

ЖИТОМИРСЬКИЙ ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТУ ІМЕНІ С.П.КОРОЛЬОВА
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНЖЕНЕРІЇ



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача вищої освіти ступеня «бакалавр» заочної форми навчання
за спеціальністю «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

Тема: «ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ
МОСТОВОГО ПІДЙОМНОГО КРАНА»

Виконавець: Вячеслав ПЕТРЕНКО

м. Житомир

2026

РЕФЕРАТ

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження особливостей вимог до електроприводів кранових механізмів, вибір асинхронного двигуна, удосконалення системи автоматизованого керування електроприводом механізму переміщення мостового крана з використанням частотного перетворювача та гальмівного резистору.

Об'єктом дослідження є електропривод механізму переміщення мостового крана.

Предметом дослідження є система асинхронний крановий двигун – частотний перетворювач – гальмівний резистор системи автоматизованого керування електроприводу механізму переміщення мостового крана.

Проведено аналіз особливостей електроприводів кранових механізмів та запропоновано заміна асинхронного кранового двигуна, впровадження частотного перетворювача з гальмівним резистором.

Ключові слова: КРАНОВИЙ МЕХАНІЗМ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, МЕХАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

Кваліфікаційна робота складається з 49 сторінок, 28 рисунків, 3 таблиці. Робота містить 3 розділи. При виконанні роботи було використано 17 джерел інформації.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	10
ВСТУП	11
1 ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА КРАНОВИХ УСТАНОВОК.....	13
1.1 Види та загальна характеристика режимів роботи електроприводів кранових механізмів	13
1.2 Вимоги до механічних характеристик автоматизованих приводів КМ та їх області навантаження	25
2 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВІЗКА МОСТОВОГО КРАНУ	30
2.1 Вихідні данні для розрахунку.....	30
2.2 Визначення моментів, які діють в електроприводі	31
2.3 Вибір електродвигуна та перетворювача частоти	33
2.4 Перевірка запасу щеплення коліс.....	37
2.5 Вибір гальмівних опорів для механізму переміщення мосту	38
3 ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	41
3.1 Шляхи підвищення енергоефективності електроприводів кранових механізмів	41
3.2 Економічний ефект від використання частотного перетворювача частоти.....	45
ВИСНОВОК.....	47
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	48

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

FI – коефіцієнт інерції

АСД – асинхронний двигун

АСД КЗ – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором

АСД ФР – асинхронний двигун з фазним ротором

ДПС – двигуни постійного струму

ЗПМ – загально-промислові механізми;

КМ – кранові механізми;

ТВ – тривалістю ввімкнення;

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Через постійні обстріли об'єктів енергетичної інфраструктури зс рф в Україні гостро постає питання енергоощадності. Нажаль на багатьох підприємствах, особливо тих, які будувались ще за часів СРСР, перебуває велика кількість електроприводів з контактно-релейними системами керування. Ці системи мають велику перевитрату енергії на процеси комутації, втрати в проміжних ланках тощо. В кранових механізмах досі достатньо рідко використовуються сучасні скалярні та векторні системи керування.

В роботі пропонується модернізувати електроприводу переміщення візка мостового крану шляхом використання частотного перетворювача (скалярний спосіб керування). Тому **тема роботи**, що направлена на підвищення енергоефективності систем керування одним з електроприводів мостового крану є **актуальною**.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження особливостей електроприводів кранових механізмів, удосконалення системи автоматизованого керування з розрахунком параметрів електродвигуна, частотного перетворювача та гальмівного резистору електроприводу механізму переміщення мостового крана.

Для досягнення цієї мети у роботі вирішені такі **завдання**:

- досліджено основні складові частини автоматизованих електроприводів кранових установок;
- на основі аналізу основних вимог до електроприводів кранових установок сформульовано вимоги до електроприводу механізму переміщення підйомного крана
- визначено моменти, які діють в електроприводі;

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вибрано виконавчий електродвигун та частотних перетворювач;
- проведено перевірку запасу щеплення коліс;
- вибрано гальмівні опори для механізму переміщення мосту;
- проаналізовано шляхи підвищення енергоефективності електроприводів кранових механізмів;
- досліджено економічний ефект від використання частотного перетворювача.

Проведено аналіз особливостей електроприводів кранових механізмів та вдосконалено систему керування шляхом впровадження частотного перетворювача для керування електроприводом механізму переміщення мостового крана. Для даної пропозиції визначено показники електропривода (розрахунок потужностей, вибір двигуна, частотного перетворювача, гальмівного резистора).

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА КРАНОВИХ УСТАНОВОК

1.1 Види та загальна характеристика режимів роботи електроприводів кранових механізмів

Кранові механізми здійснюють переміщення вантажів різної ваги і структури горизонтально або вертикально на відносно невеликі відстані [3 – 6, 8, 10, 11]. Вони відносяться до загальнопромислових механізмів циклічної дії (рис. 1.1) [8, 10, 11]. і працюють в повторно-короткочасному режимі (рис. 1.2) [1 – 5, 8, 10, 11].



