу. Цю вимогу передбачає спрощення операцій, які виконує обслуговуючий персонал; скорочення числа органів управління; можливість простого і швидкого вибору необхідного режиму роботи; перехід з автоматичного керування на ручне і назад; зняття і введення блокувальних зв'язків тощо.

➤ Зручність експлуатації. Принципова електрична схема повинна бу-

ти спроектована таким чином, щоб її експлуатація у виробничих умовах потребувала мінімум уваги експлуатаційного персоналу, забезпечувала можливість проведення ремонтних і налагоджувальних робіт з дотриманням необхідних заходів безпеки.

➤ Чіткість оформлення. Оформлення будь-якої електричної схеми необхідно виконувати ясно, просто і компактно. Графічне оформлення схеми повинно сприяти якнайкращому сприйняттю змісту схеми.

При виконанні принципів схем необхідно керуватись:

ГОСТ 2.701-84 – «Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению»;

ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 – «Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем»;

ГОСТ 2.709-89 – «Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах»;

ГОСТ 2.710-81 – «Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах»;

ГОСТ 2.721-74 – «Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения»;

ГОСТ 2.722-68 – «Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические»;

ГОСТ 2.728-74 – «Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы»;

ГОСТ 2.730-73 – «Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые»;

ГОСТ 2.755-87 – «Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения»;

ГОСТ 2.756-76 – «Обозначения условные графические в схемах. Воспринимающая часть электромеханических устройств»;

ГОСТ 2.743-91 – «Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники»;

ГОСТ 26772-85 – «Машины электрические вращающиеся. Обозначения выводов и направление вращения».

З основними правилами виконання принципів схем можна ознайомитись в роботі [19].

## 3 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ТИПОВИХ ВИРОБНИЧИХ МЕХАНІЗМІВ

Типовими виробничими механізмами називають механізми, що виконують ряд операцій, характер яких є загальним для різних галузей господарства, і мають загальнопромислове призначення.

До переліку таких операцій відносять транспортування, завантаження, розвантаження тощо.

В навчальному посібнику розглядаються такі виробничі механізми: крани, ліфти, скіпові підйомники, штовхачі злитків, транспортери, рольганги. Кінематичні схеми цих механізмів наведено в додатку А.

### 3.1 Крани

#### 3.1.1 Загальна характеристика

Краном називають вантажопідйомну машину циклічної дії, призначену для захвату, підйому і переміщення вантажів на порівняно невеликі відстані (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд мостового крана

До переліку основних кранових механізмів відносяться: механізм підйому; механізм переміщення крана; механізм переміщення вантажного візка; механізм повороту і зміни вильоту стріли. Слід відзначити, що крани з вантажопідйомністю 10 т і більше додатково оснащують одним чи двома механізмами допоміжного підйому з вантажопідйомністю  $\frac{1}{3} \dots \frac{1}{5}$  основної.

Згідно з графіком навантаження за цикл роботи (рис. 3.2) механізми кранів можна розділити на дві групи:

1) механізми підйому, в яких графік навантаження складається з чотирьох ділянок: підйом і опускання вантажу; підйом і опускання незавантаженого вантажозахватного пристрою;

2) механізми переміщення, повороту і зміни вильоту стріли, в яких графік навантаження містить дві ділянки: робота з вантажем і без вантажу.

Через те, що механізми кранів працюють в повторно-короткочасному режимі з великим числом включень за годину та, подекуди, в агресивних умовах навколишнього середовища, для них випускаються спеціальні двигуни, які характеризуються підвищеною перевантажувальною здатністю, механічною міцністю і зменшеним моментом інерції ротора (якоря).

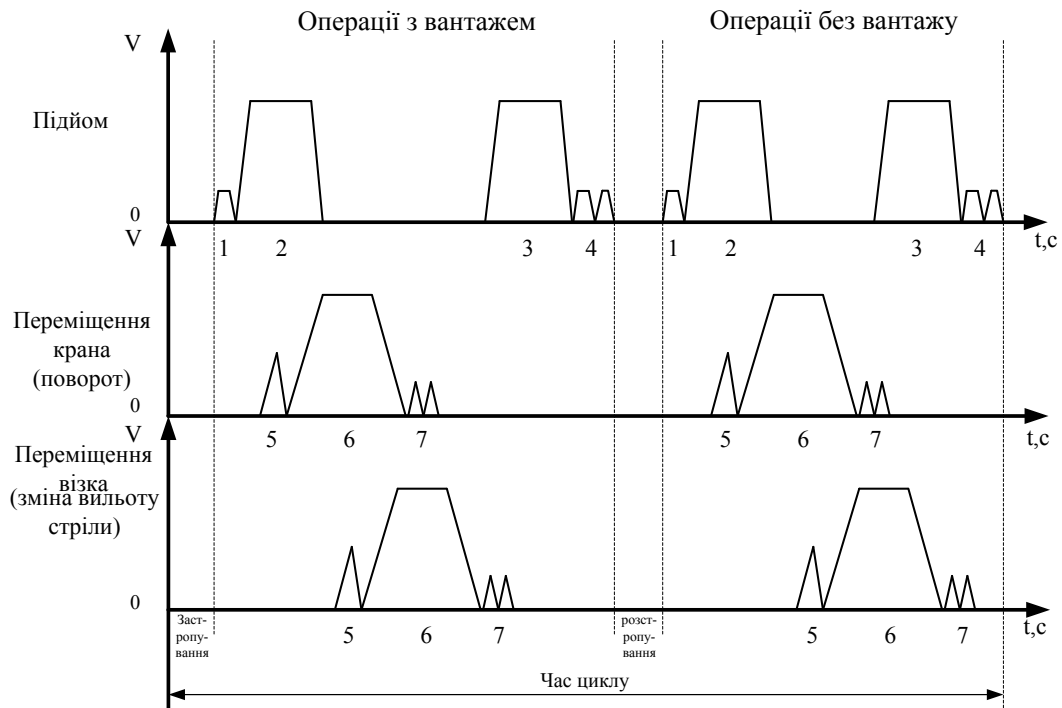


Рисунок 3.2 – Типова циклограма роботи кранових механізмів

1 – обтягування троса; 2 – підйом вантажу і вантажозахватного пристрою; 3 – опускання вантажу і вантажозахватного пристрою; 4 – посадка вантажу і вантажозахватного пристрою; 5 – гасіння розкачування; 6 – рух в горизонтальній площині; 7 – наведення крана на задані координати

Найбільшого поширення набули такі серії кранових і металургійних двигунів: Д (постійного струму); МТФ і МТН (змінного струму з фазним ротором); МТКФ і МТКН (змінного струму з короткозамкненим ротором).

У кількісному співвідношенні двигуни змінного струму використовуються частіше (майже у 90% випадків).

### 3.1.2 Статичні навантаження підйомних лебідок

Статичні навантаження підйомних лебідок визначаються, головним чином, силою тяжіння.

Момент статичного опору підйомної лебідки при підйомі вантажу:

$$M_c = \frac{(m_v + m_0) \cdot g \cdot D_6}{2 \cdot i_{мп} \cdot u \cdot \eta_{мп}}, \quad (3.1)$$

де  $m_v$  – маса вантажу, кг;

$m_0$  – маса вантажозахватного пристрою, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $m/s^2$ ;

$D_6$  – діаметр барабана лебідки, м;

$i_{мп}$  – передаточне число механічної передачі;

$u$  – кратність поліспасти;

$\eta_{мп}$  – ККД механічної передачі при підйомі вантажу.

Момент статичного опору підйомної лебідки при опусканні вантажу:

$$M'_c = \frac{(m_B + m_0) \cdot g \cdot D_{\delta}}{2 \cdot i_{МП} \cdot u} \cdot \eta'_{МП}, \quad (3.2)$$

де  $\eta'_{МП}$  – ККД механічної передачі при опусканні вантажу,

$$\eta'_{МП} = 2 - \frac{1}{\eta_{МП}}. \quad (3.3)$$

Зазвичай в каталогах зазначають значення ККД механічних передач при їх номінальному навантаженні. Слід пам'ятати, що зі зміною навантаження ККД також змінюється. Для визначення фактичних статичних навантажень або потужностей при різних навантаженнях механізмів необхідно знати реальний ККД механічної передачі.

Значення ККД механічної передачі при зміні навантаження можна визначити графічним способом (рис. 3.3) або розрахувати аналітичним шляхом.

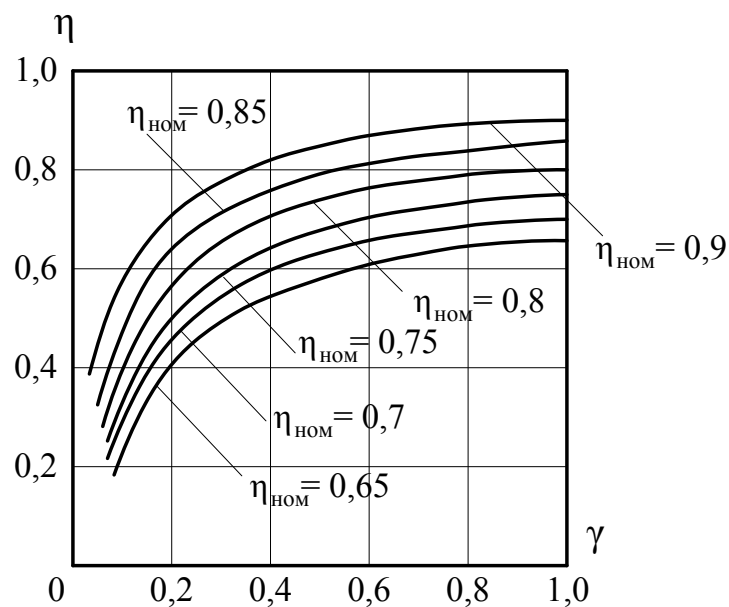


Рисунок 3.3 – Залежності ККД механічної передачі від навантаження

Коефіцієнт навантаження:

$$\gamma = \frac{m_B + m_0}{m_{НОМ} + m_0}, \quad (3.4)$$

де  $m_B$  і  $m_{НОМ}$  – поточна і номінальна маси вантажу, кг;  
 $m_0$  – маса механізму без вантажу, кг.

Аналітичним шляхом ККД механічної передачі при будь-якому навантаженні можна розрахувати так:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{a}{\gamma} + b}, \quad (3.5)$$

де  $a$  – коефіцієнт постійних втрат;

$b$  – коефіцієнт змінних втрат.

При номінальному навантаженні, коли  $\gamma = 1$ , а співвідношення коефіцієнтів втрат відомі із статистичних даних:

$$k = \frac{a}{b} = 1,2 \dots 1,5, \quad (3.6)$$

значення коефіцієнтів  $a$  і  $b$  розраховують шляхом сумісного розв'язання рівнянь:

$$\begin{cases} \eta_{\text{НОМ}} = \frac{1}{1 + a + b}, \\ a = kb, \end{cases} \quad (3.7)$$

де  $\eta_{\text{НОМ}}$  – ККД механічної передачі при її номінальному навантаженні.

Таким чином:

$$b = \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}(1 + k)}, \quad (3.8)$$

$$a = kb = k \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}(1 + k)}. \quad (3.9)$$

Підставляючи значення коефіцієнтів  $a$  та  $b$  в вираз (3.5), можна визначити ККД механічної передачі при будь-якому навантаженні.

Отримані залежності можуть бути використані не лише для механічних передач кранових механізмів, але і для механічних передач інших механізмів.

При малих навантаженнях або в режимі холостого ходу, коли вага вантажозахватного пристрою є незначною, ККД механічної передачі при підйомі може набувати значення, меншого 0,5. При цьому відповідний ККД при опусканні, який визначається згідно з формулою (3.3), стане меншим нуля, тобто втратить свій фізичний зміст. Це означає, що двигун працюватиме в режимі силового спуску – статичний момент, який створює вантаж або пустий вантажозахватний пристрій, і момент, який розвиває приводний

двигун, разом долають момент втрат в механічній передачі.

У цьому випадку момент двигуна при опусканні вантажу масою  $m_B$  або пустого вантажозахватного пристрою можна розрахувати так:

$$M'_c = \frac{(m_B + m_0) \cdot g \cdot D_б}{2 \cdot i_{мп} \cdot u} - \Delta M_{мп}, \quad (3.10)$$

де  $\Delta M_{мп}$  – момент втрат в механічній передачі, приведений до вала двигуна,

$$\Delta M_{мп} = \frac{(m_B + m_0) \cdot g \cdot D_б}{2 \cdot i_{мп} \cdot u} \cdot \left( \frac{1}{\eta_{мп}} - 1 \right). \quad (3.11)$$

Таким чином, навантаження підйомних лебідок коливаються в широкіх межах (рис. 3.4) залежно від завантаженості механізму.

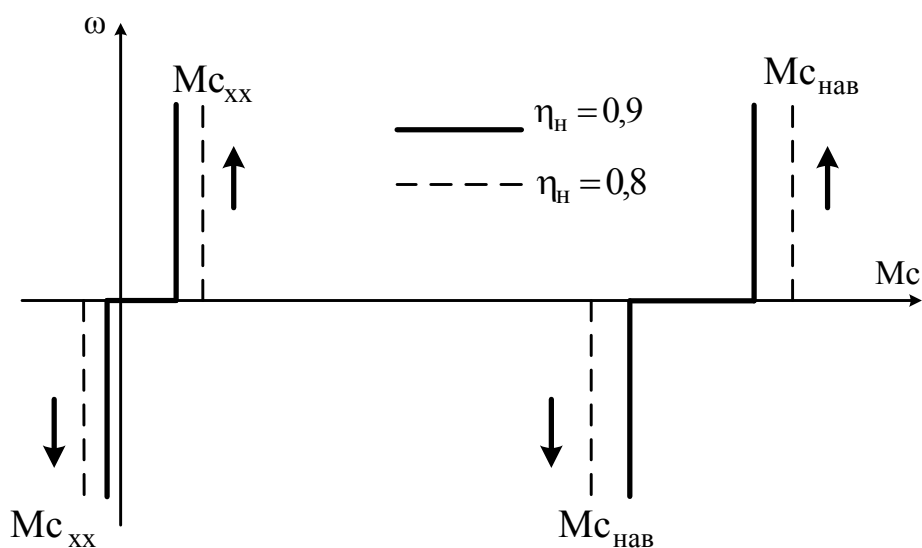


Рисунок 3.4 – Границі зміни статичних моментів при підйомі і опусканні різноманітних вантажів

### 3.1.3 Статичні навантаження механізмів поступального руху

Статичні навантаження механізмів поступального руху (переміщення крана, переміщення вантажного візка) визначаються, головним чином, силою тертя.

Для зазначених механізмів, в яких основним опорним елементом є колесо, статичний момент, приведений до вала двигуна (без врахування ККД механічної передачі):

$$M_c = \frac{F_c \cdot D_k}{2 \cdot i_{мп}}, \quad (3.12)$$



де  $F_c$  – сила опору руху механізму переміщення, Н;

$D_k$  – діаметр ходового колеса, м;

$i_{мп}$  – передаточне число механічної передачі.

Розглянемо випадок, коли рейкові шляхи, призначені для переміщення крана або вантажного візка, строго горизонтальні. Сила опору руху  $F_c$ , у цьому випадку, може бути подана у вигляді алгебраїчної суми складових, які враховують дію окремих сил:

$$F_c = F_{тр} + F_B. \quad (3.13)$$

де  $F_{тр}$  – сила опору, зумовлена тертям, Н;

$F_B$  – сила опору, зумовлена вітровими навантаженнями, Н.

Сила опору, зумовлена тертям:

$$F_{тр} = (m_B + m_0) \cdot g \cdot k_{тр}, \quad (3.14)$$

де  $m_B$  – маса вантажу, що переміщується, кг;

$m_0$  – загальна маса незавантаженого механізму, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$k_{тр}$  – результувальний коефіцієнт тертя.

Значення результувального коефіцієнта тертя можна визначити за однією з формул:

$$k_{тр} = k_{рб} \cdot \frac{(\mu r_{ц} + f)}{R_k}, \quad (3.15)$$

$$k_{тр} = 2k_{рб} \cdot \frac{\left(\mu \frac{d_{ц}}{2} + f\right)}{D_k}, \quad (3.16)$$

$$k_{тр} = k_{рб} \cdot \frac{(\mu \cdot d_{ц} + 2f)}{D_k}, \quad (3.17)$$

де  $k_{рб}$  – коефіцієнт тертя реборд ходових коліс об рейки;

$\mu$  – коефіцієнт тертя в підшипниках цапф ходових коліс;

$f$  – коефіцієнт тертя кочення ходових коліс по рейках, м;

$r_{ц}$  ( $d_{ц}$ ) – радіус (діаметр) цапфи ходового колеса, м;

$R_k$  ( $D_k$ ) – радіус (діаметр) ходового колеса, м.

Сила опору, зумовлена вітровими навантаженнями:

$$F_B = p_B \cdot S_B, \quad (3.18)$$

де  $p_B$  – вітровий тиск, який при виборі потужності приводного двигуна

береться рівним 150–250 Па (для більш точного розрахунку значення вітрового тиску необхідно користуватись положеннями ДБН В.1.2-2:2006);

$S_B$  – площа парусності конструкції, м<sup>2</sup>.

Площу парусності конструкції можна розрахувати так:

$$S_B = k_{цк} \cdot S_{B1} + S_{B2}, \quad (3.19)$$

де  $k_{цк}$  – коефіцієнт цілісності конструкції, який дорівнює 0,3–0,6 для ферм і 0,7–0,8 для механізмів;

$S_{B1}$  – площа, обмежена контуром конструкції, м<sup>2</sup>;

$S_{B2}$  – площа, обмежена контуром вантажу, м<sup>2</sup>.

Для кранів, які працюють в закритих приміщеннях:

$$F_B = 0. \quad (3.20)$$

Для механізмів переміщення кранів і вантажних візків характерним є незначний нахил рейкової колії або її деформація, наприклад, під дією ваги механізму та вантажу. У цьому випадку сила опору руху може бути подана у вигляді алгебраїчної суми складових:

$$F_C = F_{тр} + F_D + F_B, \quad (3.21)$$

де  $F_D$  – сила опору зумовлена деформацією (нахилом) рейкових шляхів, Н.

Сила опору зумовлена деформацією (нахилом) рейкових шляхів:

$$F_D = (m + m_0) \cdot g \cdot \beta, \quad (3.22)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який враховує деформацію (нахил) рейкового шляху (при розрахунку мостових кранів береться  $\beta = 0,003$ , а для будівельних кранів  $\beta = 0,01$ ).

Деформацію незавантаженої головної балки крана вважають рівною нулю.

Остаточна сила опору руху:

$$F_C = (m_B + m_0) \cdot g \cdot k_{тр} + (m_B + m_0) \cdot g \cdot \beta + p_B \cdot S_B, \quad (3.23)$$

$$F_C = (m_B + m_0) \cdot g \cdot (k_{тр} + \beta) + p_B \cdot S_B. \quad (3.24)$$

Приведений момент статичного опору механізму переміщення у випадку, коли результувальна сила спрямована проти руху, тобто є гальмівною, визначають за формулою:

$$M_c = \frac{F_c \cdot D_k}{2 \cdot i_{МП} \cdot \eta_{МП}}, \quad (3.25)$$

а якщо результувальна сила спрямована у напрямку руху:

$$M_c = \frac{F_c \cdot D_k \cdot \eta_{МП}}{2 \cdot i_{МП}}, \quad (3.26)$$

де  $\eta_{МП}$  – ККД механічної передачі.

Графік зміни статичного навантаження механізмів переміщення кранів за умови відсутності вітрових навантажень зображено на рис. 3.5, а). Вітрові навантаження можуть мати будь-який напрямок і за умови великої парусності межі зміни статичного навантаження можуть охоплювати як двигунний, так і гальмівний режими (рис. 3.5, б).

При розрахунку потужності приводного двигуна необхідно враховувати кількість осей приведення.

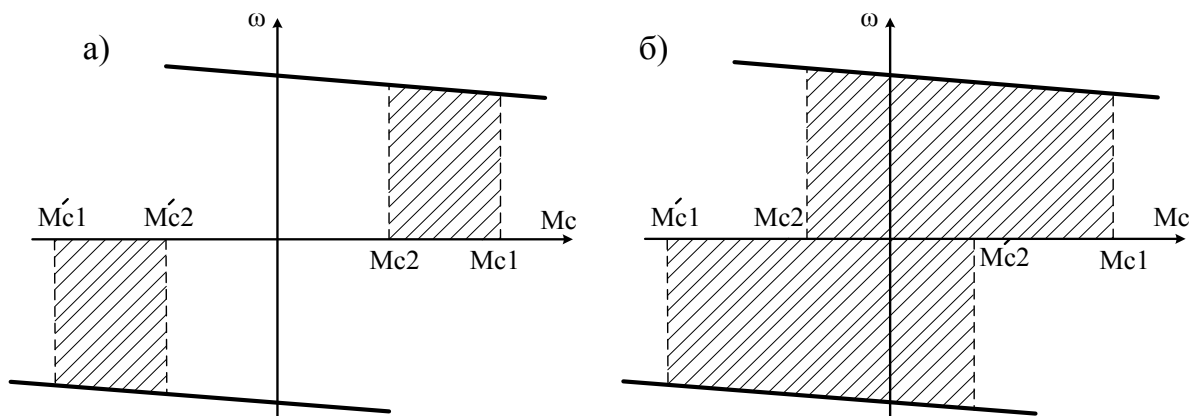


Рисунок 3.5 – Межі зміни статичних моментів за відсутності (а) та наявності вітрових навантажень (б)

## 3.2 Ліфти

### 3.2.1 Загальна характеристика

Ліфт – стаціонарна підйомна машина періодичної дії, призначена для транспортування пасажирів і (або) вантажів з одного рівня на інший в кабіні, яка рухається в спеціальній шахті по жорстких прямолінійних напрямних, кут нахилу яких до вертикалі допускається не більшим  $15^\circ$ .

Ліфт є невід’ємною частиною інженерного обладнання житлових, адміністративних будівель та споруд. Ліфти переміщують пасажирів, автомобілі в багатоповерхових гаражах, товари в магазинах і торгових центрах, забезпечують роботу річкового і морського транспорту, використовуються на великовагових транспортних і пасажирських літаках тощо.

Роль ліфтів безперервно зростає у зв’язку з об’єктивною тенденцією збільшення кількості поверхів будівель.