Рисунок 1.1 – Класифікація загально-промислових механізмів (ЗПМ)

Кранові механізми (КМ) також мають широке розмаїття типів (рис. 1.2) [8, 10, 11].



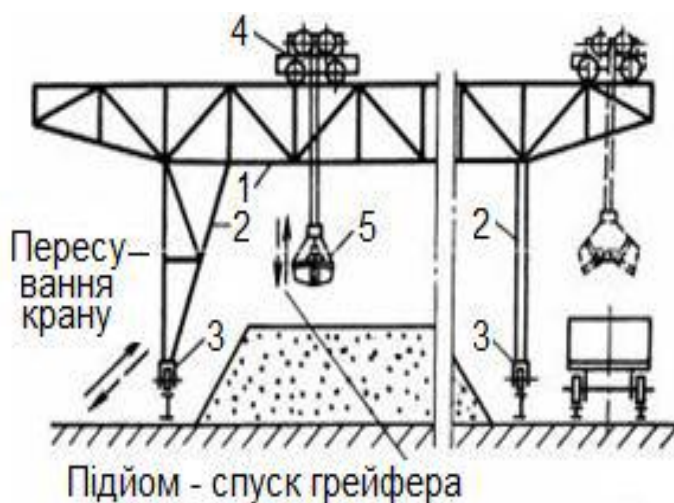
Рисунок 1.2 – Різновиди кранових механізмів

На рис. 1.3 – 1.6 наведено приклади різних типів стаціонарних КМ.



1 – вежа; 2 – візки крану; 3 – стріла; 4 – головка вежі; 5 – консоль противаги; 6 – поворотний круг; 7 – візок; 8 – гак

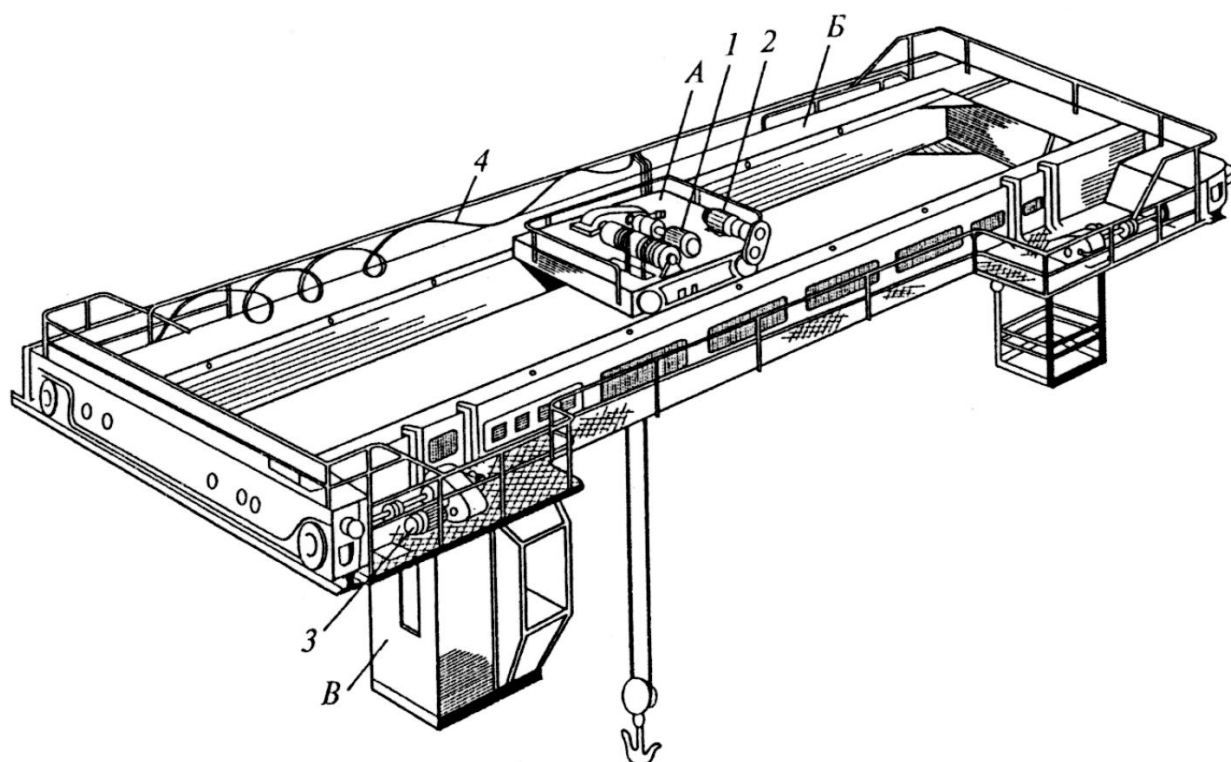
Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд і конструктивна схема баштового підйомного крану



1 – несуча ферма; 2 – опори; 3 – візки; 4 – механізм пересування; 5 – пристрій для захоплення вантажів, грейфер

Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд і конструктивна схема козлового підйомного крану

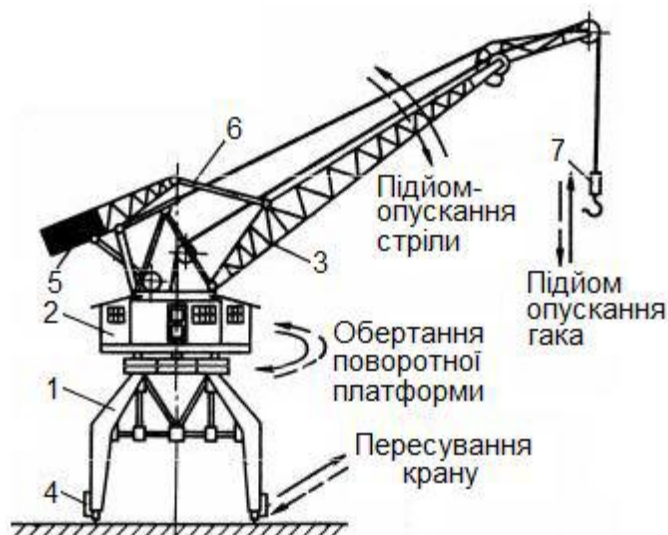
					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



А – візок; Б – колії мостового прольоту; В – кабіна; 1 – двигун підйомного механізму; 2 – двигун механізму пересування візка; 3 – двигун механізму переміщення мостового підйомного крана; 4 – гнучкий кабель живлення електроприводів механізмів візка та підйомного механізму

Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд і конструктивна схема мостового підйомного крану

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



1 – портал; 2 – поворотна платформа; 3 – стріла; 4 – ходові візки; 5 – противага; 6 – стріла важеля; 7 – гак

Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд і конструктивна схема портального підйомного крану

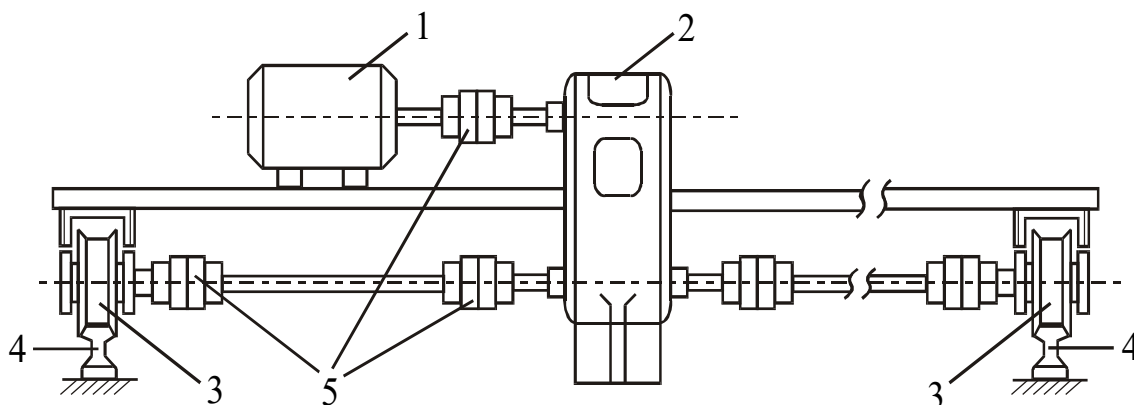
Найбільше розповсюдження отримали мостові крани, типову будова яких наведено на рис. 1.5.

До основних електроприводів механізмів КМ відносять:

привід механізму переміщення візка мостового крана (рис. 1.7);

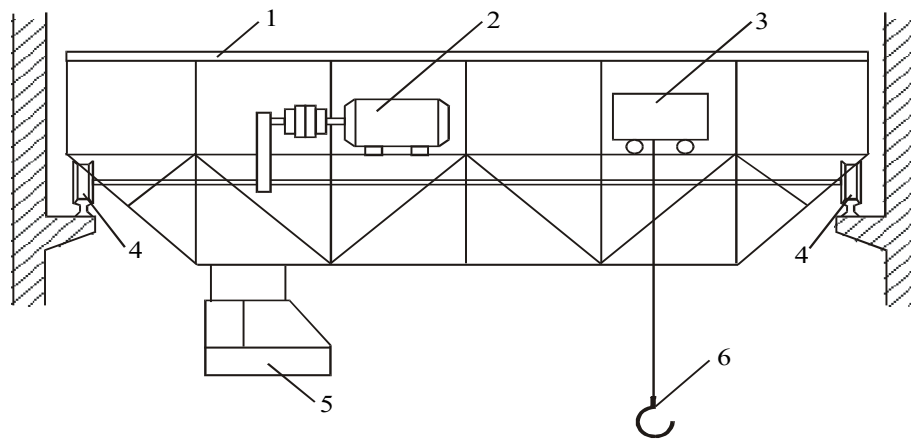
електроприводу механізму переміщення мостового крана (рис. 1.8);

електроприводи механізмів підймання крана (рис. 1.9, рис. 1.10).



1– електродвигун; 2 – редуктор; 3 – колеса; 4 – рейки; 5 – муфти.