Основними механізмами ліфта, які приводяться в дію за допомогою електричного привода, є підйомна лебідка та механізм відкривання-закривання дверей.

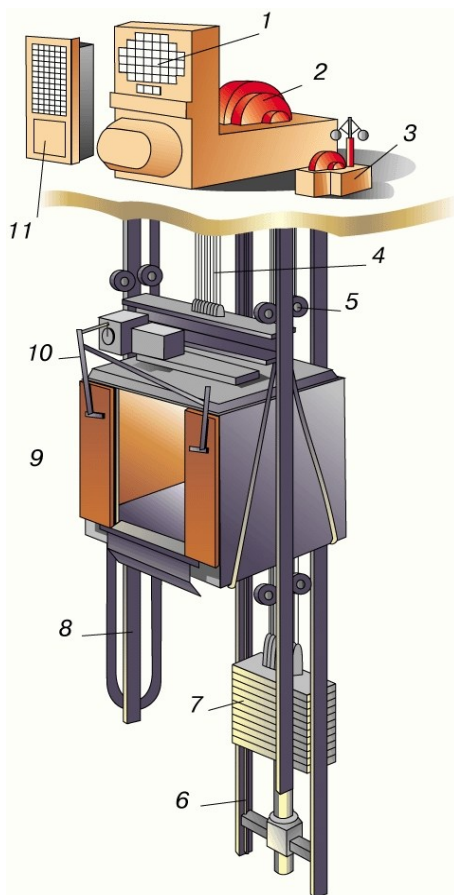


Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд ліфта

На рис. 3.6 наведено зовнішній вигляд основних конструктивних складових ліфта: 1, 3 – система керування ліфта; 2 – приводний двигун підйомної лебідки; 4 – троси підвісу кабіни; 5 – напрямні ролики; 6 – напрямні рейки протизваги; 7 – протизвага; 8 – напрямні рейки кабіни ліфта; 9 – кабіна; 10 – механізм відкривання дверей кабіни; 11 – блок пам'яті поверхових даних.

Типова тахограма роботи електропривода підйомної лебідки пасажирського ліфта складається з таких основних ділянок (рис. 3.7):

- а) розгін до усталеної швидкості руху;
- б) рух з усталеною швидкістю;
- в) зменшення швидкості при підході до поверху призначення;
- г) рух з усталеною зниженою швидкістю;
- д) гальмування і зупинка кабіни ліфта на поверсі призначення з необхідною точністю.

У деяких пасажирських та вантажних ліфтів ділянка руху на зниженій швидкості може бути відсутня.

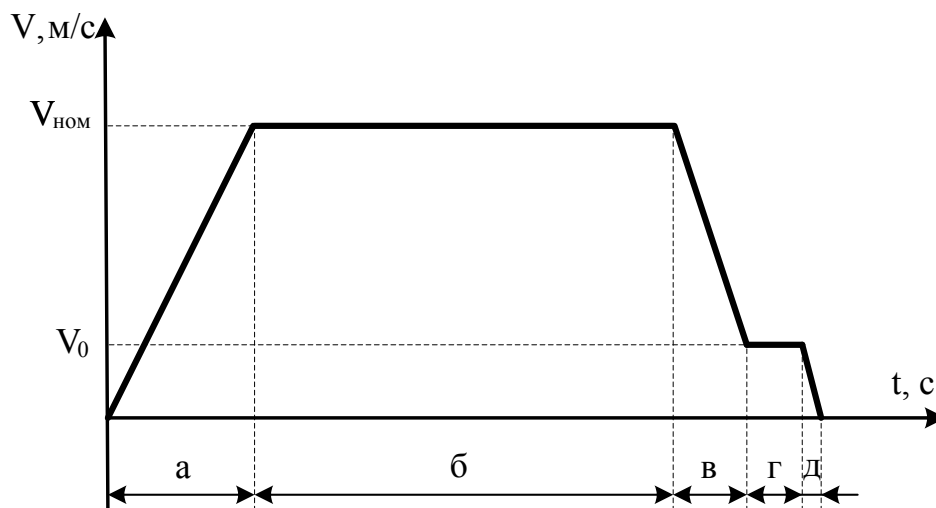


Рисунок 3.7 – Типова тахограма електропривода підйомної лебідки пасажирського ліфта

Приводний двигун підйомної лебідки пасажирського ліфта працює в

повторно-короткочасному режимі, причому за час циклу  $T$  слід брати тривалість кругового рейсу кабіни (шлях, який проходить кабіна від основного посадочного поверху до повернення її на цей же поверх), а за тривалість роботи – час знаходження електродвигуна під навантаженням.

Тривалість кругового рейсу:

$$T = \frac{2 \cdot k_{\text{під}} \cdot H - h_p \cdot (N_{\text{під}} + N_{\text{оп}} + 1)}{V_{\text{ном}}} + k_t \cdot [(t_1 + t_2 + t_3) \times (N_{\text{під}} + N_{\text{оп}} + 1) + t_{4\text{під}} + t_{5\text{під}} + t_{4\text{оп}} + t_{5\text{оп}}], \quad (3.27)$$

де  $k_{\text{під}}$  – коефіцієнт, який враховує середню висоту підйому кабіни ( $k_{\text{під}} = 0,7 \dots 0,9$ );

$H$  – максимальна висота підйому, м;

$h_p$  – висота, яку проходить кабіна за час розгону до номінальної швидкості і за час гальмування від номінальної швидкості до повної зупинки, м;

$N_{\text{під}}$  – ймовірна кількість зупинок при підйомі кабіни;

$N_{\text{оп}}$  – ймовірна кількість зупинок при опусканні кабіни;

$V_{\text{ном}}$  – номінальна швидкість руху, м/с;

$k_t$  – ймовірний коефіцієнт неврахованого часу ( $k_t = 1,05 \dots 1,15$ );

$t_1$  – час розгону кабіни, с;

$t_2$  – час сповільнення кабіни (від номінальної швидкості до повної зупинки з врахуванням посадки), с;

$t_3$  – час відкривання і закривання дверей кабіни, с;

$t_{4\text{під}}$  ( $t_{4\text{оп}}$ ) – час входу пасажирів при підйомі (опусканні), с;

$t_{5\text{під}}$  ( $t_{5\text{оп}}$ ) – час виходу пасажирів при підйомі (опусканні), с.

Шлях, який проходить кабіна за час розгону до номінальної швидкості і за час гальмування від номінальної швидкості до повної зупинки:

$$h_p = \frac{V_{\text{ном}}^2}{2 \cdot a} + \frac{V_{\text{ном}}^2 - V_0^2}{2 \cdot a} + H_0 + \frac{V_0^2}{2 \cdot a}, \quad (3.28)$$

де  $V_0$  – швидкість дотягування (посадки), м/с;

$a$  – допустиме прискорення, м/с<sup>2</sup>.

$H_0$  – пройдений шлях при дотягуванні, м.

Ймовірні кількості зупинок при підйомі  $N_{\text{під}}$  і опусканні  $N_{\text{оп}}$  кабіни знаходяться з урахуванням ймовірних коефіцієнтів її заповнення при підйомі ( $\gamma_{\text{під}} = 0,6 \dots 0,8$ ) і опусканні ( $\gamma_{\text{оп}} = 0,4 \dots 0,6$ ):

$$N_{\text{під}} = N_1 - N_1 \cdot \left( \frac{N_1 - 1}{N_1} \right)^{\gamma_{\text{під}} \cdot E}, \quad (3.29)$$

$$N_{\text{оп}} = N_1 - N_1 \cdot \left( \frac{N_1 - 1}{N_1} \right)^{\gamma_{\text{оп}} \cdot E}, \quad (3.30)$$

де  $E$  – місткість кабіни, чол.;

$N_1$  – кількість можливих зупинок вище або нижче посадочного поверху.

З досвіду експлуатації пасажирських ліфтів відомо, що сума часів розгону  $t_1$ , сповільнення  $t_2$ , відкривання і закривання дверей  $t_3$  кабіни знаходиться в межах

$$t_1 + t_2 + t_3 = 10 \dots 16 \text{ (с)}. \quad (3.31)$$

Сума часів входу пасажирів при підйомі  $t_{4 \text{ під}}$  і опусканні  $t_{4 \text{ оп}}$ , і сума часів виходу їх при підйомі  $t_{5 \text{ під}}$  і опусканні  $t_{5 \text{ оп}}$  кабіни розраховують за формулами:

$$t_{45 \text{ під}} = t_{4 \text{ під}} + t_{5 \text{ під}} = 2 \cdot \Delta t \cdot \gamma_{\text{під}} \cdot E, \quad (3.32)$$

$$t_{45 \text{ оп}} = t_{4 \text{ оп}} + t_{5 \text{ оп}} = 2 \cdot \Delta t \cdot \gamma_{\text{оп}} \cdot E, \quad (3.33)$$

де  $\Delta t$  – час заходу (виходу) одного пасажира ( $\Delta t = 0,8 \dots 2$  с).

Враховуючи, що під час входу і виходу пасажирів, відкривання і закривання дверей кабіни, а також під час механічного гальмування  $t_r$  струм по обмотках приводного двигуна не протікає, розраховують відносну тривалість його включення:

$$T_{\text{Вф}} = \frac{T - t_{45 \text{ під}} - t_{45 \text{ оп}} - (t_3 + t_r) \cdot (N_{\text{під}} + N_{\text{оп}} + 1)}{T} \cdot 100\%. \quad (3.34)$$

Для побудови тахограми руху ліфта, яка відображає круговий рейс, розраховують час руху з усталеною швидкістю між поверхами відправлення та призначення:

$$t_{\text{у вп}} = \frac{|N_{\text{п}} - N_{\text{в}}| \cdot h - h_p}{V_{\text{ном}}}, \quad (3.35)$$

де  $N_{\text{п}}$  – поверх призначення;

$N_{\text{в}}$  – поверх відправлення;

$h$  – висота одного поверху, м.

### 3.2.2 Статичні навантаження ліфтів

Залежно від того, чи присутні в кінематичній схемі ліфта противага та врівноважувальний канат, розрізняють врівноважені, частково врівноважені та неврівноважені ліфти (рис. 3.8).

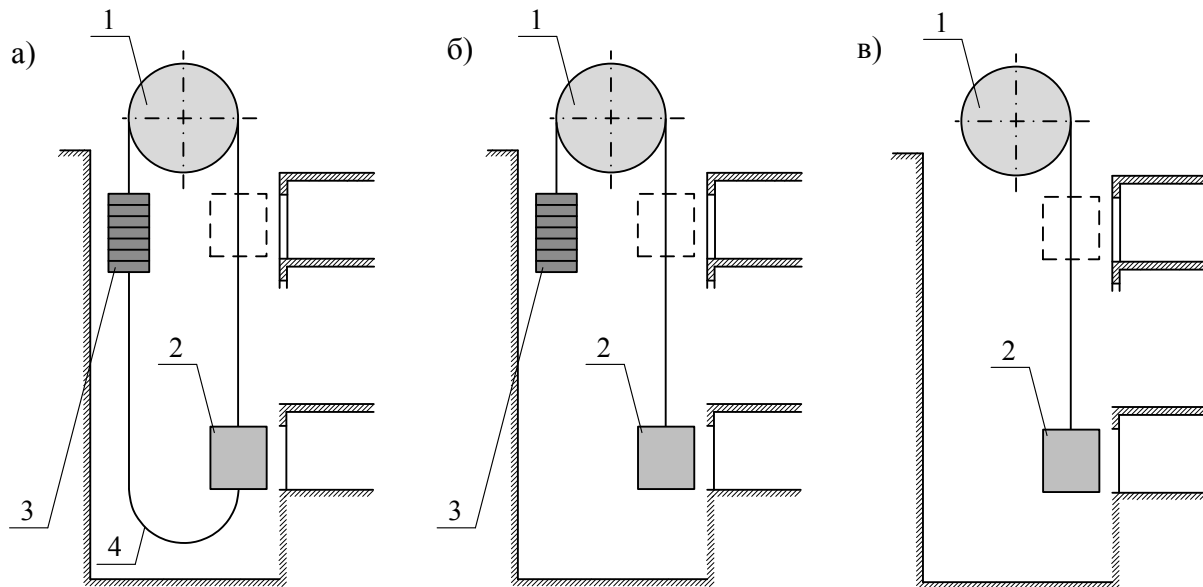


Рисунок 3.8 – Кінематичні схеми врівноваженого (а), частково врівноваженого (б) та неврівноваженого (в) ліфтів

1 – канатоведучий шків (барабан), 2 – кабіна, 3 – противага, 4 – врівноважувальний канат

Врівноважувальний канат дозволяє компенсувати зміну навантаження на приводний двигун при зміні довжин підйомного канату зі сторони кабіни та противаги.

Масу противаги для ліфтів вибирають таким чином, щоб вона врівноважувала масу кабіни  $m_0$  і частину маси номінального вантажу  $m_{в\text{ ном}}$ :

$$m_{пв} = m_0 + \alpha \cdot m_{в\text{ ном}}, \quad (3.36)$$

$$G_{пв} = G_0 + \alpha \cdot G_{в\text{ ном}}, \quad (3.37)$$

де  $G_0$  – сила тяжіння кабіни, Н;

$G_{в\text{ ном}}$  – сила тяжіння номінального вантажу, Н;

$\alpha$  – коефіцієнт врівноваження ( $\alpha = 0,4 \dots 0,6$ ).

Розглянемо більш детально врівноважений ліфт.

Зусилля, направлені вздовж каната кабіни вниз, вважатимемо додатними, а при протилежному напрямку – від’ємними (рис. 3.9).

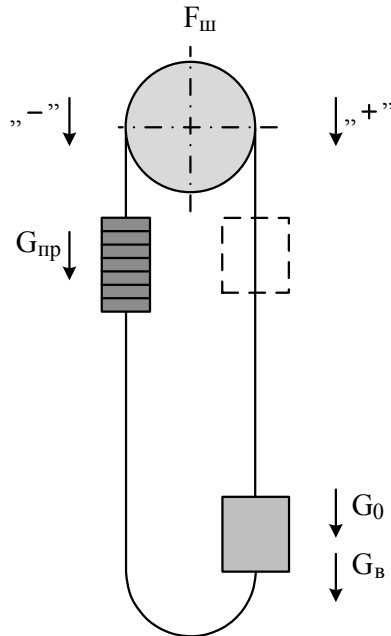


Рисунок 3.9 – Основні зусилля, що діють на врівноважений ліфт

Результувальне зусилля на канатоведучому шківі  $F_{ш}$ :

$$F_{ш} = G_0 + G_в - G_{пр}, \quad (3.38)$$

де  $G_в$  – сила тяжіння вантажу, Н.

З врахуванням коефіцієнта врівноваження:

$$F_{ш} = G_в - \alpha \cdot G_{в\text{ ном}}. \quad (3.39)$$

Запишемо вирази для розрахунку результувального зусилля на канатоведучому шківі у випадку:

– номінального завантаження кабіни:

$$G_в = G_{в\text{ ном}}, \quad (3.40)$$

$$F_{ш\text{ ном}} = G_{в\text{ ном}} - \alpha \cdot G_{в\text{ ном}} = (1 - \alpha) \cdot G_{в\text{ ном}}; \quad (3.41)$$

– нульового завантаження кабіни:

$$G_в = 0, \quad (3.42)$$

$$F_{ш0} = 0 - \alpha \cdot G_{в\text{ ном}} = -\alpha \cdot G_{в\text{ ном}}; \quad (3.43)$$

– завантаження кабіни, що відповідає врівноваженій системі ліфта:

$$G_в = \alpha \cdot G_{в\text{ ном}}, \quad (3.44)$$



$$F_{ш\alpha} = \alpha \cdot G_{в\text{ ном}} - \alpha \cdot G_{в\text{ ном}} = 0. \quad (3.45)$$

Проаналізувавши отримані рівняння (3.41), (3.43) і (3.45), можна зробити такі висновки:

– залежно від завантаженості кабіни результувальне зусилля на канатоведучому шківі може змінювати свій знак, а також може дорівнювати нулю;

– при номінальному завантаженні кабіни результувальне зусилля на канатоведучому шківі відповідає максимальному додатному і направлено в сторону опускання кабіни. При цьому додатне зусилля на шківі  $F_{ш\text{ ном}}$  при підйомі кабіни створює гальмівний момент, який перешкоджає руху електродвигуна, а при опусканні кабіни створює протягувальний момент на валі приводного двигуна, тобто сприяє опусканню кабіни;

– при нульовому завантаженні кабіни результувальне зусилля на канатоведучому шківі відповідає максимальному від'ємному і направлено в сторону підйому кабіни. При цьому, від'ємне зусилля на шківі  $F_{ш0}$  при підйомі незавантаженої кабіни створює протягувальний момент, що сприяє підйому кабіни, а при опусканні – створює гальмівний момент, що перешкоджає руху електродвигуна;

– при завантаженні кабіни, що відповідає врівноваженій системі ліфта, зусилля на канатоведучому шківі дорівнює нулю і не створює моменту навантаження на валі двигуна при будь-якому напрямі його руху.

Наприклад, якщо  $\alpha = 0,5$  то:

– результувальне зусилля на канатоведучому шківі при номінальному завантаженні кабіни:

$$F_{ш\text{ ном}} = 0,5 \cdot G_{в\text{ ном}}; \quad (3.46)$$

– результувальне зусилля на канатоведучому шківі при нульовому завантаженні кабіни:

$$F_{ш0} = -0,5 \cdot G_{в\text{ ном}}. \quad (3.47)$$

Графік залежності зусилля на канатоведучому шківі від сили тяжіння вантажу, що піднімається, при  $\alpha = 0,5$  наведений на рис. 3.10, а).

На рис. 3.10, б) наведені в координатах  $F, V (M, \omega)$  характеристики 1 і 2, які відповідають номінальному та нульовому завантаженню кабіни, відповідно. Ці характеристики обмежують межі зміни зусилля і моменту навантаження електропривода, які визначаються силою тяжіння кабіни з вантажем і силою тяжіння противаги, при зміні завантаження кабіни від нульового до номінального.

При завантаженні кабіни, що відповідає врівноваженій системі ліфта, зусилля на канатоведучому шківі дорівнює нулю і відповідна цьому завантаженню характеристика в координатах  $F, V (M, \omega)$  збігається з віссю ординат.

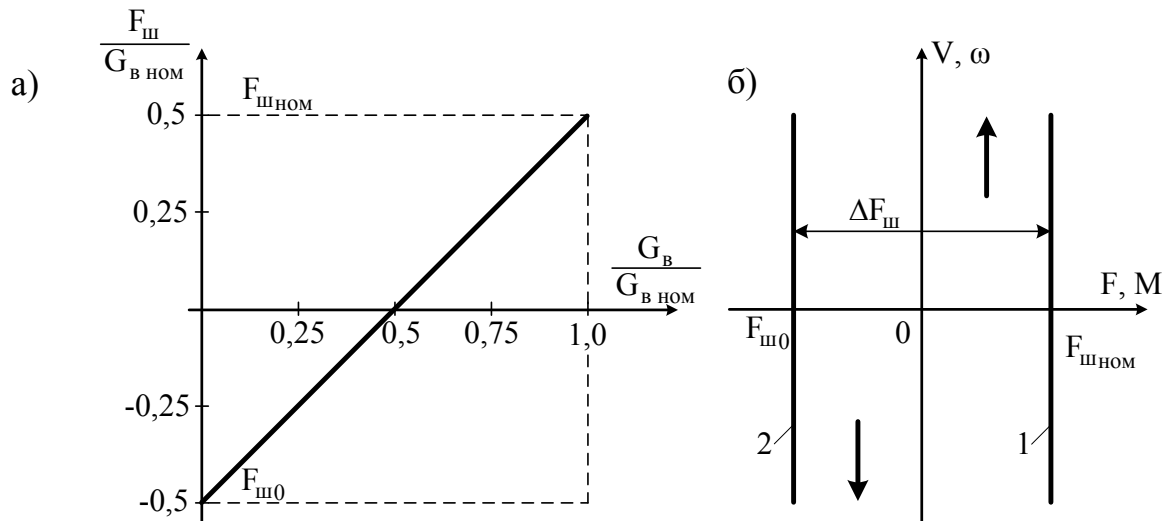


Рисунок 3.10 – Залежність зусилля на канатоведучому шківі від завантаження кабіни

За відсутності врівноважувального каната (див. рис. 3.8, б), що характерно для частково врівноваженого ліфта, результувальне зусилля на канатоведучому шківі визначається:

$$F_{ш} = G_0 + G_в - G_{пр} + F_к, \quad (3.48)$$

де  $F_к$  – додаткове зусилля, яке залежить від зміни довжини підйомного каната зі сторони кабіни та противаги, Н.

Величина зусилля  $F_к$  може бути визначена так:

$$F_к = G_к \cdot (l_{кк} - l_{кпр}), \quad (3.49)$$

де  $G_к$  – сила тяжіння 1 м підйомного каната, Н/м;

$l_{кк}, l_{кпр}$  – довжини підйомного каната зі сторони кабіни і противаги, відповідно, м.

Вплив цього зусилля на роботу електропривода аналогічний впливу зусилля  $F_в$ , але сама величина зусилля  $F_к$  залежить від положення кабіни в шахті.

Так, при рівності довжин підйомного канату зі сторони кабіни та противаги, що відповідає положенню кабіни по середині шахти, величина зусилля  $F_к$  дорівнює нулю (рис. 3.11, а). При русі кабіни вниз від вказаного положення з'являється додаткове додатне зусилля, яке при нижньому положенні кабіни (на першому поверсі) досягає величини  $F_{кн}$ , а при русі кабіни вгору з'являється від'ємне зусилля, яке на верхньому поверсі досягає величини  $F_{кв}$ . Відповідні цим величинам графіки 1 і 2 на рис. 3.11, б визначають межі зміни зусилля  $F_к$ .

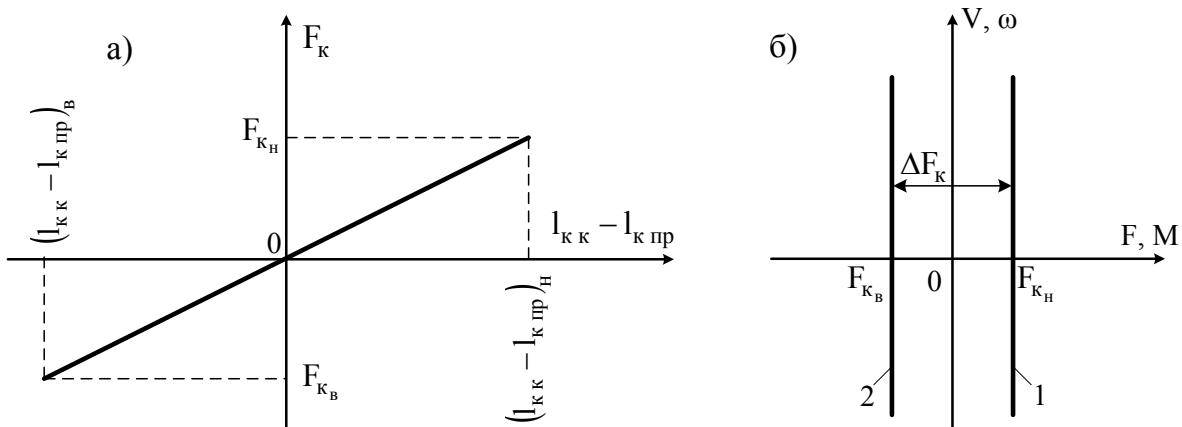


Рисунок 3.11 – Залежність зусилля навантаження, яке створюється вагою підйомного каната, від різниці довжин підйомного канату зі сторони кабіни та противаги

Запишемо вирази для розрахунку результувального зусилля на канатоведучому шківі у випадках:

– номінального завантаження кабіни:

$$G_B = G_{B \text{ ном}}, \quad (3.50)$$

$$F_{\text{шном}} = G_0 + G_{B \text{ ном}} - G_{\text{пр}} + F_K = (1 - \alpha) \cdot G_{B \text{ ном}} + F_K; \quad (3.51)$$

– нульового завантаження кабіни:

$$G_B = 0, \quad (3.52)$$

$$F_{\text{ш0}} = G_0 - G_{\text{пр}} + F_K = -\alpha \cdot G_{B \text{ ном}} + F_K; \quad (3.53)$$

– завантаження кабіни, що відповідає врівноваженій системі ліфта:

$$G_B = \alpha \cdot G_{B \text{ ном}}, \quad (3.54)$$

$$F_{\text{ш}\alpha} = G_0 + \alpha \cdot G_{B \text{ ном}} - G_{\text{пр}} + F_K = F_K. \quad (3.55)$$

На рис. 3.12 подано графічні залежності зусилля на канатоведучому шківі від завантаження кабіни та різниці довжин підйомного каната зі сторони кабіни та противаги.

Якщо у ліфта відсутня противага, що характерно для невірноваженого ліфта, то зусилля навантаження визначається повною силою тяжіння кабіни і вантажу:

$$F_{\text{ш}} = G_0 + G_B. \quad (3.56)$$

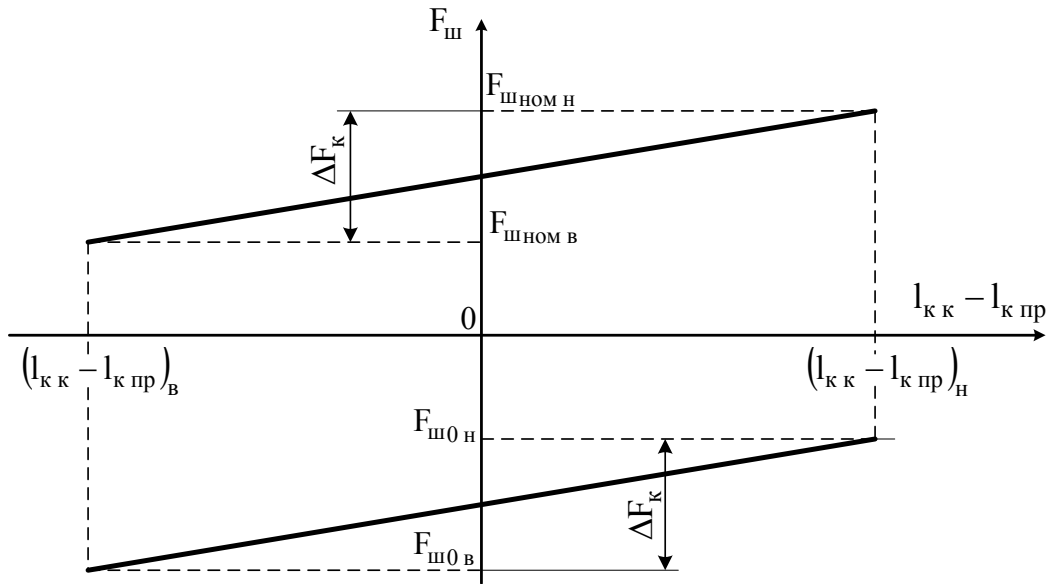


Рисунок 3.12 – Залежність зусилля на канатоведучому шківі від завантаження кабіни та різниці довжин підйомного каната зі сторони кабіни та протизаги

При цьому зусилля навантаження із зміною завантаження кабіни не змінює свого знаку (рис. 3.13). Характеристики 1 і 2 рис. 3.13, б) в координатах  $F, \nu$  ( $M, \omega$ ) визначають межі зміни зусилля навантаження при зміні завантаження кабіни. Максимальна величина зусилля навантаження при цьому є значно більшою, ніж при врівноваженому ліфті, що потребує збільшення потужності електродвигуна. Незалежно від завантаження кабіни це зусилля навантаження при підйомі кабіни створює на валі двигуна гальмівний момент, а при спуску кабіни – протягувальний момент, а сила тяжіння вантажу змінює тільки величину зусилля навантаження.

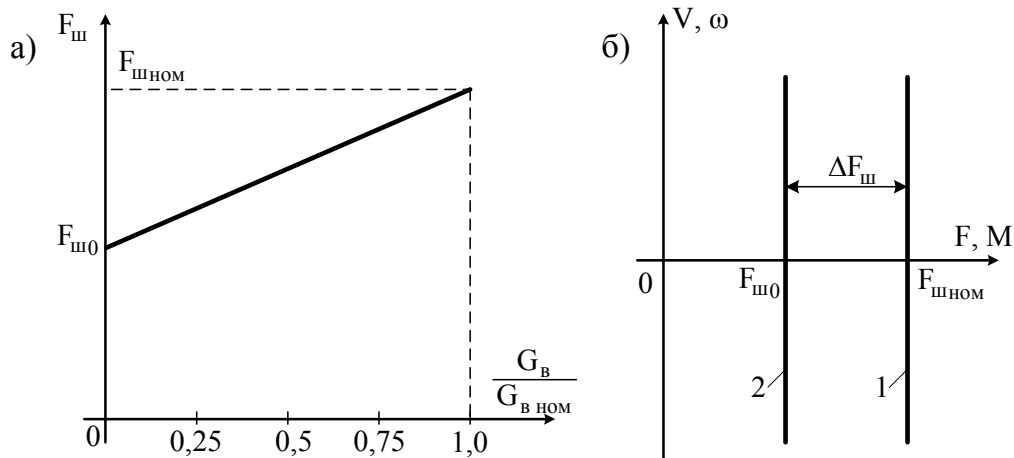


Рисунок 3.13 – Залежність зусилля навантаження від сили тяжіння вантажу

Для проведення більш точних розрахунків рекомендується також врахувати і зусилля від ваги підйомних канатів (рис. 3.14):

$$F_K = G_K \cdot l_{KK} \quad (3.57)$$

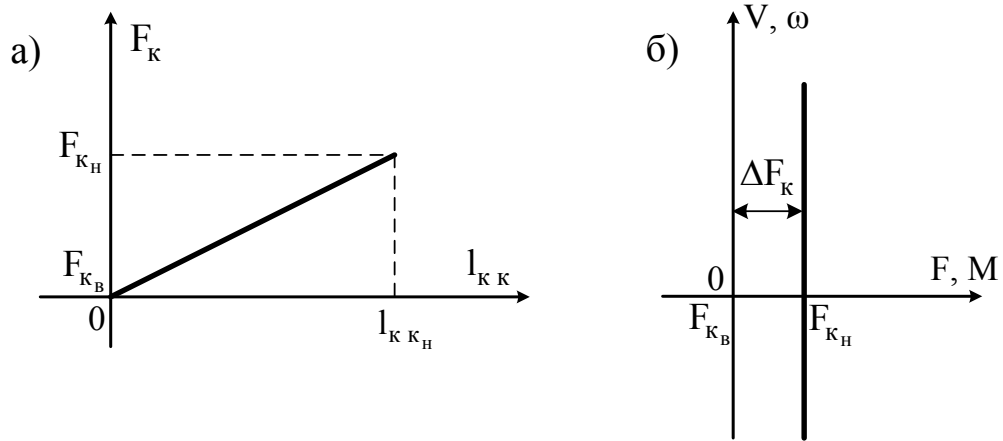


Рисунок 3.14 – Залежність зусилля навантаження, яке створюється вагою підйомного каната, від довжини підйомного каната

Результувальне зусилля навантаження з врахуванням зусилля від ваги підйомних канатів (рис. 3.15):

$$F_{Ш} = G_0 + G_B + F_K \quad (3.58)$$

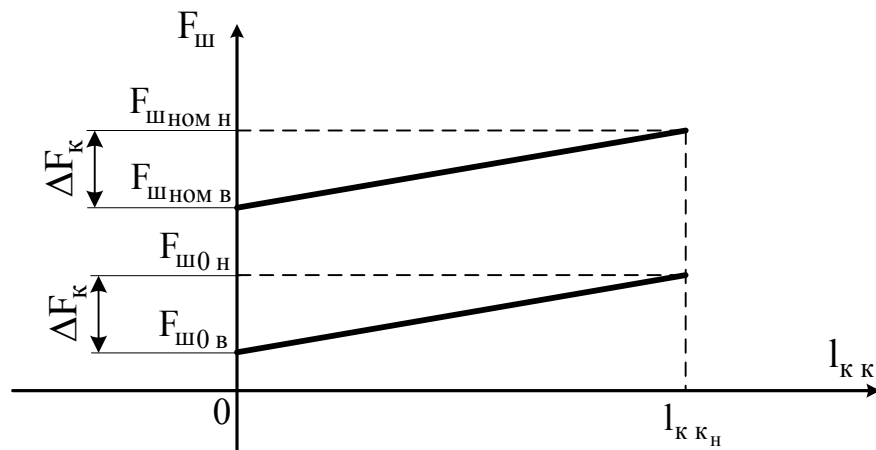


Рисунок 3.15 – Залежність зусилля на канатоведучому шківі від завантаження кабіни та довжини підйомного каната

Розглянуті навантаження відносяться до активних навантажень електропривода, які створюються зовнішнім джерелом механічної енергії і не залежать від напрямку руху. Окрім цього, на електропривод діють реактивні

навантаження, які є реакцією на рух і направлені проти руху, тобто завжди є гальмівними. До реактивних навантажень відносяться, перш за все, сили, обумовлені тертям в рухомих елементах.

В інженерній практиці зазвичай при визначенні статичного моменту  $M_c$  навантаження електродвигуна момент втрат враховуються за допомогою ККД механічної передачі  $\eta_{мп}$ .

*Моменти статичного опору врівноваженого ліфта:*

– при підйомі кабіни з номінальним вантажем (графік 1 на рис. 3.16, а):

$$M_c = \frac{(1 - \alpha) \cdot G_{в\ ном} \cdot D_{ш}}{2 \cdot i_{мп} \cdot \eta_{мп}}; \quad (3.59)$$

– при спуску кабіни з номінальним вантажем (графік 2 на рис. 3.16, а):

$$M_c = \frac{(1 - \alpha) \cdot G_{в\ ном} \cdot D_{ш}}{2 \cdot i_{мп}} \cdot \eta_{мп}; \quad (3.60)$$

– при підйомі порожньої кабіни (графік 3 на рис. 3.16, а):

$$M_c = \frac{-\alpha \cdot G_{в\ ном} \cdot D_{ш}}{2 \cdot i_{мп}} \cdot \eta_{мп}; \quad (3.61)$$

– при спуску порожньої кабіни (графік 4 на рис. 3.16, а):

$$M_c = \frac{-\alpha \cdot G_{в\ ном} \cdot D_{ш}}{2 \cdot i_{мп} \cdot \eta_{мп}}. \quad (3.62)$$

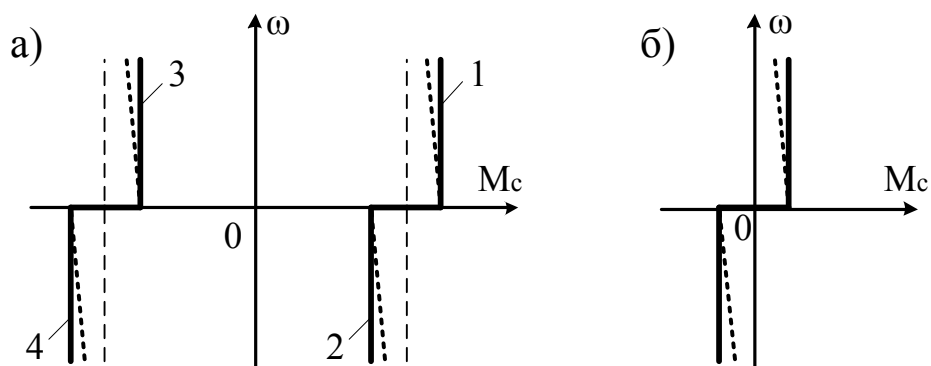


Рисунок 3.16 – Статичні моменти опору врівноваженого ліфта при нульовому та номінальному завантаженні кабіни (а) та при завантаженні кабіни, що відповідає врівноваженій системі ліфта (б)

*Моменти статичного опору частково врівноваженого ліфта:*

– при підйомі кабіни з номінальним вантажем:

$$M_c = \frac{((1 - \alpha) \cdot G_{\text{ВНОМ}} + F_k) \cdot D_{\text{Ш}}}{2 \cdot i_{\text{МП}} \cdot \eta_{\text{МП}}}; \quad (3.63)$$

– при спуску кабіни з номінальним вантажем:

$$M_c = \frac{((1 - \alpha) \cdot G_{\text{ВНОМ}} + F_k) \cdot D_{\text{Ш}}}{2 \cdot i_{\text{МП}}} \cdot \eta_{\text{МП}}; \quad (3.64)$$

– при підйомі порожньої кабіни:

$$M_c = \frac{(-\alpha \cdot G_{\text{ВНОМ}} + F_k) \cdot D_{\text{Ш}}}{2 \cdot i_{\text{МП}}} \cdot \eta_{\text{МП}}; \quad (3.65)$$

– при спуску порожньої кабіни:

$$M_c = \frac{(-\alpha \cdot G_{\text{ВНОМ}} + F_k) \cdot D_{\text{Ш}}}{2 \cdot i_{\text{МП}} \cdot \eta_{\text{МП}}}. \quad (3.66)$$

Характер зміни моментів опору за своїм зовнішнім виглядом наближено відповідає характеристикам для врівноваженого ліфта (див. рис. 3.16, характеристики нанесено штриховими лініями).

*Моменти статичного опору неврівноваженого ліфта:*

– при підйомі кабіни з номінальним вантажем (графік 1 на рис. 3.17):

$$M_c = \frac{(G_0 + G_{\text{ВНОМ}} + F_k) \cdot D_{\text{Ш}}}{2 \cdot i_{\text{МП}} \cdot \eta_{\text{МП}}}; \quad (3.67)$$

– при спуску кабіни з номінальним вантажем (графік 2 на рис. 3.17):

$$M_c = \frac{(G_0 + G_{\text{ВНОМ}} + F_k) \cdot D_{\text{Ш}}}{2 \cdot i_{\text{МП}X}} \cdot \eta_{\text{МП}}; \quad (3.68)$$

– при підйомі порожньої кабіни (графік 3 на рис. 3.17):

$$M_c = \frac{(G_0 + F_k) \cdot D_{\text{Ш}}}{2 \cdot i_{\text{МП}} \cdot \eta_{\text{МП}}}; \quad (3.69)$$

– при спуску порожньої кабіни (графік 4 на рис. 3.17):

$$M_c = \frac{(G_0 + F_k) \cdot D_{\text{Ш}}}{2 \cdot i_{\text{МП}}} \cdot \eta_{\text{МП}}. \quad (3.70)$$

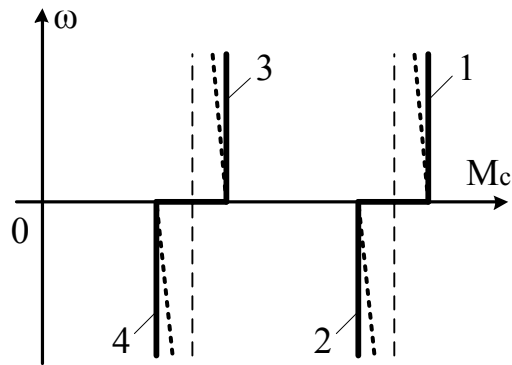


Рисунок 3.17 – Статичні моменти опору неврівноваженого ліфта

ККД механічної передачі залежить від завантаження ліфта, що необхідно враховувати при розрахунках. Розрахунок ККД механічної передачі при спуску розраховують аналогічно підйомним лебідкам кранів.

Якщо як редуктор підйомної лебідки ліфта використовується черв'ячна передача, то ККД такої передачі розраховують відповідно до рекомендацій для черв'ячних передач.

### 3.3 Скіпові підйомники

#### 3.3.1 Загальна характеристика

Скіпові підйомники – стаціонарні або пересувні установки для переміщення вантажів у скіпах (рис. 3.18).

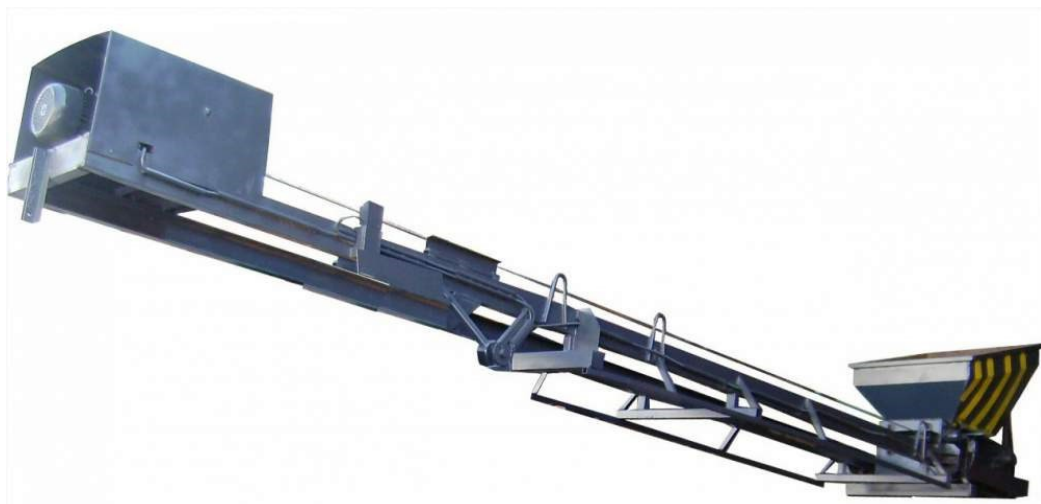


Рисунок 3.18 – Зовнішній вигляд скіпового підйомника

Скіп – підйомний, саморозвантажувальний короб, призначений для підйому сипучих і дрібних кускових вантажів (вугілля, руди та інших корисних копалин в гірничій промисловості, а також в будівництві), який рухається за допомогою канатів по жорстких напрямних скіпового підйомника (рис. 3.19).





Рисунок 3.19 – Конструкції скіпів

Розрізняють одно- та двоскіпові підйомники.

Електропривод скіпових підйомників працює в повторно-короткочасному режимі та при великій частоті вмикань.

### 3.3.2 Статичні навантаження скіпових підйомників

Найкращий режим роботи приводного двигуна скіпового підйомника буде у тому випадку, коли момент статичного опору залишатиметься незмінним в усіх режимах роботи підйомника.

Для односкіпового підйомника з протизагою виконання цієї умови досягається шляхом правильного розрахунку маси протизаги.

Для розрахунку маси протизаги необхідно розглянути два випадки:

1. Підйом завантаженого скіпа (рис. 3.20).

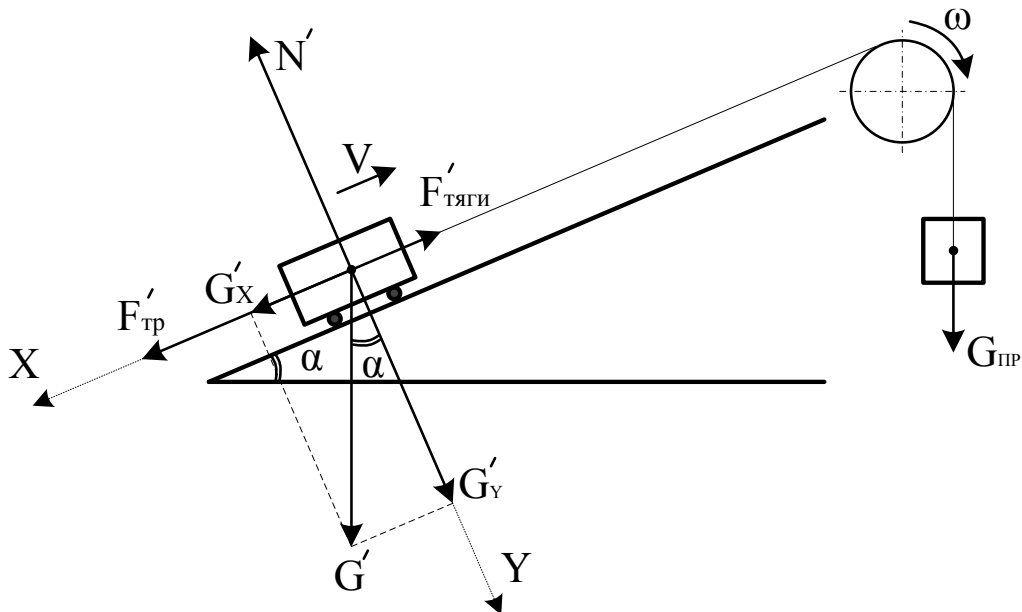


Рисунок 3.20 – Підйом завантаженого скіпа

Проекції сил:

– на вісь Y:

$$G_Y' - N' = 0; \quad (3.71)$$

– на вісь X:

$$G_X' + F_{тр}' - F_{тяги}' - G_{ПП} = 0. \quad (3.72)$$

З рівняння (3.72)

$$F_{тяги}' = G_X' + F_{тр}' - G_{ПП}. \quad (3.73)$$

Проекція сили  $G'$  на вісь X:

$$G_X' = (m_0 + m_B) \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (3.74)$$

де  $m_B$  – маса вантажу, що переміщується, кг;

$m_0$  – загальна маса незавантаженого механізму, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $m/s^2$ ;

$\alpha$  – кут нахилу напрямних, по яких рухається скіп (рейкової колії).