Рисунок 1.7 – Привід механізму переміщення візка мостового крана



1– ферма моста; 2– привідний двигун моста; 3 – візок; 4 – ходові колеса; 5 – кабіна машиніста; 6 – зачіпний пристрій.

Рисунок 1.8 – Складові електроприводу механізму переміщення мостового крана

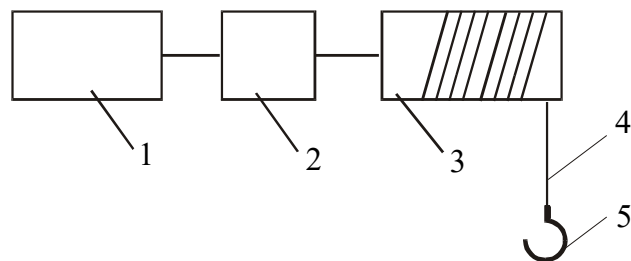
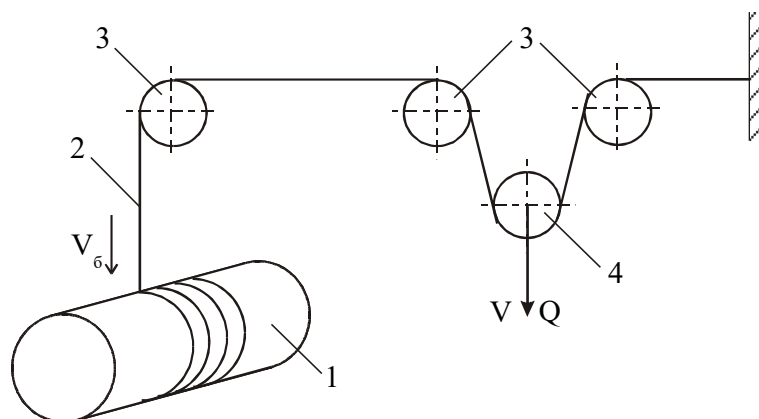


Рис. 1.9. Кінематична схема механізму підймання мостового крана: 1 – двигун; 2 – редуктор; 3 – барабан; 4 – підймальний канат; 5 – зачіпний пристрій

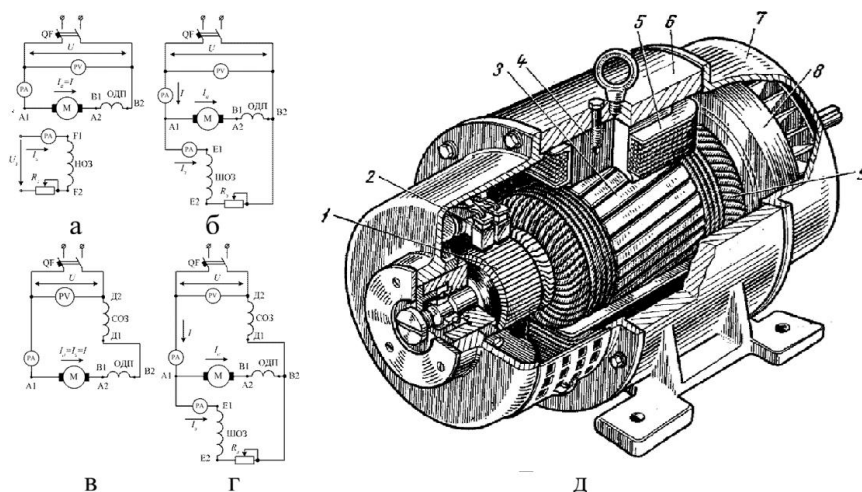


1 – барабан лебідки; 2 – підймальний канат; 3 – напрямні блоки; 4 – рухомий блок із зачіпним пристроєм

Рисунок 1.10 – Кінематична схема підймальної лебідки кабельного крана

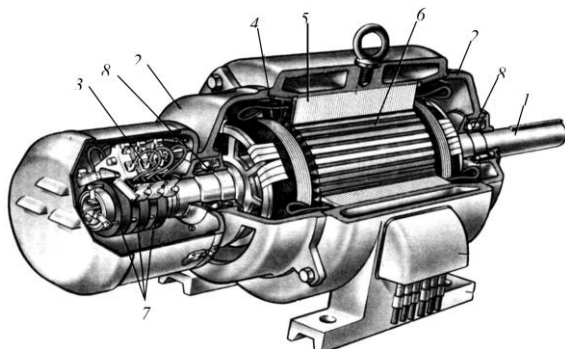
					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

В якості приводних двигунів використовуються шунтові та компаундні двигуни постійного струму (ДПС) (рис. 1.11), асинхронні двигуни з фазним (АСД ФР) (рис. 1.12) або короткозамкненим ротором (АСД КЗ) (рис. 1.13).