Проекція сили  $G'$  на вісь Y:

$$G_Y' = (m_0 + m_B) \cdot g \cdot \cos \alpha. \quad (3.75)$$

Сила тертя з врахуванням всіх коефіцієнтів тертя:

$$F_{тр}' = (m_0 + m_B) \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot k_{рб} \cdot \frac{(\mu \cdot d_{ц} + 2 \cdot f)}{d_k}, \quad (3.76)$$

де  $k_{рб}$  – коефіцієнт тертя реборд ходових коліс об рейки;

$\mu$  – коефіцієнт тертя в підшипниках цапф ходових коліс;

$f$  – коефіцієнт тертя кочення ходових коліс по рейках, м;

$d_{ц}$  – діаметр цапфи ходового колеса, м;

$d_k$  – діаметр ходового колеса, м.

2. Опускання пустого скіпа (рис. 3.21).

Проекції сил:

– на вісь Y:

$$G_Y'' - N'' = 0; \quad (3.77)$$

– на вісь X:

$$G_X'' - F_{тр}'' + F_{тяги}'' - G_{ПР} = 0. \quad (3.78)$$

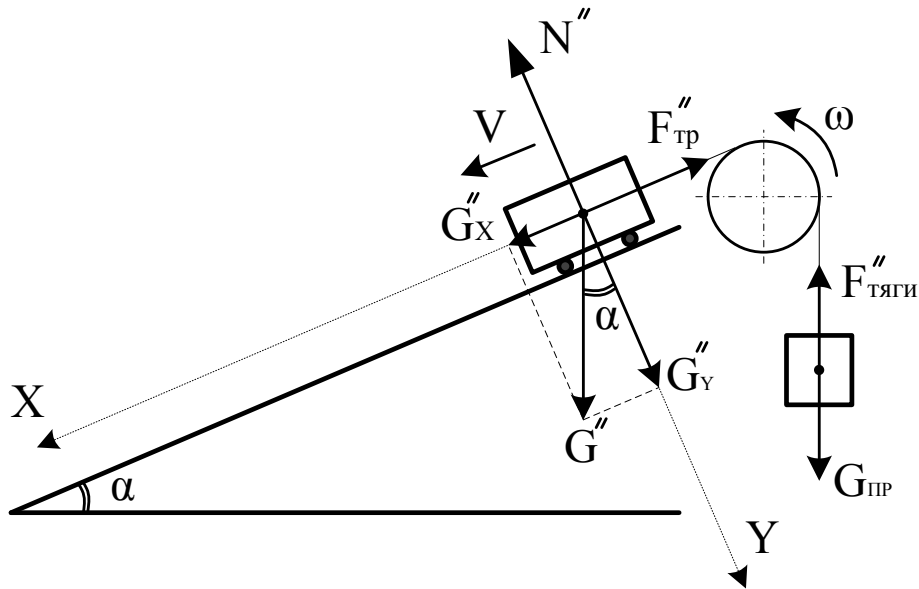


Рисунок 3.21 – Опускання порожнього скіпа

З рівняння (3.78)

$$F_{тяги}'' = -G_X'' + F_{тр}'' + G_{ПР}. \quad (3.79)$$

Проекція сили  $G''$  на вісь X:

$$G_X'' = m_0 \cdot g \cdot \sin \alpha. \quad (3.80)$$

Проекція сили  $G''$  на вісь Y:

$$G_Y'' = m_0 \cdot g \cdot \cos \alpha. \quad (3.81)$$

Сила тертя з врахуванням всіх коефіцієнтів тертя:

$$F_{тр}'' = m_0 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot k_{рб} \cdot \frac{(\mu \cdot d_{ц} + 2 \cdot f)}{d_k}. \quad (3.82)$$

Оскільки, за умовою, зусилля в канаті при підйомі завантаженого скіпа і опусканні порожнього скіпа однакові:

$$F_{тяги}' = F_{тяги}'' , \quad (3.83)$$

то прирівнявши рівняння (3.73) та (3.79) отримаємо:

$$G_X' + F_{тр}' - G_{ГР} = -G_X'' + F_{тр}'' + G_{ГР}. \quad (3.84)$$

Звідки

$$G_{ГР} = \frac{1}{2} \cdot (G_X' + F_{тр}' + G_X'' - F_{тр}''). \quad (3.85)$$

Маса противаги:

$$m_{ГР} = \frac{G_{ГР}}{g}. \quad (3.86)$$

Перевірочний розрахунок відповідно до рівнянь (3.73) та (3.79).

$$F_{тяги} = F_{тяги}' = F_{тяги}'' . \quad (3.87)$$

Момент статичного опору, приведений до вала двигуна:

$$M_c = \frac{F_{тяги} \cdot D_б}{2 \cdot i_{мп} \cdot \eta_{мп}}, \quad (3.88)$$

де  $D_б$  – діаметр барабана лебідки, м;

$i_{мп}$  – передаточне число механічної передачі;

$\eta_{мп}$  – ККД механічної передачі.

Результувальне зусилля на приводному барабані двоскіпового підйомника (рис. 3.22) визначається:

$$F_{рез} = F_1 - F_2, \quad (3.89)$$

де  $F_1$  – результувальна сила натягу на набігаючому кінці тягового каната (завантажений скіп рухається вгору), Н;

$F_2$  – результувальна сила натягу на збігаючому кінці тягового каната (розвантажений скіп рухається вниз), Н,

$$F_1 = F_{нк1} + F_{тр1}, \quad (3.90)$$

$$F_2 = F_{нк2} - F_{тр2}, \quad (3.91)$$

де  $F_{нк1}$  ( $F_{нк2}$ ) – сила натягу в канаті від ваги завантаженого (розвантаженого) скіпа, Н;

$F_{тр1}$  ( $F_{тр2}$ ) – сила тертя від при русі завантаженого (розвантаженого) скіпа, Н.

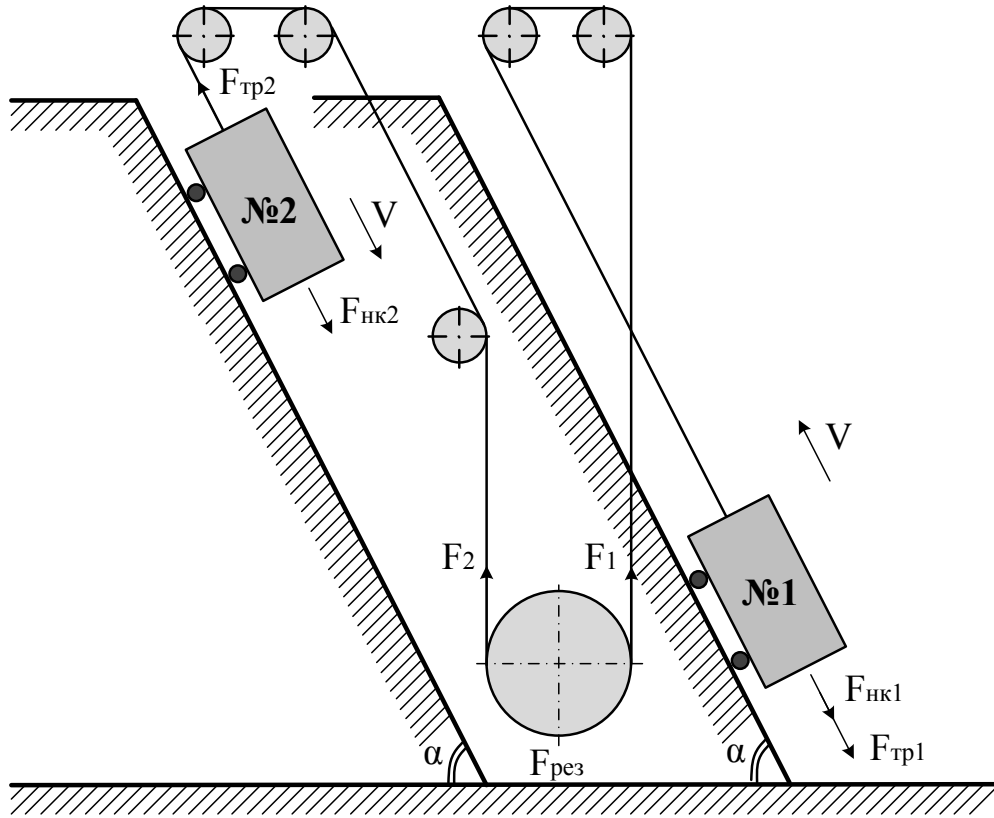


Рисунок 3.22 – Сили, що діють на двоскіповий підйомник

$$F_{нк1} = (m_0 + m_B) \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (3.92)$$

$$F_{нк2} = m_0 \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (3.93)$$

$$F_{тр1} = (m_0 + m_B) \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot k_{рб} \cdot \frac{(\mu \cdot d_{ц} + 2 \cdot f)}{d_k}, \quad (3.94)$$

$$F_{тр2} = m_0 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot k_{рб} \cdot \frac{(\mu \cdot d_{ц} + 2 \cdot f)}{d_k}. \quad (3.95)$$

Статичний момент опору, приведений до вала двигуна:

$$M_c = \frac{F_{рез} \cdot D_{б}}{2 \cdot i_{мп} \cdot \eta_{мп}}. \quad (3.96)$$

### 3.4 Штовхачі

#### 3.4.1 Загальна характеристика

Штовхач злитків – машина, призначена для переміщення окремих заготовок (блюнів і слябів) з рольганга в нагрівальну піч і просування через неї всього ряду заготовок.

За способом передачі зусилля розрізняють такі конструкції штовхачів: рейкові; гвинтові; важільні кулачкові; ланцюгові; фрикційні.

Для штовхачів переважно використовується електричний привод, але іноді застосовують на цих установках гідравлічний і пневматичний приводи.

Значного поширення набули рейкові штовхачі, які забезпечують значні зусилля проштовхування, а також їх кінематична схема характеризується значним ККД. Основна перевага застосування рейкових редукторів – високий ККД ( $\eta = 0,85 \dots 0,9$ ) та усунення ходової гайки, яка відносно швидко зношується.

Схема рейкового штовхача подана на рис. 3.23.

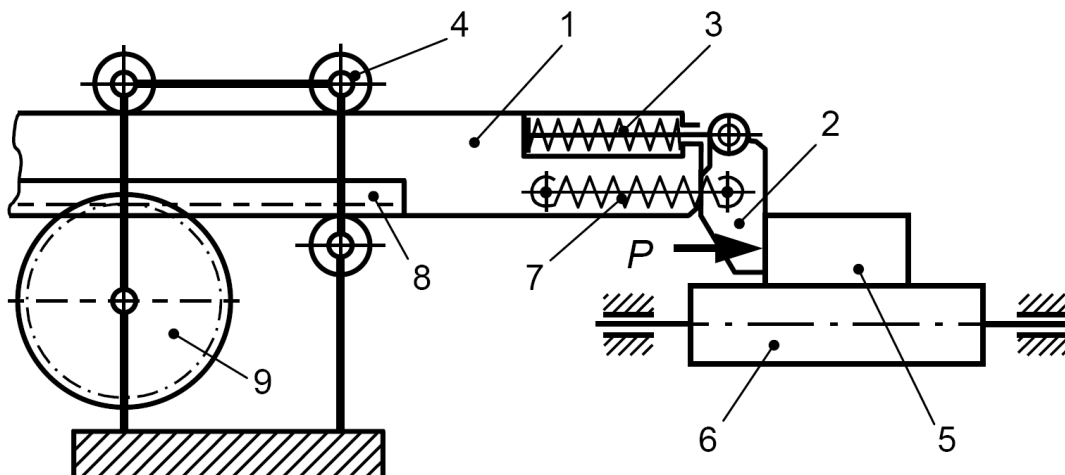


Рисунок 3.23 – Схема рейкового штовхача

На рис. 3.23: 1 – штовхальна штанга; 2 – штовхальні пальці; 3 – пружинні амортизатори; 4 – опорні катки; 5 – блюм; 6 – рольганг; 7 – замикальна пружина; 8 – зубчаста рейка; 9 – приводна шестерня.

При русі штанги вперед в опорних катках 4 пальці впираються в торець штанги і штовхають перед собою блюм 5. При русі штанги у зворотному напрямі і за наявності на рольгангу 6 наступного блюма пальці відхиляються вгору, і головка штанги безперешкодно повертається у вихідне положення, після чого замикальна пружина 7 притискає штовхальні пальці до торця штанги. З нижнього боку штанги закріплена зубчаста рейка 8, за допомогою якої на штангу передається штовхальне зусилля від привода через приводну шестерню 9.

Електричне обладнання рейкового штовхача повинно забезпечувати надійну роботу при повторно-короткочасному режимі, великій частоті

вмикань, в умовах високої запиленості та вологості повітря, а також високих температурах.

### 3.4.2 Статичні навантаження рейкових штовхачів

Цикл роботи рейкового штовхача складається з робочого та зворотного ходів.

Робочий хід штовхача умовно поділяють на такі ділянки (рис. 3.24):

- ділянка a – штовхач підходить до заготовки (холостий хід);
- ділянка b – штовхач просуває заготовку по площині рольганга;
- ділянка c – штовхач просуває заготовку по настилу печі до моменту контакту з іншими заготовками, які знаходяться в печі;
- ділянка d – штовхач просуває усі заготовки по настилу печі на відстань, яка відповідає ширині однієї заготовки.

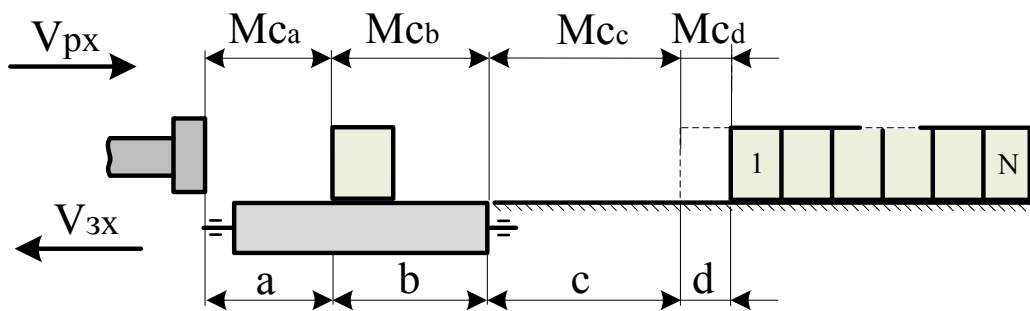


Рисунок 3.24 – Діаграма роботи рейкового штовхача

На ділянці робочого ходу діють моменти навантаження, зумовлені силою тертя:

- ділянка a:

$$M_{c_a} = \frac{G_0 \cdot \left( \mu \cdot \frac{d_{ц}}{2} + f \right)}{i_{мп} \cdot \eta_{мп0}}, \quad (3.97)$$

де  $G_0$  – вага штанги з рейкою, Н;

$\mu$  – коефіцієнт тертя кочення в підшипниках;

$d_{ц}$  – діаметри цапф напрямних роликів в підшипниках кочення, м;

$f$  – коефіцієнт тертя кочення штаги по роликах, м;

$i_{мп}$  – передаточне число механічної передачі;

$\eta_{мп0}$  – ККД механічної передачі в режимі холостого ходу;

- ділянка b:

$$M_{c_b} = M_{c_a} + \frac{G_{зл} \cdot \mu_p \cdot D_{рш}}{2 \cdot i_{мп} \cdot \eta_{мп}}, \quad (3.98)$$

де  $G_{зл}$  – вага одного злитка, Н;  
 $\mu_p$  – коефіцієнт тертя ковзання злитка по рольгангу;  
 $D_{рш}$  – діаметр рейкової шестерні, м;  
 $\eta_{мп}$  – ККД механічної передачі при номінальному навантаженні;  
– ділянка с:

$$M_{c_c} = M_{c_a} + \frac{G_{зл} \cdot \mu_c \cdot D_{рш}}{2 \cdot i_{мп} \cdot \eta_{мп}}, \quad (3.99)$$

де  $\mu_c$  – коефіцієнт тертя ковзання злитка по настилу печі;  
– ділянка d:

$$M_{c_d} = M_{c_a} + \frac{(N_z + 1) \cdot G_{зл} \cdot \mu_c \cdot D_{рш}}{2 \cdot i_{мп} \cdot \eta_{мп}}, \quad (3.100)$$

де  $N_z$  – число заготовок в печі.  
ККД механізму при холостому ході беруть:

$$\eta_0 = 0,5 \cdot \eta_{мп}. \quad (3.101)$$

### 3.5 Транспортери

#### 3.5.1 Загальна характеристика

Транспортер – машина неперервного транспорту, призначена для транспортування насипних і одиничних вантажів за заданою трасою згідно з технологічним процесом (рис. 3.25).

Вони знайшли широке застосування на відкритих розробках вугілля, руди, будівельних матеріалів, в поточно-транспортних лініях різних технологічних виробництв тощо.



Рисунок 3.25 – Зовнішній вигляд стрічкового транспортера



Основною конструктивною складовою транспортерів є замкнутий тяговий орган, який виготовляється із стрічки спеціального призначення, ланцюгів або канатів. Вибір тієї чи іншої конструкції тягового органа обумовлений характером транспортованого вантажу, швидкістю його руху та умовами навколишнього середовища.

Зовнішній вигляд тягового органа ланцюгового транспортера зображений на рис. 3.26.

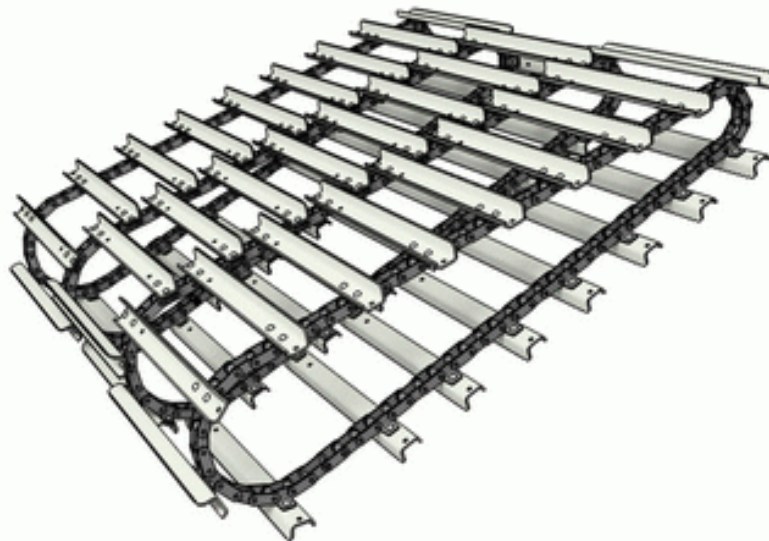


Рисунок 3.26 – Тяговий орган ланцюгового транспортера

Зазвичай електропривод транспортерів працює в тривалому режимі, не передбачає глибокого регулювання швидкості та реверсування. Слід відмітити, що в окремих випадках (залежно від умов роботи) електропривод транспортера може працювати в повторно-короткочасному режимі та при великій частоті вмикань, передбачати регулювання швидкості та, інколи, роботу у реверсному режимі.

### 3.4.2 Статичні навантаження транспортерів

Оскільки в даному посібнику об'єктом проектування є горизонтальний ланцюговий транспортер, то розглянемо навантаження, які діють на даний механізм (рис. 3.27).

Навантаження, яке діє на горизонтальний ланцюговий транспортер, враховує:

– момент опору від тертя ланцюга по елементах конструкції;

$$M_{\text{л}} = \frac{1,1 \cdot m_{\text{л}} \cdot g \cdot \mu_{\text{л}} \cdot D_{\text{з}}}{2}, \quad (3.102)$$

де 1,1 – коефіцієнт, який враховує втрати в зірочці, що виникають через зміну напрямку руху ланцюгів;

$m_{\text{л}}$  – маса ланцюгів, кг;  
 $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  
 $\mu_{\text{л}}$  – коефіцієнт тертя ковзання ланцюгів;  
 $D_3$  – діаметр зірочки, м;

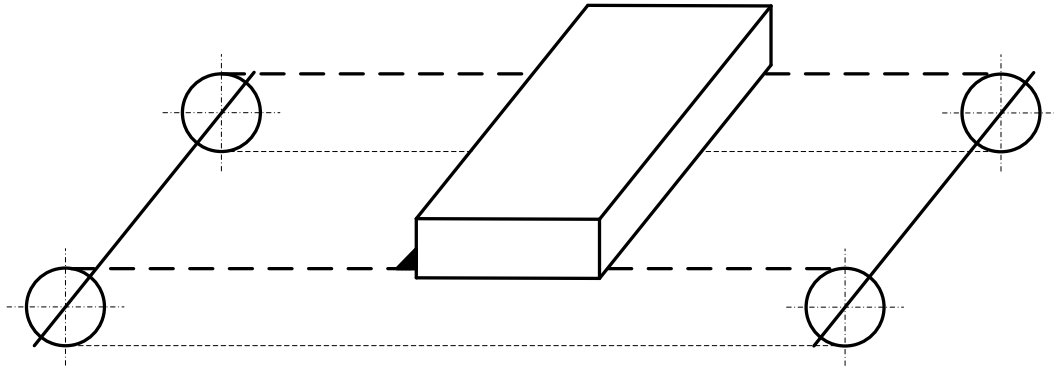


Рисунок 3.27 – Навантаження, які діють на горизонтальний ланцюговий транспортер

– момент опору від тертя вантажу по напрямних:

$$M_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}} \cdot g \cdot \mu_{\text{в}} \cdot D_3}{2}, \quad (3.103)$$

де  $m_{\text{в}}$  – маса вантажу, що транспортується, кг;  
 $\mu_{\text{в}}$  – коефіцієнт тертя ковзання вантажу по напрямних;  
 – момент опору від тертя в опорах цапф підшипників вала з зірочками.

$$M_{\text{вз}} = \frac{m_{\text{вз}} \cdot g \cdot \mu_{\text{вз}} \cdot d_{\text{ц}}}{2}, \quad (3.104)$$

де  $m_{\text{вз}}$  – маса вала з зірочками, кг;  
 $\mu_{\text{вз}}$  – коефіцієнт тертя ковзання в опорних підшипниках вала з зірочками;

$d_{\text{ц}}$  – діаметр цапфи (шийки вала), м.