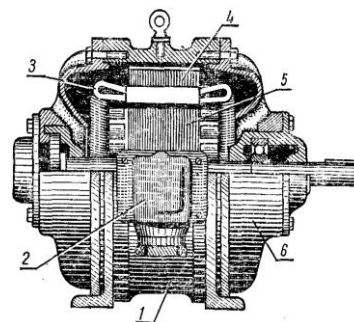
а – незалежне збудження; б – шунтове (паралельне) збудження; в – серієсне (послідовне) збудження; г – компаундне (змішане) збудження; д – будова двигуна постійного струму; 1 – колектор; 2 – щітки; 3 – осердя якоря; 4 – осердя головного полюса; 5 – полюсна котушка; 6 – станина; 7 – підшипниковий щит; 8-вентилятор; 9-обмотка якоря

Рисунок 1.11 – Системи збудження та будова електричного двигуна постійного струму



1 – вал; 2 – підшипниковий щит; 3 – обмотка статора; 4 – осердя статора; 6 – обмотка ротора; 7 – контактні кільця; 8 – підшипник

Рисунок 1.12 – Будова асинхронного електричного двигуна з фазним ротором



підшипниковий щит

Рисунок 1.13 – Будова асинхронного електричного двигуна з короткозамкненим ротором

В наш час здобувають дуже широкого розповсюдження кранові асинхронні двигуни, які призначені для роботи з частотними перетворювачами частоти. В АСД КР імпортного виробництва зустрічаються вбудовані перетворювачі частоти, які призначені для забезпечення плавного пуску та роботи на 1 – 3 фіксованих швидкостях обертання.

Відмітимо, що під час проєктування СД КР для роботи при частотному регулюванні необхідно враховувати:

основні співвідношення між основними розмірами зберігаються як і для кранових АСД КР;

в АСД КР, які призначені для роботи з векторними системами керування можна не застосовувати додаткові заходи для підвищення перевантажувальної здатності через формування родини механічних характеристик безпосередньо частотними перетворювачами;

необхідно узгоджувати максимально допустиму частоту обертання електродвигуна та редуктора;

двигуни повинні бути здатні працювати при підвищенні частоти напруги живлення в 1,5 – 2 рази відносно номінальної;

для зниження втрат обмотка ротора заливається чистим алюмінієм або робиться виключно мідною, що дозволяє максимально зменшити робоче ковзання та звести страти до мінімуму;

двигуни повинні бути розраховані для живлення нестандартною напругою, яка визначається частотним перетворювачем відповідно до закону Костенко;

часто для забезпечення гальмівних режимів таких двигунів використовують автономні гальмівні пристрої із гідроштовкачами.

В електричних двигунах кранових механізмах використовують такі режими роботи [3 – 6, 8, 10, 11].

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Режим двигуна використовують для руху мосту, механізму переміщення візка і крана в цілому; підйому вантажу; опускання порожнього гака або не важкого вантажу.

Режим гальмування противмиканням використовують для опускання важких вантажів із заданою швидкістю (двигун включено на підйом вантажу, але під дією сили тяжіння вантаж рівномірно опускається); гальмування та реверсування двигуна переміщення візка і крана (для зупинки або зміни напрямку руху переключають двигун для руху в інший бік).

Режим генераторного (рекуперативного) гальмування використовують для гальмівного спуску вантажів, коли їх швидкість перевищує задану; стабілізації швидкості руху візка або крана коли дме сильний попутний вітер тощо.

Для прикладу розглянемо основні вузли механічного обладнання мостового крана є: механізм переміщення всього крана, механізм переміщення візка по мостовій фермі крана, механізм підймання, який встановлений на візку. Кожен з цих механізмів приводиться в рух індивідуальним приводом.

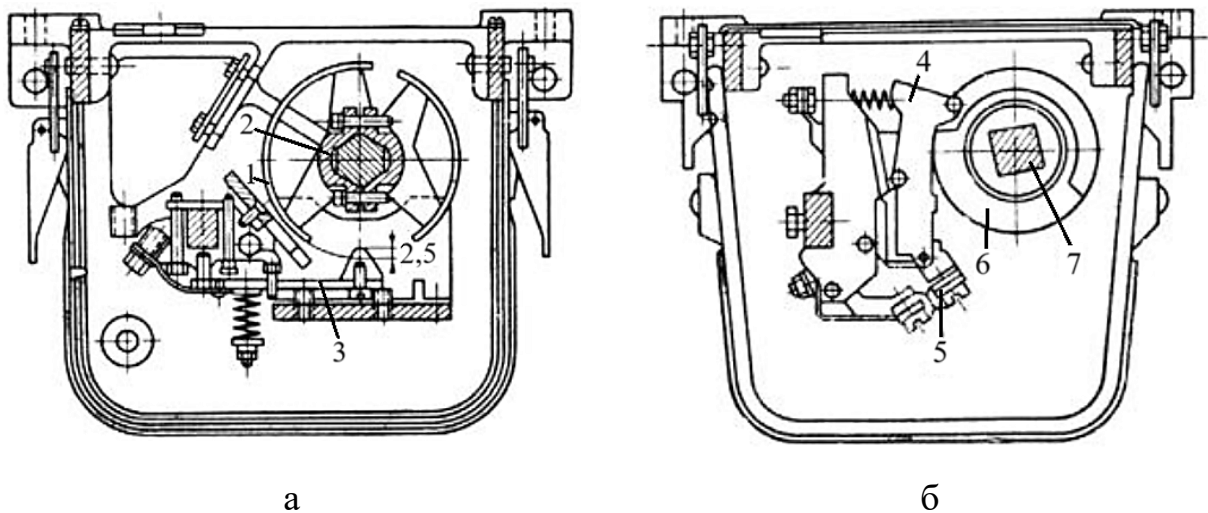
Історично використовувались такі системи керування електроприводів КМ [3, 4, 8].