Момент статичного опору горизонтального ланцюгового транспортера:

$$M_{\text{с}} = \frac{M_{\text{л}} + M_{\text{в}} + M_{\text{вз}}}{i_{\text{мп}} \cdot \eta_{\text{мп}}}, \quad (3.105)$$

де  $i_{\text{мп}}$  – передаточне число механічної передачі;  
 $\eta_{\text{мп}}$  – ККД механічної передачі.

### 3.6 Рольганги

#### 3.6.1 Загальна характеристика

Рольганги – механізми, призначені для транспортування вантажів по роликах. Інколи їх називають роликowymi транспортерами.

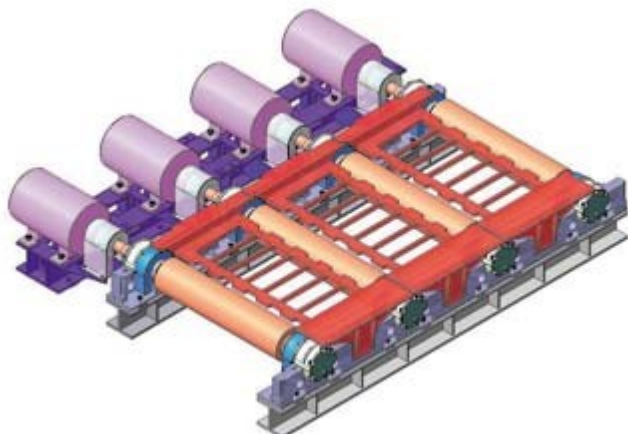


Рисунок 3.28 – Зовнішній вигляд рольганга з індивідуальним приводом

Основними конструктивними елементами рольгангів є металева рама, на якій розміщуються ролики (рис. 3.28). Особливості конструкції рольгангів в цілому і роликів зокрема залежать від їх призначення та області використання.

Рольганги широко використовуються в різних галузях господарства. Особливо важливою є їх роль в галузі металургії, де вони забезпечують транспортування заготовок, напівфабрикатів і готових виробів під час технологічного процесу прокатного виробництва.

При подальшому аналізі акцент буде зроблено на рольгангах, які використовуються саме у прокатному виробництві.

Рольганги виконують з груповим чи індивідуальним електроприводом.

При груповому приводі (рис. 3.29) секція рольганга, що містить 3 – 10 роликів і більше, має загальний однодвигунний або дводвигунний привод.

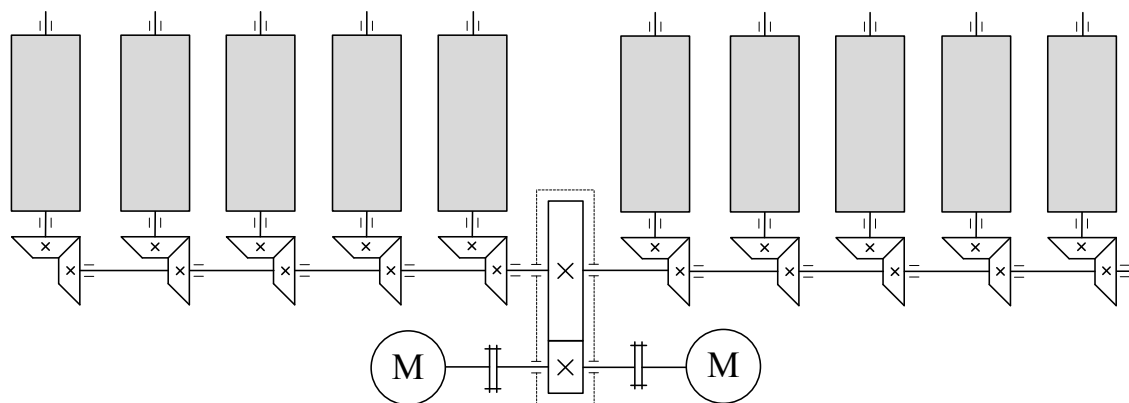


Рисунок 3.29 – Кінематична схема рольганга з груповим приводом

Груповий привод застосовується у рольгангів, які переміщують короткі заготовки, коли на один ролик може припадати майже вся маса заготовки.

Для рольгангів, які транспортують метал великої довжини, при якій маса металу розподіляється на велике число роликів, використовують індивідуальний привод (рис. 3.30).

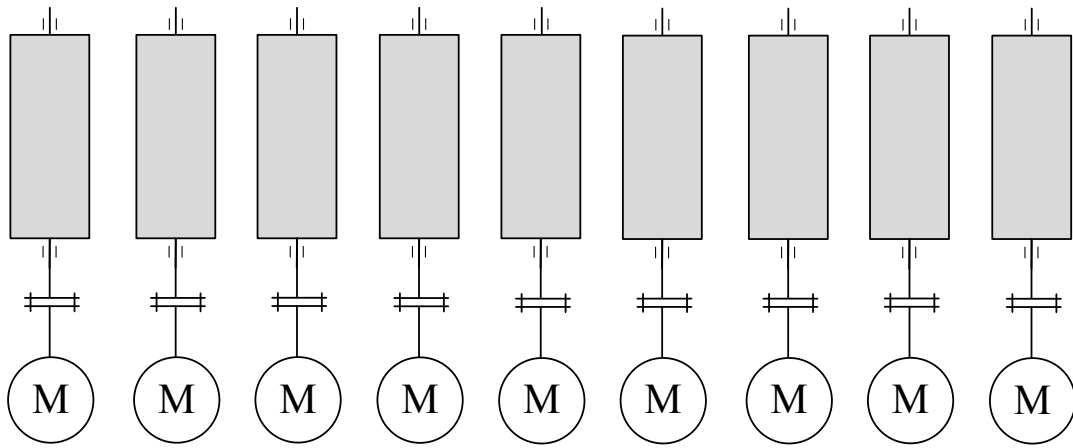


Рисунок 3.30 – Кінематична схема рольганга з індивідуальним приводом

До переваг індивідуального привода транспортних рольгангів відносять: можливість заміни двигунів без зупинки рольганга; можливість роботи рольганга при виході з ладу одного або декількох двигунів; відсутність передавальних пристроїв.

Для швидкохідних рольгангів ролики зазвичай з'єднують з електродвигуном безпосередньо, а для тихохідних – через редуктор.

Як приводні двигуни рольгангів зазвичай використовують асинхронні короткозамкнені двигуни з великою перевантажувальною здатністю, а також двигуни постійного струму спеціальних серій.

Режими роботи електроприводів рольгангів визначаються їх призначенням і технологічним процесом. Електроприводи рольгангів зазвичай працюють в повторно-короткочасному режимі з великим числом включень, передбачають регулювання швидкості, а також повинні забезпечувати необхідну плавність регулювання, швидкодію, точність зупинки, обмеження моменту двигуна при великих перевантаженнях і роботі в динамічних режимах, реверсування тощо.

Інтенсивність пуску рольганга повинна бути такою, щоб забезпечувати рівноприскорений розгін без пробуксовування заготовок (злитків) по роликах. Саме тому лінійні прискорення чи сповільнення заготовок (злитків) не повинні перевищувати допустимих значень  $a_{\text{доп}}$ , які відповідають силі тертя ковзання по рольгангу, тобто:

$$m_m \cdot g \cdot \mu_6 \geq m_m \cdot a_{\text{доп}}, \quad (3.106)$$

$$a_{\text{доп}} \leq g \cdot \mu_6, \quad (3.107)$$

де  $m_m$  – маса металу, яка припадає на одну секцію рольганга, кг;  
 $\mu_6$  – коефіцієнт тертя при буксуванні (при гарячій прокатці  $\mu_6 = 0,15 \dots 0,3$ , а при холодній  $\mu_6 = 0,1 \dots 0,15$ ).

Використовуючи задані значення  $\mu_6$ , отримаємо такі максимально мо-

жливі прискорення при транспортуванні заготовки по сталевих роликах:

- для холодного металу  $a_{\max} = (0,98 \dots 1,47) \text{ м/с}^2$ ;
- для гарячого металу  $a_{\max} = (1,47 \dots 2,94) \text{ м/с}^2$ .

Для рольгангів з груповим електроприводом величина  $m_m$  зазвичай вважається рівною масі злитка металу  $m_{\text{зл}}$ . Однак для рольгангів з індивідуальним електроприводом чи з груповим електроприводом, але при довгих полосах транспортованого металу, величина  $m_m$  має дещо невизначене значення, оскільки залежить від кількості точок контакту металу з роликми рольганга. При цьому суттєвим є ступінь викривлення металу, точність установлення рольганга за нівеліром тощо.

В табл. 3.1 наведені значення відносної маси металу на один ролик рольганга з індивідуальним електроприводом:

$$K = \frac{m_m}{m_{\text{зл}}} \quad (3.108)$$

Таблиця 3.1 – Значення відносної маси металу на один ролик рольганга з індивідуальним електроприводом

Характеристика прокату	K
Розкат перерізом понад $1000 \text{ мм}^2$ і довжиною, меншою трьох кроків роликів	0,75
Полоси перерізом понад $2000 \text{ мм}^2$ і довжиною, більшою трьох кроків роликів	0,5
Полоси перерізом понад $2000 \text{ мм}^2$ і довжиною, більшою чотирьох кроків роликів	0,3
Тонкі полоси чи низькосортний прокат довжиною, більшою дев'яти кроків роликів	Маса металу на довжині потроєного кроку роликів

### 3.6.2 Статичні навантаження рольгангів

Для визначення навантаження на приводний чи приводні двигуни рольганга необхідно розрахувати такі моменти статичного опору:

- момент холостого ходу роликів  $M_{\text{хх}}$ ;
- момент транспортування металу по роликах  $M_{\text{тр}}$ ;
- момент буксування роликів по транспортованому металу  $M_{\text{б}}$ ;
- момент додаткових статичних опорів  $M_{\text{дод}}$  (момент тертя металу об бокові обрамлення рольганга; момент додаткового статичного опору при транспортуванні заготовки з кінцем, загнутим вниз).

Момент холостого ходу роликів, приведений до вала двигуна:

$$M_{\text{хх}} = \frac{g \cdot z_p \cdot m_p \cdot d_{\text{ц}} \cdot \mu_{\text{ц}}}{2 \cdot i_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{мп0}}}, \quad (3.109)$$

де  $z_p$  – кількість роликів секції рольганга з груповим приводом;

$m_p$  – маса одного ролика, кг;  
 $d_{ц}$  – діаметр цапфи ролика, м;  
 $\mu_{ц}$  – коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках ролика;  
 $i_{ред}$  – передаточне число редуктора;  
 $\eta_{мп_0}$  – ККД механічної передачі при холостому ході.  
 ККД механічної передачі при холостому ході:

$$\eta_{мп_0} = 0,5 \cdot \eta_{мп}, \quad (3.110)$$

де  $\eta_{мп}$  – ККД механічної передачі при номінальному завантаженні.

В табл. 3.2 наведено значення коефіцієнтів тертя ковзання в підшипниках роликів для різних умов роботи.

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти тертя ковзання в підшипниках роликів

Тип підшипника	Нормальні умови роботи підшипників	Вплив на підшипник високих температур транспортованого металу
Ковзання	0,06...0,08	0,09...0,12
Кочення	0,005...0,007	0,007...0,01

Момент транспортування металу по роликах, приведений до вала двигуна:

$$M_{тр} = \frac{g \cdot m_m \cdot \left( \frac{d_{ц}}{2} \cdot \mu_{ц} + f \right)}{i_{ред} \cdot \eta_{мп_{тр}}}, \quad (3.111)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя кочення металу по роликах (для холодного металу  $f = 0,001$  м, а для гарячого  $f = 0,0015$  м);

$\eta_{мп_{тр}}$  – ККД механічної передачі при транспортуванні металу по рольгангу.

Оскільки транспортування злитка по рольгангу дає зазвичай незначне збільшення статичного навантаження на електропривод порівняно з навантаженням холостого ходу, то можна взяти:

$$\eta_{мп_{тр}} \approx \eta_{мп_0} = 0,5 \cdot \eta_{мп}. \quad (3.112)$$

Повний статичний момент при транспортуванні металу по рольгангу за відсутності буксування і додаткових опорів:

$$M_{\Sigma тр} = M_{xx} + M_{тр}, \quad (3.113)$$

$$M_{\Sigma_{\text{тр}}} = \frac{g \cdot (z_p \cdot m_p + m_m) \cdot \frac{d_{\text{ц}}}{2} \cdot \mu_{\text{ц}} + g \cdot m_m \cdot f}{i_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{мп0}}}. \quad (3.114)$$

При розрахунку статичного навантаження на електропривод рольганга визначають моменти, необхідні для транспортування злитків максимальної  $M_{\Sigma_{\text{тр,max}}}$  і мінімальної  $M_{\Sigma_{\text{тр,min}}}$  маси. Статичний момент при транспортуванні злитка мінімальної маси необхідний для визначення гранично-виправданого моменту.

При надто великих прискореннях і сповільненнях, при викиді металу з валків на ролики, при упорі металу в борти рольганга і напрямні відбувається буксування (проковзування) роликів по металу. При цьому різко зростає навантаження.

Момент буксування, приведений до вала двигуна:

$$M_{\text{б}} = \frac{g \cdot m_m \cdot d_p \cdot \mu_{\text{б}}}{2 \cdot i_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{мп}}}. \quad (3.115)$$

де  $d_p$  – діаметр ролика, м;

$\mu_{\text{б}}$  – коефіцієнт тертя при буксуванні.

При визначенні  $M_{\text{б}}$  величина  $m_m$  береться відповідно до максимальної маси транспортованого злитка.

Повний момент статичного опору при буксуванні:

$$M_{\Sigma_{\text{б}}} = M_{\text{хх}} + M_{\text{б}}, \quad (3.116)$$

$$M_{\Sigma_{\text{б}}} = \frac{g \cdot (z_p \cdot m_p + m_m) \cdot \frac{d_{\text{ц}}}{2} \cdot \mu_{\text{ц}} + m_m \cdot f}{i_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{мп0}}}. \quad (3.117)$$

Момент статичного опору при буксуванні визначається для вибору електродвигунів рольгангів за перевантажувальною здатністю. Двигуни рольгангів повинні розвивати момент, достатній для пробуксовування роликів по транспортованому металу. Ця умова в першу чергу відноситься до робочих рольгангів і станинних роликів, а також до рольгангів перед упором ножиць і пил.

Гранично-виправданий момент на валі двигуна – це такий максимальний пусковий чи гальмівний момент, при якому рух транспортованого металу буде відбуватись без буксування. Якщо двигун буде розвивати момент, який буде більшим гранично-виправданого, то це не вплине на зміну прискорення металу, а лише зумовить буксування і, як наслідок, інтенсивніше зношення роликів.

Гранично-виправданий момент на валі приводного двигуна рольганга:  
– при прискоренні:

$$M_{\text{ГВ. П}} = M_{\Sigma \text{тр. min}} + M_{\text{д}}; \quad (3.118)$$

– при сповільненні:

$$M_{\text{ГВ. С}} = M_{\Sigma \text{тр. max}} - M_{\text{д}}, \quad (3.119)$$

де  $M_{\text{д}}$  – динамічний момент на валі двигуна, Н·м.

В (3.118) і (3.119) значення статичного моменту при транспортуванні злитка мінімальної  $M_{\Sigma \text{тр. min}}$  та максимальної  $M_{\Sigma \text{тр. max}}$  маси враховується так, щоб отримати найменше можливе значення максимально-виправданого моменту. Якщо, наприклад, величину  $M_{\text{ГВ. П}}$  розраховувати, виходячи із значення  $M_{\Sigma \text{тр. max}}$ , то вибраний таким чином пусковий момент електродвигуна буде зумовлювати буксування ролика при транспортуванні злитка найменшої маси.

Динамічний момент на валі приводного двигуна:

$$M_{\text{д}} = \frac{2 \cdot g \cdot i_{\text{ред}} \cdot \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} \cdot J_{\Sigma}. \quad (3.120)$$

де  $J_{\Sigma}$  – момент інерції, приведений до вала двигуна, кг·м<sup>2</sup>.

Таким чином, гранично-виправдані моменти при прискореннях та сповільненнях рольганга:

$$M_{\text{ГВ. П}} = M_{\Sigma \text{тр. min}} + \frac{2 \cdot g \cdot i_{\text{ред}} \cdot \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} \cdot J_{\Sigma}, \quad (3.121)$$

$$M_{\text{ГВ. С}} = M_{\Sigma \text{тр. max}} - \frac{2 \cdot g \cdot i_{\text{ред}} \cdot \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} \cdot J_{\Sigma}. \quad (3.122)$$

За необхідності момент додаткових статичних опорів  $M_{\text{дод}}$  враховують, відповідним чином коригуючи значення повного статичного моменту, який входить в розрахункові формули (3.121) та (3.122).



## ЛІТЕРАТУРА

1. Методичні вказівки до оформлення курсових проектів (робіт) у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. Лисенко Г. Л., Буда А. Г., Обертюх Р. Р. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 60 с.
2. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М. : Энергоиздат, 1981. – 576 с.
3. Москаленко В. В. Электрический привод / Москаленко В. В. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
4. Онищенко Г. Б. Электрический привод / Онищенко Г. Б. – [2-е изд., стер.]. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.
5. Ключев В. И. Теория электропривода / Ключев В. И. – М. : Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
6. Фираго Б. И. Теория электропривода / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Мн. : ЗАО «Техноперспектива», 2004. – 527 с.
7. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів : навчальний посібник / А. А. Видмиш, С. М. Бабій, В. В. Петрусь. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 101 с.
8. Драчев Г. И. Теория электропривода : учебное пособие к курсовому проектированию для студентов заочного обучения спец. 180400 / Драчев Г. И. – [2-е изд., доп.]. – Челябинск : Изд. ЮУрГУ, 2002. – 137 с.
9. Піцан Р. М. Збірник задач до курсу «Електропривод» : навчальний посібник / Р. М. Піцан, В. Т. Бардачевський, Б. Г. Бойчук. – Львів : Видавництво Державного університету «Львівська політехніка», 1999. – 426 с.
10. Комплектные тиристорные электроприводы постоянного тока КТЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
<http://www.zpr.com.ua/chernaya-metallurgiya/seriya-komplektnix-tiristornix-elektroprivodov-postoyannogo-toka-kte-iv-go-pokoleniya/flypage.tpl.html>.
11. Тиристорный регулятор напряжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
<http://www.ecoteco.ru/id658/>.
12. Устройства плавного пуска электродвигателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
<http://www.svaltera.ua/?inc=prod/privod&content=privod1>.
13. Преобразователи частоты. Основы выбора и подбора [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
[http://powergroup.com.ua/vibor\\_preobrazovatelya\\_chastoti](http://powergroup.com.ua/vibor_preobrazovatelya_chastoti).
14. Преобразователи частоты Siemens Micromaster 440. Режим доступа:  
<http://progressavtomatika.ru/siemens-micromaster-mm-440.php>.
15. Преобразователи частоты Siemens Micromaster 440 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[http://novitech.com.ua/ru/produkcija/preobrazovateli\\_chastoti/siemens\\_micromaster\\_440.html](http://novitech.com.ua/ru/produkcija/preobrazovateli_chastoti/siemens_micromaster_440.html).

16. Системы управления электроприводами / [Голубь А. П., Кузнецов Б. И., Опрышко И. А., Соляник В. П.]; под ред. В. П. Соляника. – К. : УМК ВО, 1992. – 376 с.

17. Черных И. В. Моделирование электромеханических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / Черных И. В. – М. : ДМК Пресс; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.

18. Моделювання електромеханічних систем : підручник / [Чорний О. П., Луговий А. В., Родькін Д. Й., Сисюк Г. Ю., Садовой О. В]. – Кременчук, 2001. – 410 с.

19. Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв / [Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 137 с.

20. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М. П. Белов, М. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – [3-е изд., испр.]. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 576 с.

21. Смирнитский Б. В. Автоматизированный электропривод типовых промышленных механизмов : учеб. пособие / Смирнитский Б. В. – Харьков : ХГПУ, 1998. – 382 с.

22. Ключев В. И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В. И. Ключев, В. М. Терехов. – М. : Энергия, 1980. – 360 с.

23. Волотковский С. А. Типовой электропривод промышленных установок / С. А. Волотковский, В. И. Емец, В. К. Козло. – К. : Вища школа, 1983. – 312 с.

24. Есаков В. П. Электрооборудование и электропривод промышленных установок / Есаков В. П. – Киев : Высшая школа. Головное изд-во, 1981. – 248 с.

25. Герасимьяк Р. П. Электроприводы крановых механизмов / Р. П. Герасимьяк, В. А. Параил. – М. : Энергия, 1970. – 136 с.

26. Ушаков Н. С. Мостовые электрические краны / Ушаков Н. С. – Л. : Машиностроение, 1980. – 296 с.

27. Иванченко Ф. К. Расчеты грузоподъемных и транспортных машин / Иванченко Ф. К. – Киев : Издательское объединение «Вища школа», Головное изд-во, 1978. – 576 с.

28. Волков Д. П. Лифты / Волков Д. П. – М. : Из-во АСВ, 1999. – 480 с.

29. Гейлер Л. Б. Электропривод в тяжелом машиностроении / Гейлер Л. Б. – М. : Машгиз, 1958. – 581 с.

30. Бычков В. П. Электропривод и автоматизация металлургического производства : учебн. пособие для вузов / Бычков В. П. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : «Высш. школа», 1977. – 391 с.

31. Зеленов А. Б. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов : учеб. пособие / Зеленов А. Б. – К. : УМК ВО, 1990. – 220 с.