В системах керування КМ часто використовували контролери різних типів (рис. 1.14). На легких кранах (до 10 т) застосовували барабанні контролери (рис. 1.14 б). Під час повороту барабана на різні кути сегменти 1 входять в контакт з пружинними пальцями 3 і утворюють необхідні електричні кола. На потужніших КМ застосовували кулачкові контролери типів НТ та НП (рис. 1.14 б). При відсутності механічної дії на кулачковий елемент 4 його контакти 5 замкнуті. Управління контактами кулачкового елемента здійснюється за допомогою фасонних шайб 6, встановлених на осі 7. При повороті осі на різні кути кулачковий елемент буде замкнутий або

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розімкнений залежно від профілю фасонної шайби. Фіксація положення контролера забезпечується за допомогою фіксуючого пристрою.

Система кулачкового типу (рис. 1.14 б), в якій контролери за допомогою спеціальних механічних контролерів за допомогою кулачків перемикають потрібні контакти. Вони використовувались для КМ для важкого режиму роботи (до 120 включень на годину), та для легших режимів в діапазоні регулювання частоти обертання до 3:1.



1 – сегмент; 2 – рухомий барабан; 3 – пружинний палець; 4 – кулачковий елемент; 5 – контакти; 6 – фасонна шайба; 7 – вісь

Рисунок 1.14 – Барабанний (а) та кулачковий (б) контролери

В КМ з ДПС використовували несиметричну схему контролера з потенціометричним включенням якоря двигуна на положеннях спуску, а в електроприводах механізмів пересування – симетричну схему контролера з послідовно включеними резисторами.

В АСД ФР використовували кулачкові контролери (рис. 1.14 б), які керували схемами з'єднання обмоток статора та включенням/виключенням резисторів в колі ротора.

В електроприводах постійного та змінного струму використовували систему з магнітними контролерами. В них командоконтролери працювали в режимі реле і забезпечували діапазон регулювання швидкості порядку 6:1. Однак вони вимагали дуже ретельного налаштування.

Ще зовсім недавно система керування генератор-двигун була чи найбільш ефективною. Вона забезпечувала діапазон регулювання швидкості 10:1, гарні регульовальні характеристики, відносну простоту та не високу вартість. Однак вимагала розміщення габаритних обертових перетворювачів і мала підвищену вартість в експлуатації.

Системи з тиристорними регулятори напруги використовуються в системах автоматизованого електроприводу з ДПС, АСД ФР та АСД КЗ і забезпечували діапазон регулювання швидкості порядку 10:1. Ця система також вимагала складних налаштувань та контролю швидкості обертання ротора двигуна (механізму).

Система з тиристорним перетворювачем частоти використовується з АСД КЗ, має широкий діапазон регулювання швидкості (60:1 і більше), спрощує пускові процеси і має гарні динамічні показники. Дозволяє реалізувати скалярні системи керування електроприводом.

Для вибору автоматизованого електроприводу КМ розглядають, як правило, декілька варіантів з врахуванням наступних факторів [3, 4, 8]:

- діапазон і плавність регулювання швидкості обертання;
- можливі потужності електроприводу;
- способи керування;
- можливість дистанційного або автоматичного керування електроприводом;
- ймовірність безвідмовної роботи;
- складність налагодження;
- вартість експлуатації та ремонту тощо.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо економічні показники різних варіантів різняться менше ніж на 15 %, проводять додаткові дослідження. Наприклад порівнюють масо-габаритні характеристики, умови розміщення тощо.

До характеристики режимів роботи КМ [3, 4, 8] відносять (табл. 1.1):
режими роботи;
кількість включень на годину;
кратність пуску λ ;
тривалість ввімкнення.