## ГЛОСАРІЙ

Автоматизований електропривод	automatic electric drive
Вантажний підйомник	cargo lift
Виконавчий орган	executive body
Виробничий механізм	production mechanism
Динамічний момент	dynamic moment
Діапазон регулювання	control range
Електропривод	electric drive
Зворотний зв'язок	feedback
Кінематична схема	kinematic scheme
Кран	crane
Кутова швидкість	angular velocity
Лінійна швидкість	linear velocity
Ліфт	elevator
Механічна передача	mechanical transmission
Механічна характеристика	mechanical characteristics
Моделювання	modeling
Навантажувальна діаграма	loading diagram
Напруга	voltage
Перевантажувальна здатність	overload capacity
Передавальна функція	transfer function
Перетворювальний пристрій	converting device
Перетворювач частоти	frequency converter
Перехідний процес	transition process
Підйомна лебідка	drawing machine
Потужність	power
Приводний двигун	drive motor
Принципова схема	schematic diagram
Природна характеристика	natural characteristics
Рольганг	roller
Силовий перетворювач	power converter
Система керування	management system
Скіповий підйомник	skip lift
Статичний момент	static moment
Структурна схема	block diagram
Струм	current
Тиристорний перетворювач	thyristor converter
Тиристорний регулятор напруги	thyristor voltage regulator
Транспортер	conveyor
Тяговий орган	traction body
Формула	formula

## Додаток А

### Завдання на проектування

#### А.1 Автоматизований електропривод підйомної лебідки крана

Підйомна лебідка (рис. А.1) призначена для переміщення вантажів у вертикальній площині.

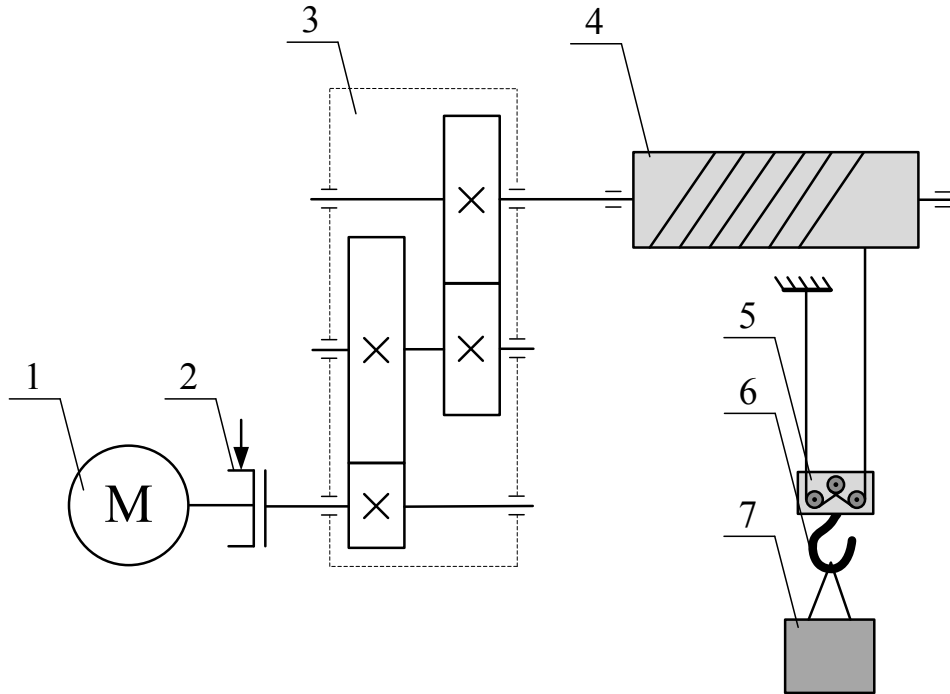


Рисунок А.1 – Кінематична схема підйомної лебідки

На кінематичній схемі: 1 – електродвигун; 2 – гальмівний шків; 3 – редуктор; 4 – барабан; 5 – поліспаст; 6 – вантажозахватний пристрій; 7 – вантаж.

Діаграма навантаження підйомної лебідки за цикл роботи складається з чотирьох ділянок: підйом і опускання вантажу, підйом і опускання порожнього вантажозахватного пристрою. Основну частину шляху вантаж рухається з номінальною швидкістю  $V_{\text{ном}}$ , а його дотягування здійснюється на швидкості посадки  $V_{\text{пос}}$ . Слід зауважити, що посадка присутня лише при опусканні вантажу.

Таблиця А.1 – Вихідні дані

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Варіант											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
$m_v$	Вантажопідйомність	т	4	10	3,6	12	10	10	10	10	2	12,5	30	12
$m_0$	Маса вантажозахватного пристрою	т	0,2	0,36	0,3	0,35	0,4	0,32	0,32	0,32	0,15	0,41	0,98	0,4
$V_{ном}$	Швидкість підйому / опускання	м/с	0,35	0,31	0,345	0,52	0,32	0,3	0,32	0,3	0,42	0,32	0,118	0,29
$V_{пос}$	Швидкість посадки	м/с	0,05	0,035	0,02	0,06	0,022	0,018	0,022	0,018	0,2	0,02	0,05	0,03
$a_{доп}$	Допустиме прискорення	м/с <sup>2</sup>	0,5	0,4	0,3	0,3	0,28	0,29	0,28	0,29	0,35	0,4	0,2	0,28
$H$	Висота підйому	м	15	30	20	35	12	25	12	25	10	25	14	30
$H_{пос}$	Висота посадки	м	0,3	0,5	0,4	0,6	0,25	0,5	0,25	0,5	0,45	0,5	0,3	0,5
$D_б$	Діаметр барабана	мм	445	600	460	0,68	580	580	580	580	460	600	0,6	650
$i_{мп}$	Передагочне число редуктора	–	20	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	25	16	56	40
$u$	Кратність поліпаста	–	3	3	2	2	2	3	2	3	2	4	3	2
$\eta_{мп}$	ККД механічної передачі при підйомі номінального вантажу	–	0,78	0,8	0,76	0,76	0,79	0,85	0,79	0,85	0,81	0,8	0,8	0,78
$J_б$	Момент інерції барабана	кг·м <sup>2</sup>	3,1	5,2	2	18	4,9	5,9	4,9	5,9	1,8	6,8	5,2	5,5
$J_{гш}$	Момент інерції гальмівного шківa	кг·м <sup>2</sup>	0,25	0,35	0,27	0,73	0,7	1,2	0,7	1,2	0,2	1,4	0,35	0,4
$J_{ред}$	Момент інерції редуктора	кг·м <sup>2</sup>	0,15	0,25	0,2	0,25	0,3	0,9	0,3	0,9	0,14	1,1	0,25	0,3
$TВ_ф$	Фактична тривалість вмикання	%	32	50	35	38	48	46	48	46	34	45	60	53

## А.2 Автоматизований електропривод вантажного підйомника

Вантажний підйомник (рис. А.2) призначений для підйому вантажів з нижнього майданчика на верхній у спеціальній кабіні.

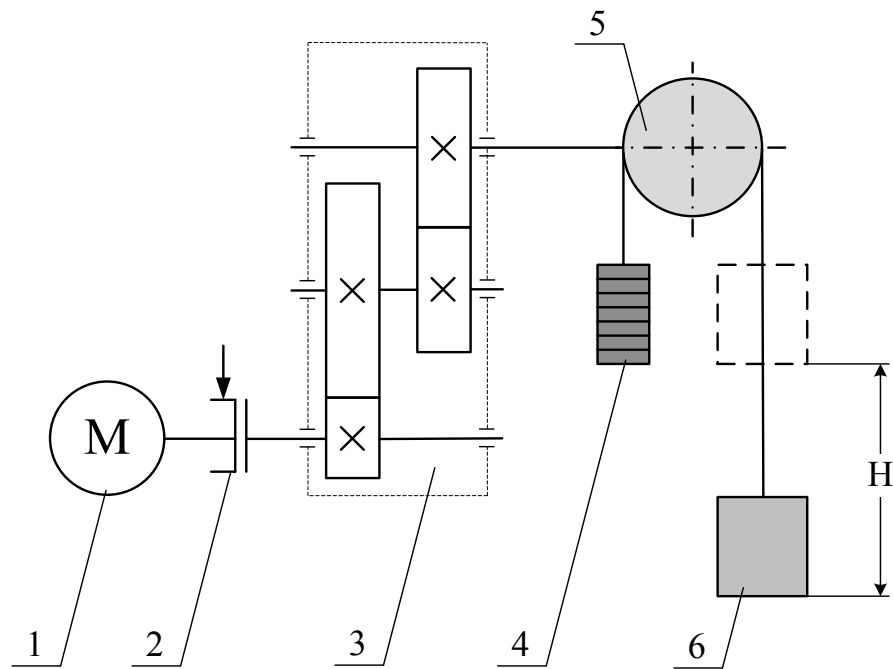


Рисунок А.2 – Кінематична схема вантажного підйомника

На кінематичній схемі: 1 – електродвигун; 2 – гальмівний шків; 3 – редуктор; 4 – противага; 5 – канатоведучий шків; 6 – кабіна.

Діаграма навантаження вантажного підйомника за цикл роботи складається з двох ділянок: підйому номінального вантажу та опускання пустої кабіни. Підйом кабіни відбувається з усталеною швидкістю  $V_{px}$ , а опускання – із швидкістю  $V_{zx}$ .

Таблиця А.2 – Вихідні дані

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Варіант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_b$	Вантажопідйомність	т	5	3	3,5	4,5	2	1,5	1	0,78	0,5	4
$m_0$	Маса кабіни	т	7,5	4,1	6	6,5	3	2,3	1,5	1,4	1	6
$m_{\text{пог}}$	Маса погонного метра підйомного каната	кг/м	10	10	10	10	10	10	8	8	8	10
$V_{\text{рх}}$	Швидкість робочого ходу	м/с	0,37	0,35	0,2	0,2	0,25	0,24	0,28	0,3	0,4	0,22
$V_{\text{зх}}$	Швидкість зворотного ходу	м/с	0,43	0,4	0,3	0,3	0,34	0,38	0,4	0,43	0,5	0,34
$a_{\text{доп}}$	Допустиме прискорення	м/с <sup>2</sup>	0,5	0,41	0,5	0,5	0,45	0,55	0,37	0,5	0,35	0,45
$H$	Висота підйому	м	6	8	4	9	10	7	11	5	6	7
$D_{\text{квш}}$	Діаметр КВПШ	м	0,6	0,5	0,25	0,35	0,3	0,33	0,4	0,37	0,4	0,4
$i_{\text{мп}}$	Передаточне число редуктора	–	50	45	40	40	31,5	40	45	40	40	40
$\eta_{\text{мп}}$	ККД механічної передачі	–	0,75	0,78	0,8	0,81	0,76	0,83	0,79	0,8	0,83	0,8
$J_{\text{квш}}$	Момент інерції КВПШ	кг·м <sup>2</sup>	10	9,7	8	8,8	3,8	3,4	4,2	4,1	3,5	8,5
$J_{\text{гш}}$	Момент інерції гальмівного шківів	кг·м <sup>2</sup>	0,85	0,8	0,6	0,62	0,42	0,38	0,3	0,29	0,25	0,6
$J_{\text{ред}}$	Момент інерції редуктора	кг·м <sup>2</sup>	0,2	0,2	0,2	0,22	0,15	0,14	0,12	0,12	0,11	0,2
$Z$	Кількість шківів за годину	–	12	24	50	30	35	40	25	60	55	27
$\alpha$	Коефіцієнт врівноваження	–	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

### А.3 Автоматизований електропривод пасажирського підйомника

Пасажирським підйомником (рис. А.3) називають стаціонарну підйомну машину періодичної дії, призначену для транспортування пасажирів з одного рівня на інший в кабіні, яка рухається в спеціальній шахті по жорстких прямолінійних напрямних.

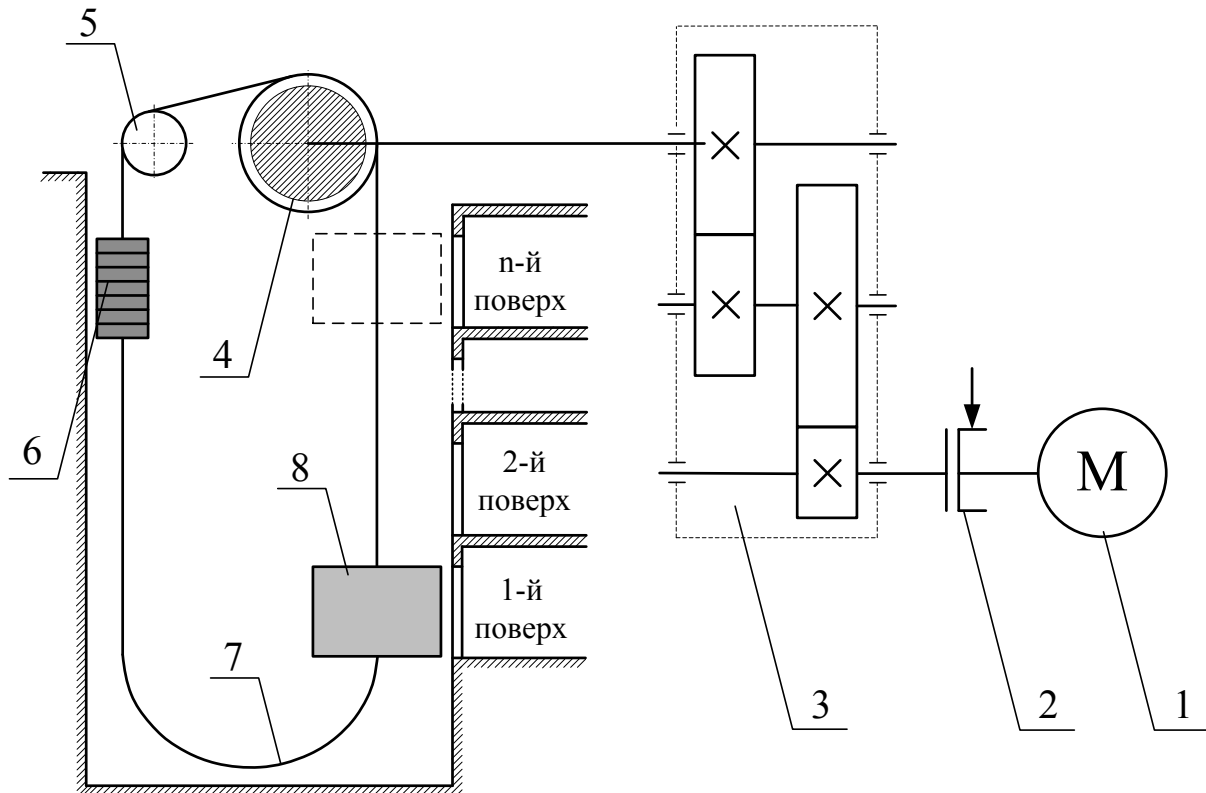


Рисунок А.3 – Кінематична схема пасажирського підйомника

На кінематичній схемі: 1 – електродвигун; 2 – гальмівний шків; 3 – редуктор; 4 – канатоведучий шків; 5 – відвідний шків (може бути відсутній); 6 – противага; 7 – врівноважувальний канат; 8 – кабіна.

Режим роботи електропривода пасажирського підйомника залежить від пасажиропотоку і характеризується частими включеннями і відключеннями. При цьому можна виділити такі етапи руху: розгін електродвигуна до номінальної швидкості  $V_{ном}$ ; рух із номінальною швидкістю  $V_{ном}$ ; зменшення швидкості при підході до поверху призначення (до нуля або до швидкості дотягування  $V_0$ ); гальмування і зупинка кабіни ліфта на поверхсі призначення з необхідною точністю.



Таблиця А.3 – Вихідні дані

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Варіант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_b$	Вантажопідйомність	кг	400	320	300	320	400	630	630	630	1000	1275
$m_0$	Маса кабіни	кг	737	660	600	670	750	820	820	940	1240	1500
$V_{ном}$	Номінальна швидкість руху	м/с	1	0,71	0,71	1	0,71	1	1	1,6	2	1
$V_0$	Швидкість догягування	м/с	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5
$a_{доп}$	Допустиме прискорення	м/с <sup>2</sup>	1	1	1,2	1,1	1,3	1	1	1,2	1,1	1
$H_{max}$	Максимальна висота підйому	м	22,5	22,5	10,42	24	23	22	22	23,5	45	23
$H_0$	Відстань, яку проходить кабіна на швидкості догягування	м	0,5	0,3	0,3	0,6	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6
$N$	Кількість поверхів	–	9	9	5	9	9	9	9	9	16	9
$D_{квш}$	Діаметр КВШ	м	0,88	0,75	0,82	0,84	0,9	0,65	0,65	0,7	0,67	1
$D_{вш}$	Діаметр відповідного шківa	м	–	–	–	–	–	0,4	0,4	0,45	0,42	0,62
$i_{мп}$	Передаточне число редуктора	–	31,5	50	40	40	45	31,5	31,5	20	16	31,5
$u$	Кратність поліпаста	–	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$\eta_{мп}$	ККД механічної передачі при підйомі номінального вантажу	–	0,73	0,79	0,58	0,67	0,72	0,77	0,77	0,68	0,7	0,79
$J_{квш}$	Момент інерції КВШ	кг·м <sup>2</sup>	22	8	11	15	25	5	5	9	7,6	37
$J_{вш}$	Момент інерції відповідного шківa	кг·м <sup>2</sup>	–	–	–	–	–	0,8	0,8	1,5	1,2	6
$J_{гш}$	Момент інерції гальмівного шківa	кг·м <sup>2</sup>	0,1	0,08	0,08	0,08	0,1	0,12	0,12	0,14	0,15	0,3
$J_{ред}$	Момент інерції редуктора	кг·м <sup>2</sup>	0,11	0,05	0,05	0,09	0,08	0,1	0,1	0,11	0,1	0,2
$E$	Пасажиромісткість кабіни	чол.	5	4	4	4	5	8	8	6	6	8

#### А.4 Автоматизований електропривод скіпового підйомника

Скіповий підйомник (рис. А.4) призначений для переміщення вантажів у скіпах.

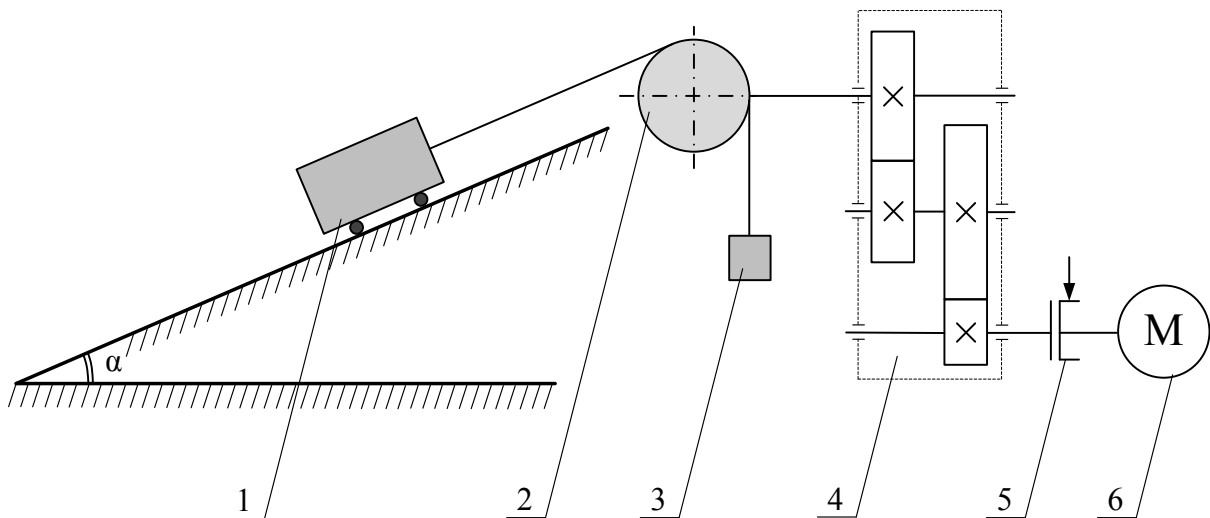


Рисунок А.4 – Кінематична схема скіпового підйомника

На кінематичній схемі: 1 – скіп; 2 – барабан; 3 – противага; 4 – редуктор; 5 – гальмівний шків; 6 – електродвигун.

Діаграма навантаження скіпового підйомника за цикл роботи складається з двох ділянок: підйому номінального вантажу та опускання порожнього скіпа. При цьому можна виділити такі етапи руху: завантаження порожнього скіпа на нижній площадці; підйом завантаженого скіпа; автоматичне розвантаження скіпа через відкидне дно на верхній площадці; спуск порожнього скіпа до площадки завантаження.

Таблиця А.4 – Вихідні дані

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Варіант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_b$	Вантажопідйомність	кг	450	750	650	800	700	1200	1500	2500	3500	4200
$m_0$	Маса порожнього скіпа	кг	280	250	300	330	240	350	450	500	1400	1500
$V_{п}$	Швидкість переміщення скіпа при підйомі	м/с	0,46	0,65	0,4	0,34	0,5	0,5	0,35	0,3	0,25	0,2
$V_{оп}$	Швидкість переміщення скіпа при опусканні	м/с	0,68	0,81	0,6	0,72	0,89	0,64	0,42	0,5	0,55	0,5
$a_{доп}$	Допустиме прискорення	м/с <sup>2</sup>	0,23	0,2	0,4	0,37	0,28	0,32	0,25	0,21	0,22	0,2
S	Повна довжина шляху скіпа	м	46	32	40	42	40	50	28	30	25	29
$\alpha$	Кут нахилу рейкового шляху	град.	30	60	32	31	55	40	30	38	28	33
$D_б$	Діаметр барабана лебідки	м	0,6	0,62	0,7	0,68	0,6	0,55	0,62	0,8	1,1	1,11
$d_k$	Діаметр катка скіпа	м	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,45	0,45
$d_{ц}$	Діаметр цапфи катка	м	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,09
$\mu$	Коефіцієнт тертя ковзання		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
f	Коефіцієнт тертя кочення	м	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06
$k_{рб}$	Коефіцієнт тертя ходових коліс об рейки	–	1,5	2	1,5	2,5	1,5	2,5	2	2	2	2,5
$i_{мп}$	Передагочне число редуктора	–	40	31,5	50	31,5	31,5	40	45	56	63	80
$\eta_{мп}$	ККД механічної передачі	–	0,81	0,75	0,8	0,8	0,82	0,81	0,82	0,78	0,84	0,8
$J_б$	Момент інерції барабана	кг·м <sup>2</sup>	6,3	8,3	6,5	6,6	6,2	5,7	6,1	7	7,7	7,9
$J_{пш}$	Момент інерції гальмівного шківів	кг·м <sup>2</sup>	0,24	0,37	0,2	0,21	0,35	0,25	0,3	0,35	0,4	0,41
$J_{ред}$	Момент інерції редуктора	кг·м <sup>2</sup>	0,1	0,25	0,15	0,18	0,25	0,22	0,19	0,2	0,25	0,3
$T_{Вф}$	Фактична тривалість вмикання	%	35	29	35	43	45	46	41	48	42	47

### А.5 Автоматизований електропривод двоскіпового підйомника

Двоскіповий підйомник (рис. А.5) призначений для переміщення вантажів у скіпах.