Таблиця 1.1 – Характеристики режимів роботи КМ

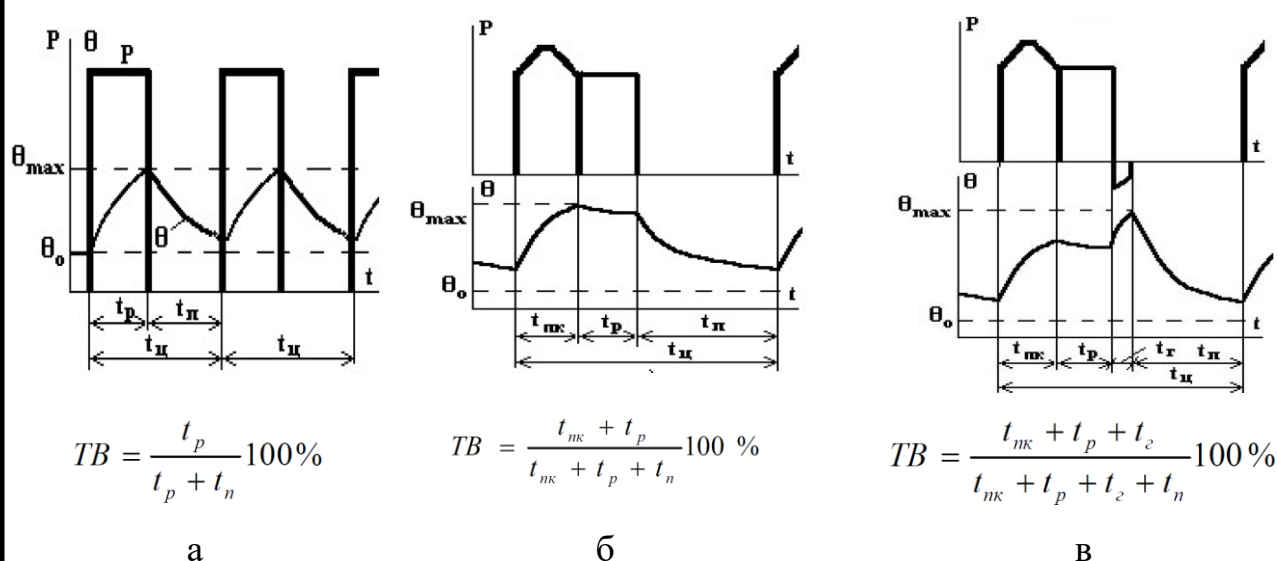
Режим роботи	Кількість включень в годину	Кратність пуску, λ	Тривалість ввімкнення, ТВ
надважкий	$400 \div 600$ і $>$	4, 5, 6	60
важкий	$300 \div 400$	4, 5, 6	40
середній	< 200	$2,5 \div 3,5$	25
м'який	< 150	$2,5 \div 3,5$	15

Під час дослідження КМ необхідно враховувати ряд технологічних особливостей.

Кранові механізми працюють в різних повторно-короткочасних режимах ввімкнення (рис. 1.15) [3, 4 – 8, 11].

Для періодичного режиму повторно-короткочасного навантаження S3 (рис. 1.14 а) характерними є нечасті пуски, тривалість яких значно менша, ніж час роботи електродвигуна, а тому відсутній істотний вплив пускових струмів на тепловий режим машини. У паспорті машини цей режим роботи вказують умовним позначенням: S3 – 15 %, S3 – 25 % тощо.

Для періодичного режиму повторно-короткочасного навантаження S4 характерними є часті пуски. За цього режиму роботи час пуску ($t_{пк}$) й час роботи (t_p) є величинами сумірними, а тому пускові струми істотно впливають на нагрівання машини (рис. 1.15 б). Режим роботи S4 характеризують тривалістю ввімкнення (ТВ) у відсотках, кількістю вмикань за годину, стандартні значення яких становлять: 30, 60, 120 та 240, та коефіцієнтом інерції FI, стандартні значення якого: 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 6,3 або 10.



а – повторно-короткочасний режим S₃; б – повторно-короткочасний режим із частими пусками S₄; в – повторно-короткочасний режим із частими пусками й електричними гальмуваннями S₅;

Рисунок 1.15 – Тривалість ввімкнення та температурні режими електроприводів кранових механізмів

Для цього режиму використовують додатковий критерій коефіцієнт інерції FI – це відношення суми моменту інерції ротора та зведеного до вала двигуна моменту інерції інших рухомих частин привода й робочої машини до моменту інерції ротора.

В умовному позначенні такого режиму вказують тривалість вмикання у відсотках, кількість вмикань за годину та коефіцієнт інерції, наприклад: S4 – 25 %, 120 вмикань за годину, $FI = 2,0$. Це означає, що за $FI = 2,0$ двигун можна ввімкнути не частіше ніж 120 разів за годину. Тривалість кожного циклу становитиме 0,5 хв, із яких час пуску ($t_{пк}$) й час роботи (t_p) становлять 25 % (7,5 с), а час паузи ($t_{п}$) – 22,5 с. Для періодичного режиму повторно-короткочасного навантаження з урахуванням електричного гальмування S5 характерними є часті пуски та електричне гальмуванням, що відбувається упродовж часу t_g (рис. 1.15 в). Стандартними значеннями коефіцієнта інерції FI для цього режиму є такі: 1,2; 1,6; 2,0; 2,5 та 4,0. В умовному позначенні режиму роботи S5 вказують тривалість вмикання у відсотках, кількість вмикань за годину та коефіцієнт інерції, наприклад: S5 – 25 %, 240 вмикань за годину, $FI = 2,5$.