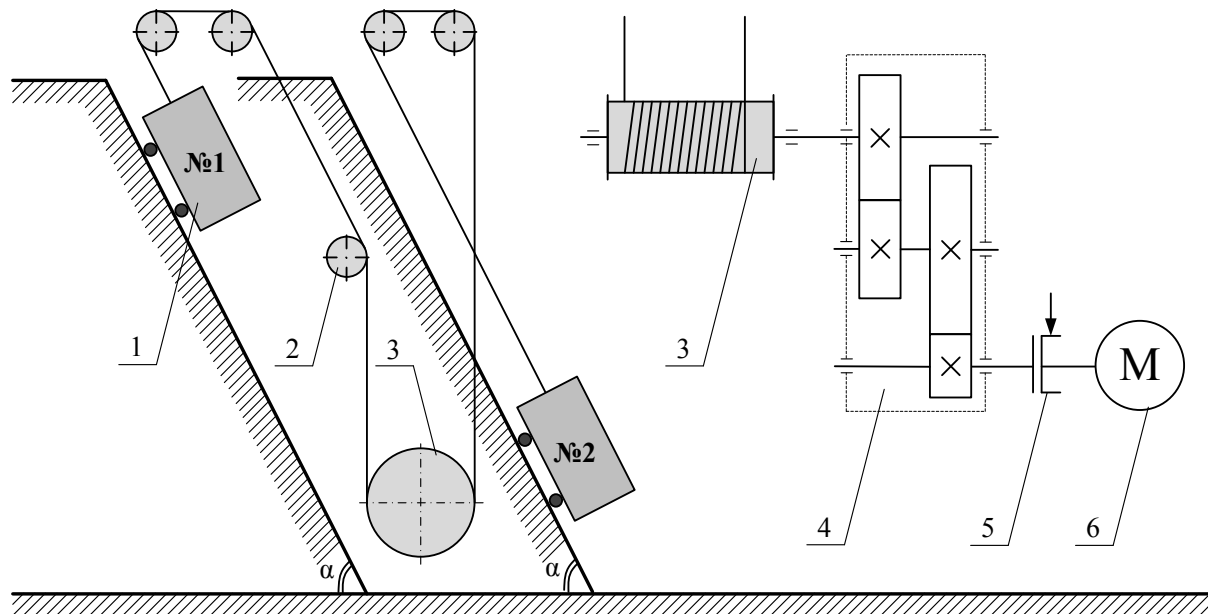


Рисунок А.5 – Кінематична схема двоскіпового підйомника

На кінематичній схемі: 1 – скіп; 2 – напрямні шківів; 3 – барабан; 4 – редуктор; 5 – гальмівний шків; 6 – електродвигун.

Діаграма навантаження двоскіпового підйомника за цикл роботи складається з двох однакових ділянок, які передбачають одночасне переміщення у протилежних напрямках завантаженого та розвантаженого скіпів. При цьому можна виділити такі етапи руху: завантаження порожнього скіпа № 1 на нижній площадці та одночасне розвантаження завантаженого скіпа № 2 через відкидне дно на верхній площадці; переміщення завантаженого та розвантаженого скіпів у взаємно протилежних напрямках із швидкістю  $V_{\text{ном}}$ ; розвантаження завантаженого скіпа № 1 на верхній площадці та одночасне завантаження пустого скіпа № 2 на нижній площадці. В подальшому цикл повторюється.

Таблиця А.5 – Вихідні дані

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Варіант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_b$	Вантажопідйомність	т	1,8	2,6	2	1,5	3,5	4,8	4	4,6	7,2	10,5
$m_0$	Маса порожнього скіпа	т	0,5	0,85	0,55	0,4	0,95	1	0,92	1,2	2,5	4,2
$V_{ном}$	Швидкість переміщення скіпа	м/с	0,97	1	0,77	1	0,65	0,7	0,67	0,52	0,5	0,46
$a_{доп}$	Допустиме прискорення	м/с <sup>2</sup>	0,4	0,45	0,3	0,35	0,25	0,24	0,28	0,24	0,2	0,21
S	Повна довжина шляху скіпа	м	40	30	35	30	28	41	50	55	34	31
$\alpha$	Кут нахилу рейкового шляху	град.	45	36	38	34	34	39	37	42	45	50
$D_6$	Діаметр барабана лобідки	м	1	1	1,05	0,85	1,2	1,25	1,2	1,3	1,5	1,7
$D_{нш}$	Діаметр напрямного шківa	м	0,8	0,85	0,8	0,6	0,9	1	0,95	1	1,1	1,2
$d_k$	Діаметр катка скіпа	м	0,36	0,4	0,4	0,36	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$d_{ц}$	Діаметр цапфи катка	м	0,06	0,08	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
$\mu$	Коефіцієнт тертя ковзання	–	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
f	Коефіцієнт тертя кочення	м	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006
$k_{рб}$	Коефіцієнт тертя ходових коліс об рейки	–	2	2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
$i_{мп}$	Передаточне число редуктора	–	50	31,5	45	40	63	56	80	80	80	100
$\eta_{мп}$	ККД механічної передачі	–	0,72	0,75	0,85	0,78	0,78	0,79	0,85	0,77	0,8	0,78
$J_6$	Момент інерції барабана	кг·м <sup>2</sup>	600	610	650	550	630	670	660	680	720	780
$J_{нш}$	Момент інерції напрямного шківa	кг·м <sup>2</sup>	550	560	550	450	570	585	580	600	640	690
$J_{тш}$	Момент інерції гальмівного шківa	кг·м <sup>2</sup>	1,15	1,05	1,3	1	1,15	1,2	1,18	1,2	1,5	2,5
$J_{ред}$	Момент інерції редуктора	кг·м <sup>2</sup>	2,5	1,85	2	1,8	2	2,1	2,2	2,2	2,3	2,5
$TВ_{ф}$	Фактична тривалість вмикання	%	40	38	43	45	45	41	55	38	42	31

## А.6 Автоматизований електропривод механізму переміщення мостового крана

Механізм переміщення мостового крана (рис. А.6) забезпечує переміщення крана по рейкових коліях в межах робочої зони.



Рисунок А.6 – Кінематична схема механізму переміщення мостового крана

На кінематичній схемі: 1 – ходові колеса; 2 – електродвигун; 3 – гальмівний шків; 4 – редуктор.

Діаграма навантаження механізму переміщення мостового крана за цикл роботи складається з двох ділянок: переміщення з вантажем та без вантажу. При цьому можна виділити такі етапи руху: застроповування вантажу на майданчику завантаження та підйом вантажу; переміщення крана з вантажем із сталою швидкістю  $V_{ном}$ ; опускання вантажу та його розстроповування; підйом порожнього вантажозахватного пристрою; переміщення крана без вантажу із сталою швидкістю  $V_{ном}$  у зворотному напрямку.

Таблиця А.6 – Вихідні дані

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Варіант										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$m_v$	Вантажопідйомність	т	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	32,5	40	50
$m_0$	Маса крана з обладнанням	т	7	10	12,5	13,4	16,4	22	25	34,5	48	63	63
$V_{ном}$	Швидкість переміщення	м/с	1	1,19	1,13	1,15	1,3	1,2	1,25	1,1	0,8	0,9	0,9
$a_{доп}$	Допустиме прискорення	м/с <sup>2</sup>	0,25	0,28	0,25	0,25	0,5	0,33	0,29	0,38	0,42	0,45	0,45
$D_k$	Діаметр ходового колеса	м	0,5	0,52	0,5	0,5	0,5	0,55	0,56	0,58	0,58	0,58	0,6
$d_{ц}$	Діаметр цапфи ходового колеса	м	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
$\mu$	Коефіцієнт тертя ковзання	–	0,02	0,02	0,02	0,022	0,2	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24
$f$	Коефіцієнт тертя кочення	мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7
$K_{рб}$	Коефіцієнт тертя реберд ходових коліс об рейки	–	2	2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
$i_{мп}$	Передаточне число редуктора	–	22,4	20	20	20	18	20	16	18	31,5	31,5	31,5
$\eta_{мп}$	ККД механічної передачі	–	0,77	0,7	0,64	0,68	0,71	0,68	0,7	0,67	0,75	0,73	0,73
$J_k$	Момент інерції ходового колеса	кг·м <sup>2</sup>	4,7	5,5	4,5	4,5	4,7	6,9	7,4	8,6	8,6	9,8	9,8
$J_{пш}$	Момент інерції гальмівного шківa	кг·м <sup>2</sup>	0,07	0,07	0,08	0,08	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14
$J_{ред}$	Момент інерції редуктора	кг·м <sup>2</sup>	0,08	0,08	0,08	0,1	0,08	0,1	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12
$Z_k$	Кількість осей приведення	–	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$TВ_{ф}$	Фактична тривалість вмикання	%	45	38	34	25	41	35	42	40	35	37	37
$Z$	Кількість циклів за годину	–	16	12	15	10	14	11	13	10	11	12	12

### А.7 Автоматизований електропривод механізму переміщення вантажного візка мостового крана

Вантажний візок крана (рис. А.7) забезпечує переміщення піднятого вантажу з майданчика завантаження на майданчик розвантаження.

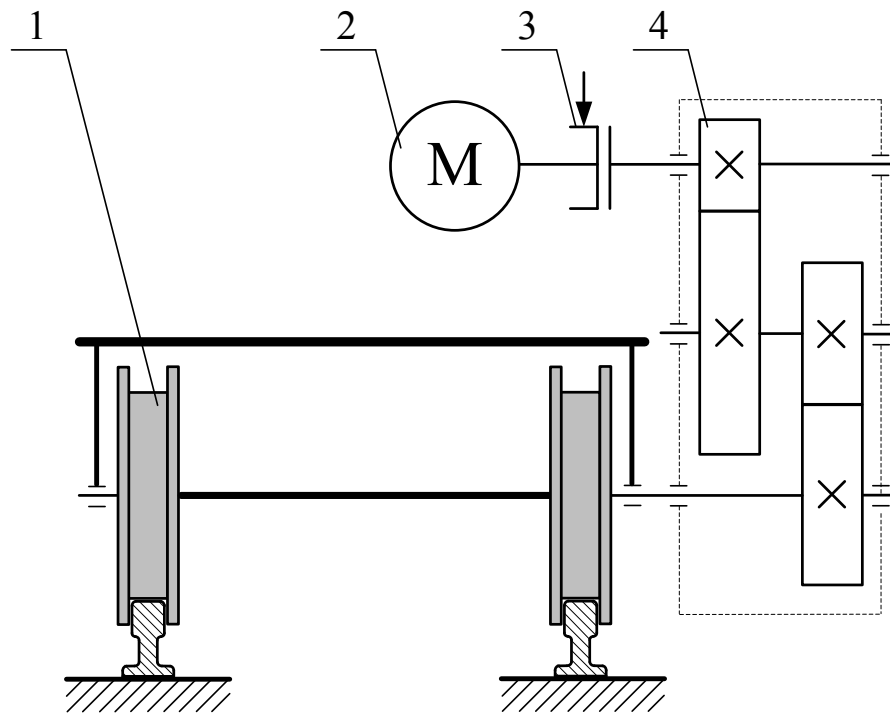


Рисунок А.7 – Кінематична схема механізму переміщення вантажного візка крана

На кінематичній схемі: 1 – колісна пара; 2 – електродвигун; 3 – гальмівний шків; 4 – редуктор.

Діаграма навантаження механізму переміщення вантажного візка крана за цикл роботи складається з двох ділянок: переміщення з вантажем та без вантажу. При цьому можна виділити такі етапи руху: застроповування вантажу на майданчику завантаження та підйом вантажу; переміщення візка з вантажем із сталою швидкістю робочого ходу  $V_{рх}$  на відстань  $S$ ; опускання вантажу та його розстроповування; підйом порожнього вантажозахватного пристрою; переміщення візка без вантажу із швидкістю  $V_{зх}$  на відстань  $S$  у зворотному напрямку.

Таким чином, візок здійснює зворотно-поступальний рух на відстань  $S$  від одного крайнього положення до іншого.



Таблиця А.7 – Вихідні дані

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Варіант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_b$	Вантажопійомність	т	16	20	25	15	50	40	32,5	12,5	5	10
$m_0$	Маса візка з обладнанням	т	4,5	7,5	7	5,5	8	6,8	6,2	2,8	2	2,3
$V_{рх}$	Швидкість робочого ходу	м/с	0,5	0,4	0,43	0,45	0,44	0,42	0,4	0,46	0,55	0,6
$V_{зх}$	Швидкість зворотного ходу	м/с	0,6	0,5	0,58	0,54	0,62	0,61	0,6	0,64	0,7	0,72
$a_{доп}$	Допустиме прискорення	м/с <sup>2</sup>	0,28	0,25	0,22	0,3	0,18	0,21	0,2	0,2	0,21	0,2
S	Переміщення візка	м	5	7	11	10	12	13	10	11	12	16
$D_k$	Діаметр ходового колеса	м	0,21	0,22	0,26	0,3	0,28	0,27	0,27	0,25	0,22	0,25
$d_{ц}$	Діаметр цапфи ходового колеса	м	0,05	0,05	0,06	0,05	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
$\mu$	Коефіцієнт тертя ковзання	–	0,022	0,02	0,02	0,02	0,23	0,023	0,022	0,02	0,02	0,02
f	Коефіцієнт тертя кочення	мм	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
$k_{рб}$	Коефіцієнт тертя реборд ходових коліс об рейки	–	1,5	1,5	2	2	2	2	2	1,5	2	2
$i_{мп}$	Передаточне число редуктора	–	16	20	20	25	16	20	20	18	14	16
$\eta_{мп}$	ККД механічної передачі при номінальному навантаженні	–	0,82	0,8	0,85	0,81	0,78	0,71	0,7	0,68	0,67	0,65
$J_{кп}$	Момент інерції колісної пари	кг·м <sup>2</sup>	0,13	0,15	0,17	0,12	0,21	0,2	0,18	0,16	0,14	0,16
$J_{гш}$	Момент інерції гальмівного шківів	кг·м <sup>2</sup>	0,1	0,15	0,15	0,14	0,19	0,18	0,16	0,09	0,06	0,08
$J_{ред}$	Момент інерції редуктора	кг·м <sup>2</sup>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12	0,12	0,11	0,1	0,08	0,09
Z	Кількість циклів за годину	–	80	50	30	40	15	18	16	30	25	20

## А.8 Автоматизований електропривод рольганга

Рольганг (рис. А.8) призначений для переміщення заготовки та її установлення для різання на заданій відмітці.

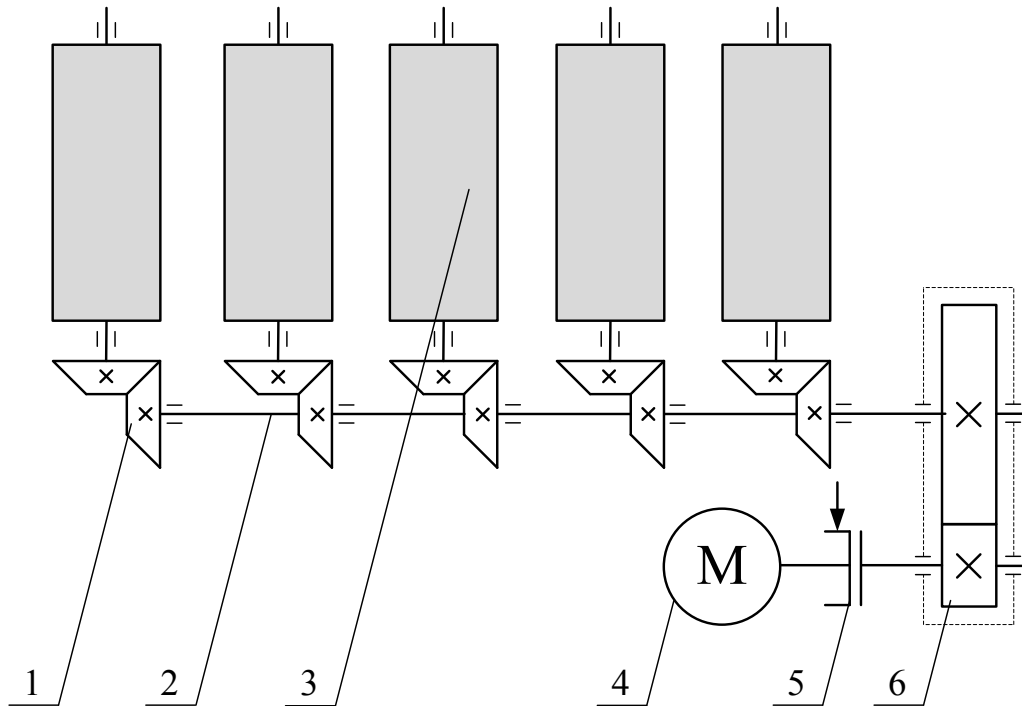


Рисунок А.8 – Кінематична схема рольганга

На кінематичній схемі: 1 – конічна шестерня; 2 – поздовжній вал; 3 – ролик; 4 – електродвигун; 5 – гальмівний шків; 6 – редуктор.

Заготовка довжиною  $L$  подається на рольганг транспортером. Рольганг запускається, переміщує заготовку на довжину  $L/2$  і зупиняється. Різання заготовки відбувається при нерухомому рольгангу, відрізана частина заготовки знімається з рольганга відвідним транспортером. Після цього рольганг запускається повторно переміщуючи частину заготовки (довжиною  $L/2$ ), що залишилася, в подальшому вона знімається з рольганга. Потім цикл повторюється. Переміщення цілої заготовки здійснюється на швидкості  $V_{рх}$ , а транспортування частини, що залишилася після порізу, – на швидкості  $V_{тр}$ .

Таблиця А.8 – Вихідні дані

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Варіант														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
$z_p$	Число роликів	–	16	14	15	12	15	15	20	12	15	15	20	12	15	25	22
$m_p$	Маса одного ролика	т	1,2	0,8	1	1	0,8	1,2	0,8	1,2	0,8	1	1,2	0,8	1	1,2	1,2
$m_3$	Маса заготовки	т	7,5	7	7,5	7,3	7	8	8	4,5	5	10	10	4,5	5	10	9
$V_{рх}$	Швидкість робочого ходу	м/с	0,5	0,55	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,6	0,7
$V_{тр}$	Швидкість транспортування	м/с	0,7	0,75	0,8	0,7	0,9	0,8	0,8	0,62	0,55	0,8	0,8	0,62	0,55	0,8	0,9
$a_{доп}$	Допустиме прискорення	м/с <sup>2</sup>	1	1	1	0,8	1	1	1	0,85	0,9	1	1	0,85	0,9	1	1
$L$	Довжина заготовки	м	16	18	20	17	24	24	24	16	16	16	18	16	16	18	22
$D_p$	Діаметр ролика	м	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,5	0,4
$d_{ц}$	Діаметр шийки ролика	м	0,15	0,13	0,14	0,14	0,13	0,15	0,15	0,13	0,15	0,15	0,15	0,13	0,15	0,15	0,14
$\mu$	Коефіцієнт тертя ковзання	–	0,02	0,03	0,02	0,022	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
$\mu_6$	Коефіцієнт тертя при буксуванні	–	0,14	0,13	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	0,2	0,13	0,15	0,2	0,13	0,15	0,2	0,2
$f$	Коефіцієнт тертя кочення	мм	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
$i_{мп}$	Передаточне число редуктора	–	25	20	18	25	16	22,4	22,4	22,4	40	22,4	22,4	22,4	40	22,4	20
$\eta_{мп}$	ККД механічної передачі при номінальному навантаженні	–	0,78	0,77	0,8	0,82	0,81	0,79	0,79	0,8	0,86	0,79	0,79	0,8	0,86	0,68	0,7
$J_p$	Момент інерції ролика	кг·м <sup>2</sup>	24	16	20	20	16	24	24	16	20	24	24	16	20	24	22
$J_в$	Момент інерції повздовжнього вала	кг·м <sup>2</sup>	5	5	5	4	5	6	6	4	4,5	6	6	4	4,5	6	6
$J_{гш}$	Момент інерції гальмівного шківa	кг·м <sup>2</sup>	0,2	0,2	0,2	0,18	0,2	0,24	0,24	0,2	0,18	0,24	0,24	0,2	0,18	0,24	0,24
$J_{ред}$	Момент інерції редуктора	кг·м <sup>2</sup>	0,16	0,14	0,15	0,15	0,16	0,2	0,2	0,15	0,14	0,2	0,2	0,15	0,14	0,2	0,2
$Z$	Число циклів за годину	–	70	65	70	70	70	70	70	80	80	70	70	80	80	80	70

### А.9 Автоматизований електропривод ланцюгового транспортера

Ланцюговий транспортер (рис. А.9) призначений для транспортування заготовки по напрямних з рольганга 2 на рольганг 6.

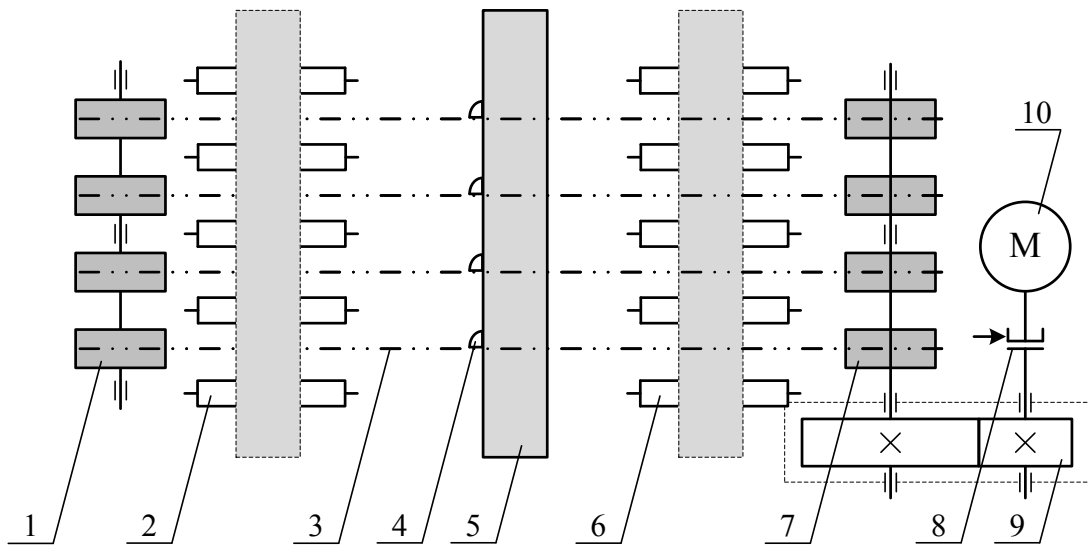


Рисунок А.9 – Кінематична схема ланцюгового транспортера

На кінематичній схемі: 1 – ведений вал із зірочками; 2 і 6 – рольганги; 3 – ланцюг; 4 – упор; 5 – заготовка; 7 – ведучий вал із зірочками; 8 – гальмівний шків; 9 – редуктор; 10 – електродвигун.

Рух заготовки забезпечується за допомогою упорів, закріплених на ланцюгах, натягнутих між зірочками ведучого і веденого валів. У початковому положенні транспортера упори розташовуються за рольгангом 2.

Після подачі заготовки і зупинки рольганга транспортер розганяється і через 0,3 м (відносно початкового положення захватів) зачіплює заготовку і переміщує її на швидкості  $V_{px}$  до рольганга 6.

Після досягнення заготовкою необхідного положення транспортер реверсує і на швидкості  $V_{zx}$  повертається в початкове положення.

Наступний цикл починається з моменту подачі на рольганг 2 нової заготовки.

Таблиця А.9 – Вихідні дані

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Варіант									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_{вз}$	Маса вала з зірочками	т	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4	4,8	5,6	6,4	7,2
$m_в$	Маса вантажу	т	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8
$m_д$	Маса ланцюгів	т	0,2	0,24	0,28	0,32	0,36	0,4	0,48	0,56	0,64	0,72
$V_{рх}$	Швидкість робочого ходу	м/с	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,5
$V_{зх}$	Швидкість зворотного ходу	м/с	0,78	0,8	0,9	0,9	1	1	1,28	1,12	1	1,05
$a_{доп}$	Допустиме прискорення	м/с <sup>2</sup>	0,25	0,38	0,45	0,6	1	0,9	1	1	0,9	1
S	Переміщення вантажу	м	5	5	6	6	7	7	8	7	8	6
$D_3$	Діаметр зірочки	м	0,35	0,3	0,31	0,4	0,38	0,43	0,55	0,5	0,6	0,6
$d_{цт}$	Діаметр шийки вала (цапфи)	мм	80	80	80	100	100	100	125	125	150	150
$\mu$	Коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках вала з зірочками	–	0,03	0,03	0,03	0,027	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
$\mu_в$	Коефіцієнт тертя ковзання вантажу по напрямних	–	0,2	0,2	0,2	0,22	0,22	0,22	0,24	0,24	0,26	0,26
$\mu_д$	Коефіцієнт тертя ковзання ланцюгів	–	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
$i_{мп}$	Передаточне число редуктора	–	20	16	16	20	16	20	20	16	25	20
$\eta_{мп}$	ККД механічної передачі при номінальному навантаженні	–	0,85	0,86	0,81	0,8	0,8	0,78	0,76	0,74	0,75	0,72
$J_{вз}$	Момент інерції вала з зірочками	кг·м <sup>2</sup>	60	60	60	75	75	75	90	90	100	100
$J_{гпд}$	Момент інерції гальмівного шківa	кг·м <sup>2</sup>	0,08	0,08	0,09	0,1	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15
$J_{ред}$	Момент інерції редуктора	кг·м <sup>2</sup>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
Z	Кількість циклів за годину	–	60	70	80	90	100	90	80	90	70	70

### А.10 Автоматизований електропривод штовхача методичної печі

Штовхач (рис. А.10) призначений для подачі чергової заготовки з рольганга в піч і для просування по печі всіх заготовок, що в ній знаходяться.

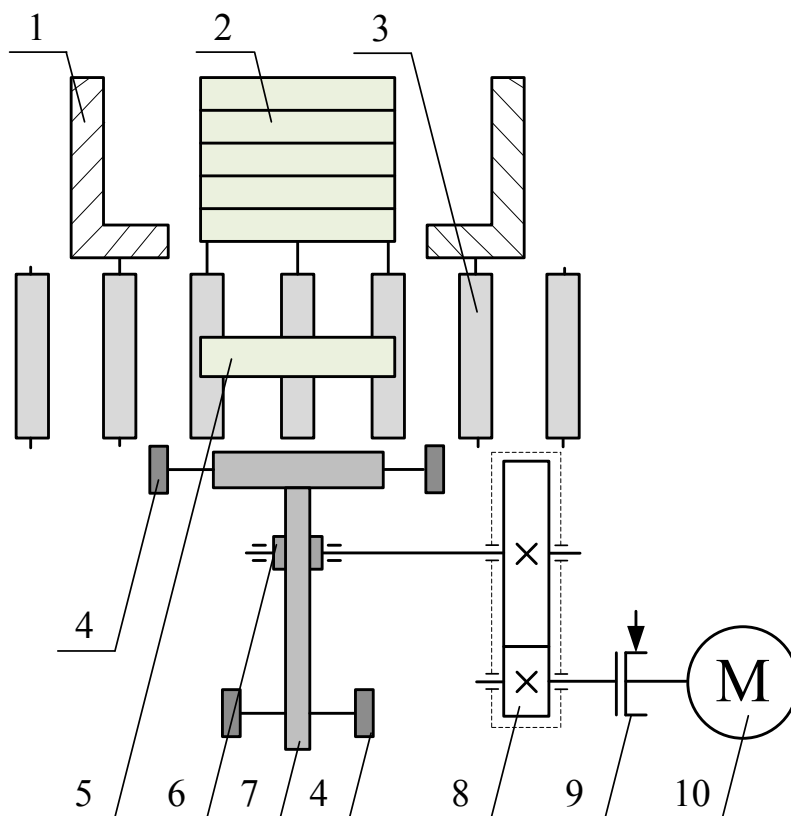


Рисунок А.10 – Кінематична схема штовхача

На кінематичній схемі: 1 – піч; 2 – заготовки в печі; 3 – рольганг; 4 – опорний ролик; 5 – заготовка; 6 – рейкова шестерня; 7 – штовхач; 8 – редуктор; 9 – гальмівний шків; 10 – електродвигун.

Після подачі рольгангом заготовки штовхач знаходиться на деякій відстані від заготовки. Включається двигун, штовхач підходить до заготовки і на робочій швидкості  $V_{рх}$  переміщує заготовку на відстань  $L$  до контакту її із заготовками, які знаходяться в печі, а потім переміщує усі заготовки разом на ширину однієї заготовки. Остання заготовка виштовхується з печі. Після цього штовхач реверсує і на швидкості  $V_{зх}$  повертається в початкове положення. Ширина рольганга становить 0,8 м.

Таблиця А.10 – Вихідні дані

Позначення	Найменування показника	Розмірність	Варіант											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
$m_0$	Маса штанги з рейкою	т	5,4	6	5	4	4	5	6	6	4,5	6	8	2,5
$m_3$	Маса однієї заготовки	т	0,9	1	0,8	0,6	0,6	0,4	1,4	1,4	0,7	0,9	1,5	0,3
$V_{рх}$	Швидкість робочого ходу	м/с	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,25	0,25	0,3	0,25	0,2	0,2
$V_{зх}$	Швидкість зворотного ходу	м/с	0,3	0,4	0,34	0,4	0,43	0,43	0,35	0,35	0,45	0,4	0,3	0,31
$a_{доп}$	Допустиме прискорення	м/с <sup>2</sup>	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,22	0,1	0,1
$L$	Довжина переміщення заготовки	м	1,5	1,6	1,5	2	2	2	1,5	1,5	1,8	1,5	1,3	1,2
$b_3$	Ширина однієї заготовки	мм	200	300	200	300	200	200	250	250	150	250	300	250
$N_3$	Кількість заготовок в печі	шт	20	30	35	25	25	30	28	28	25	35	30	25
$D_{рш}$ $D_{ор}$	Діаметр рейкової шестерні і опорного ролика	м	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,45	0,3
$d_c$	Діаметр цапфи опорного ролика	мм	150	150	150	140	140	120	150	150	140	150	150	120
$H$	Ширина роляганга, м	м	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$\mu$	Коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках	–	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03
$\mu_f$	Коефіцієнт тертя ковзання заготовки по площині роляганга	–	0,18	0,2	0,2	0,22	0,22	0,22	0,19	0,19	0,2	0,21	0,19	0,2
$\mu_c$	Коефіцієнт тертя ковзання заготовки по настилу печі	–	0,4	0,42	0,3	0,25	0,25	0,34	0,45	0,45	0,46	0,5	0,5	0,6
$f$	Коефіцієнт тертя кочення опорних роликів	мм	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
$i_{мп}$	Передаюче число редуктора	–	45	45	31,5	45	45	25	40	40	40	45	50	45
$\eta_{мп}$	ККД механічної передачі при номінальному навантаженні	кг·м <sup>2</sup>	0,78	0,8	0,82	0,85	0,83	0,83	0,81	0,81	0,8	0,83	0,83	0,8
$J_{рш}$ $J_{ор}$	Момент інерції рейкової шестерні (опорного ролика)	кг·м <sup>2</sup>	0,12	0,15	0,11	0,12	0,11	0,11	0,16	0,16	0,11	0,15	0,17	0,11
$J_{гш}$	Момент інерції гальмівного шківa	кг·м <sup>2</sup>	0,25	0,25	0,18	0,2	0,18	0,18	0,28	0,28	0,18	0,24	0,3	0,18
$J_{ред}$	Момент інерції редуктора	%	0,2	0,21	0,15	0,2	0,2	0,16	0,21	0,21	0,14	0,24	0,25	0,2
$N_{ц}$	Кількість циклів за годину	–	60	45	40	40	40	45	50	50	55	65	60	45

**Додаток Б**  
**Зразки оформлення ключових сторінок**

Вінницький національний технічний університет  
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на  
транспорті

**КУРСОВА РОБОТА**

з дисципліни «Автоматизований електропривод типових виробничих  
механізмів»  
на тему: «Автоматизований електропривод вантажного підйомника»

Студента \_\_\_\_\_ курсу \_\_\_\_\_ групи  
спеціальності \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_

(посада, вчене звання)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала \_\_\_\_\_  
Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_

Члени комісії

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

м. Вінниця – 20\_\_ рік

Рисунок Б.1 – Зразок титульного аркуша



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. каф. ЕМСАПТ

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ  
на курсову роботу з дисципліни «Автоматизований ЕП ТВМ»  
студенту \_\_\_\_\_ групи \_\_\_\_\_

Розробити автоматизований електропривод вантажного підйомника за такими вхідними даними:

1.	Вантажопідйомність $m_v$ , кг	
2.	Маса кабіни $m_0$ , кг	
3.	Маса погонного метра підйомного канату $m_{\text{пог}}$ , кг/м	
4.	Швидкість робочого ходу $V_{\text{рх}}$ , м/с	
5.	Швидкість зворотного ходу $V_{\text{зх}}$ , м/с	
6.	Допустиме прискорення $a_{\text{доп}}$ , м/с <sup>2</sup>	
7.	Висота підйому $H$ , м	
8.	Діаметр канатоведучого шківа $D_{\text{квш}}$ , м	
9.	Передаточне число редуктора $i_{\text{ред}}$	
10.	ККД механічної передачі $\eta_{\text{мп}}$	
11.	Момент інерції канатоведучого шківа $J_{\text{квш}}$ , кг·м <sup>2</sup>	
12.	Момент інерції гальмівного шківа $J_{\text{ш}}$ , кг·м <sup>2</sup>	
13.	Момент інерції редуктора $J_{\text{ред}}$ , кг·м <sup>2</sup>	
14.	Кількість циклів за годину $Z$	
15.	Коефіцієнт врівноваження $\alpha$	

ЗМІСТ РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

1. Коротка характеристика виробничого механізму і режимів його роботи
2. Розрахунок та побудова тахограми і навантажувальної діаграми виконавчого органа виробничого механізму
3. Попередній розрахунок потужності приводного двигуна
4. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода
5. Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання
6. Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода
7. Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску
8. Розрахунок характеристик приводного двигуна
9. Розрахунок і вибір перетворювального пристрою для живлення приводного двигуна
10. Побудова структурної схеми електропривода та розрахунок регуляторів системи автоматичного керування
11. Моделювання перехідних процесів електропривода
12. Розробка принципової схеми електропривода або модифікація до власних умов типової

Рисунок Б.2 – Зразок індивідуального завдання (лицьова сторона)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

Принципова схема автоматизованого електропривода

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ етапу	Назва етапів курсової роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача завдання		
2	Розробка технічного завдання		
3	Коротка характеристика виробничого механізму і режимів його роботи		
4	Розрахунок та побудова тахограми і навантажувальної діаграми виконавчого органа виробничого механізму		
5	Попередній розрахунок потужності приводного двигуна		
6	Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода		
7	Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання		
8	Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода		
9	Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску		
10	Розрахунок характеристик приводного двигуна		
11	Розрахунок і вибір перетворювального пристрою для живлення приводного двигуна		
12	Побудова структурної схеми електропривода та розрахунок регуляторів системи автоматичного керування		
13	Моделювання перехідних процесів електропривода		
14	Розробка принципової схеми електропривода або модифікація до власних умов типової		
15	Задача пояснювальної записки		
16	Задача графічного матеріалу		
17	Задача готової роботи		
18	Захист курсової роботи	за графіком	

Дата видачі « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

Завдання отримав \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рисунок Б.3 – Зразок індивідуального завдання (зворотна сторона)

## АНОТАЦІЯ

\_\_\_\_\_ «Автоматизований електропривод вантажного підйомника». Курсова робота. – Вінниця : ВНТУ. 20\_\_.- \_\_ с. Бібліогр. : \_\_. Лл. : \_\_. Табл. : \_\_.

Розраховано автоматизований електропривод підйомної лебідки вантажного підйомника. На основі техніко-економічних показників вибрано систему електропривода, розраховано та вибрано електродвигун, перевірено його за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску, досліджено характеристики в статистичному та динамічному режимах, а також розроблено електричну схему. Для перевірки розробленої системи автоматизованого електропривода проведено моделювання в Matlab.

Ключові слова: електропривод, вантажний підйомник, приводний двигун.

Рисунок Б.4 – Зразок анотації

**Додаток А**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Керівник роботи

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на курсову роботу «Автоматизований електропривод вантажного  
підйомника»

**1 Загальні відомості**

Повне найменування розробки – «Автоматизований електропривод вантажного підйомника».

Скорочене найменування розробки – «Електропривод вантажного підйомника».

**2 Підстави для розробки**

Індивідуальне завдання.

**3 Призначення розробки і галузь використання**

Вантажний ліфт – стаціонарна підйомна машина періодичної дії, призначена для транспортування вантажів без або у супроводі людей з одного рівня на інший в кабіні, яка рухається в спеціальній шахті по жорстких прямолінійних напрямних.

Рисунок Б.5 – Зразок технічного завдання (сторінка 1)

#### **4 Вимоги до розробки**

Електропривод вантажного підйомника повинен забезпечувати надійну роботу при великій частоті включень.

#### **5 Комплектація розробки**

Виріб складається з електродвигуна, системи керування та робочого органу у вигляді канатоведучого шківів. Вихідний вал двигуна з'єднаний з робочим органом через редуктор та з'єднувальні муфти.

#### **6 Технічні характеристики**

Кількість двигунів, шт.	1
Вантажопідйомність, т	3
Висота підйому, м	8

#### **7 Джерела розробки**

1. Волков Д. П. Лифты / Волков Д. П. – М. : Из-во АСВ, 1999. – 480 с.
2. Волотковский С. А. Типовой электропривод промышленных установок / Волотковский С. А., Емец В. И., Козлов В. К. – К. : Вища школа, 1983. – 312 с.

#### **8 Елементна база**

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т. п. виробництва України, країн близького зарубіжжя та Європи.

#### **9 Конструктивне виконання**

Електропривод виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються відповідно до вимог електробезпеки у пиловологозахищеному виконанні.

Рисунок Б.6 – Зразок технічного завдання (сторінка 2)

### **10 Показники технологічності**

Електропривод вантажного підйомника – двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т. п. Виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

### **11 Технічне обслуговування і ремонт**

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками – фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

### **12 Живлення електропривода**

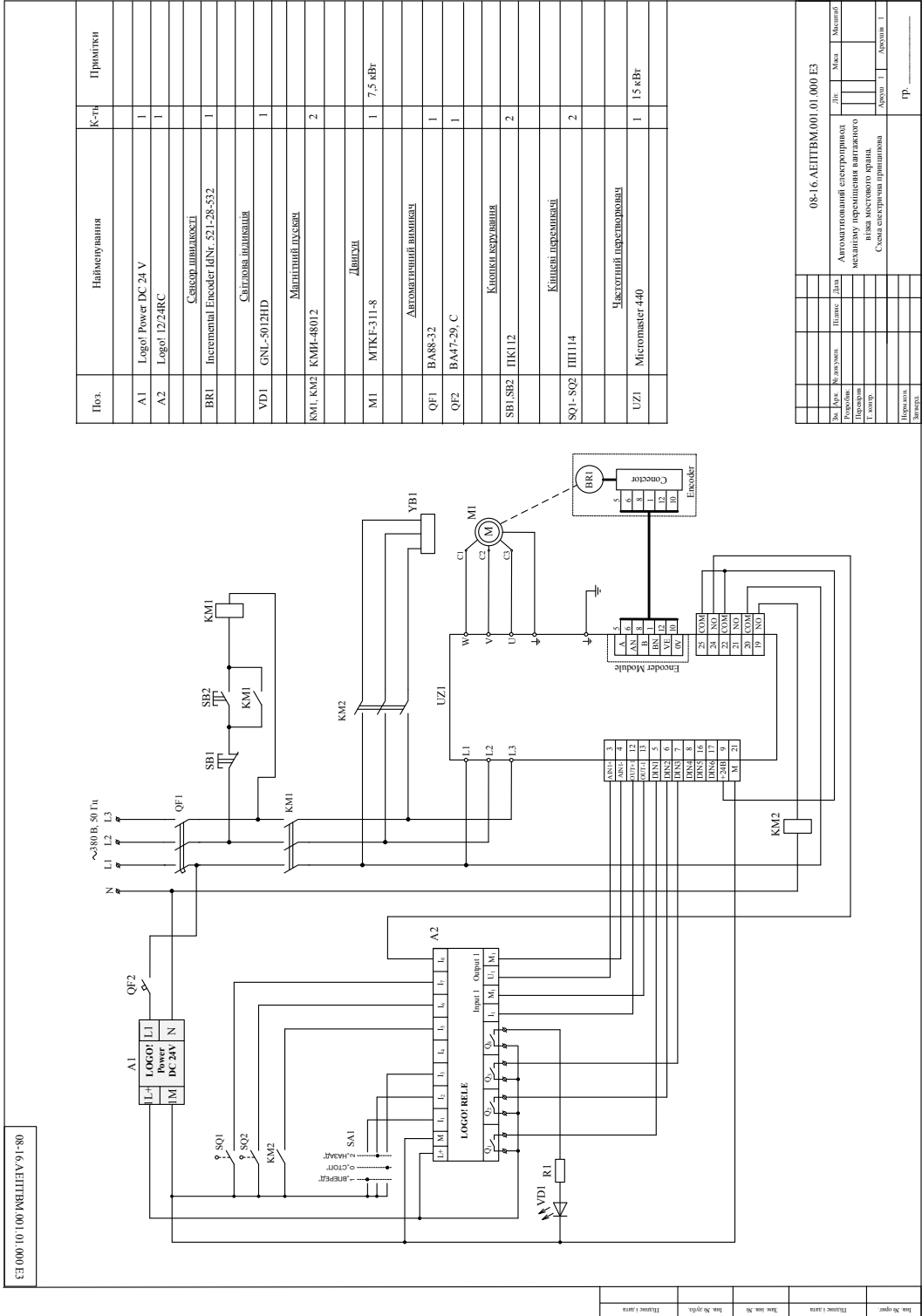
Живлення електропривода повинно бути виконане напругою 380 В від силової мережі підприємства.

Крайній термін виконання КР «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Початок розробки «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Розробив студент групи \_\_\_\_\_

Рисунок Б.7 – Зразок технічного завдання (сторінка 3)



08-16.АЕПТВМ.001.000.ЕЗ

Поз.	Наименование	К-тч	Примечки
A1	Logo! Power DC 24 V	1	
A2	Logo! 12/24RC	1	
BR1	Сенсор шибкојекти	1	
VD1	Incremental Encoder IEN. 521-28-532		
	Сигловна вилковша		
	Сигловна вилковша	1	
	Сигловна вилковша		
KM1, KM2	Максимални пускачи	2	
M1	Двигачи	1	7,5 кВт
QF1	BAW6-32	1	
QF2	BA47-29, C	1	
SB1, SB2	Кнопки керування	2	
	Кнопки керування		
UZI	Микромастер 440	1	15 кВт

08-16.АЕПТВМ.001.000.ЕЗ	
№ дора.	Дата
№ змін.	Прийнято
Проектант	Машинист
Головний інженер	Механік
Інженер	Машинист
Проверено	Машинист
Т. номер	Аксес. 1
Діагностика	Аксес. 1
Відбито	гр.

Рисунок Б.8 – Зразок електричної принципової схеми

*Навчальне видання*

**Грабко Володимир Віталійович  
Бабій Сергій Миколайович  
Мошноріз Микола Миколайович**

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ТИПОВИХ  
ВИРОБНИЧИХ МЕХАНІЗМІВ  
КУРСОВЕ ТА ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ  
САМОСТІНА ТА ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА СТУДЕНТІВ**

Навчальний посібник

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено С. Бабієм

Підписано до друку 07.03.2017 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 7,8.  
Наклад 50 пр. Зам. № 2017-044.

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, к. 2201.  
Тел. (0432) 59-87-36.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в інформаційному редакційно-видавничому центрі  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-87-38.  
publish.vntu.edu.ua; email: kivc.vntu@gmail.com.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.