1.2 Вимоги до механічних характеристик автоматизованих приводів КМ та їх області навантаження

Електропривод КМ відрізняють наступні особливості:

- механічні характеристики електроприводу КМ є в усіх квадрантах;
- перехід з режиму двигуна в гальмівні режими має бути забезпечений плавно;
- однотонне регулювання швидкості;
- в більшості випадків діапазон регулювання швидкості не перевищує 10:1;
- вимоги до жорсткості характеристик не є суворими;
- достатньо не висока швидкодія механізмів;
- досить широкий діапазон кліматичних умов роботи ($\pm 50^\circ\text{C}$ при роботі на відкритому повітрі та $10 - 60^\circ\text{C}$ під час роботи в закритих приміщеннях, особливо металургійних цехах), а вологість може складати до 90%;

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливість роботи у забрудненому повітрі та з великим вмістом агресивних речовин;

під час пересування механізмів можливі механічні удари з прискоренням;

жорсткі умови до простоти експлуатації та обслуговування;

часто є брак кваліфікованого обслуговування.

Системи керування автоматизованого електроприводу КМ з ДПС, АСД ФР, АСД КР умовно поділяють на такі групи:

безпосереднє керування двигуном за допомогою комплектних силових комутаційних апаратів – такі системи ще зустрічаються в КМ, але поступово замінюються більш сучасними;

використання комплектних пристроїв комутації силових кіл з дистанційним керуванням і живленням від промислової мережі (також поступово замінюються на сучасніші);

використання електромагнітних та вентильних перетворювачів струму, напруги та частоти для живлення електроприводів КМ (здобувають широкого розповсюдження, особливо на основі струмових та частотних перетворювачах в системах керування АСД КР).

В роботі будемо розглядати систему керування автоматизованим електроприводом з АСД КР на основі частотного перетворювача.

КМ працюють з різним характером навантаження: переважно з реактивним (рис. 1.15 а, б), або переважно з реактивним (рис. 1.15 в, г) статичними моментами навантаження. Електроприводи різних лебідок, механізмів піднімання/опускання вантажу мають, як правило, активний характер статичного навантаження (рис 1.15 а, б), а електроприводи механізмів горизонтального переміщення – реактивний характер статичного навантаження (рис 1.15 в, г).

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

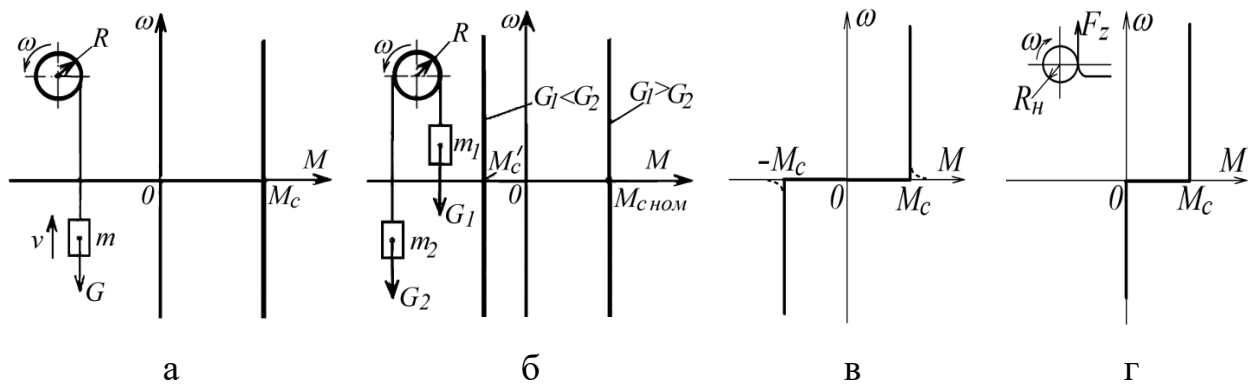


Рисунок 1.15 – Активне (а) та реактивне (б) статичне навантаження

Механізми підйому КМ мають механічні характеристики, які наведено на рис. 1.16 а [13, 14]. Для вибирання слабину канатів та піднімання вантажів із невеликою швидкістю електроприводи КМ працюють на характеристиці 1 п . Характеристики 2 п, 3 п, 4 п використовуються для піднімання вантажів відповідно із середньою, номінальною та підвищеною швидкостями. Під час опускання вантажів з малою, середньою, номінальною та підвищеною швидкостями електроприводи КМ працюють відповідно до 1 с, 2 с, 3 с, 4 с характеристик. Заштриховані ділянки відповідають бажаним режимам роботи електроприводів підйому/опускання КМ. Слід відмітити, що через особливість процесів вони не є симетричними.

При переміщенні КМ в горизонтальній площині статичні моменти мають реактивний характер, зображені на рис. 1.16 б [13, 14]. Під час вибору люфтів в механічних передачах електропривод працює відповідно до характеристик 1 н та 1 в , номінальному режиму роботи відповідають характеристики 3 н та 3 в, а характеристики 2 н та 2 в відповідають проміжним режимам роботи електроприводу.

Роботу електроприводів КМ відповідно до наведених механічних характеристик забезпечує використання ДПС з тиристорним перетворювачем або АСД КЗ з частотним керуванням.

В електроприводах механізмі горизонтального переміщення гальмівні режими можуть виникати під час руху під уклін або під дією вітрових збурень.

Маса вантажу, який переміщують для механізмів горизонтального переміщення не має значного впливу через значну вагу самого КМ, але під час вибору механізму переміщення візка КМ його слід враховувати.

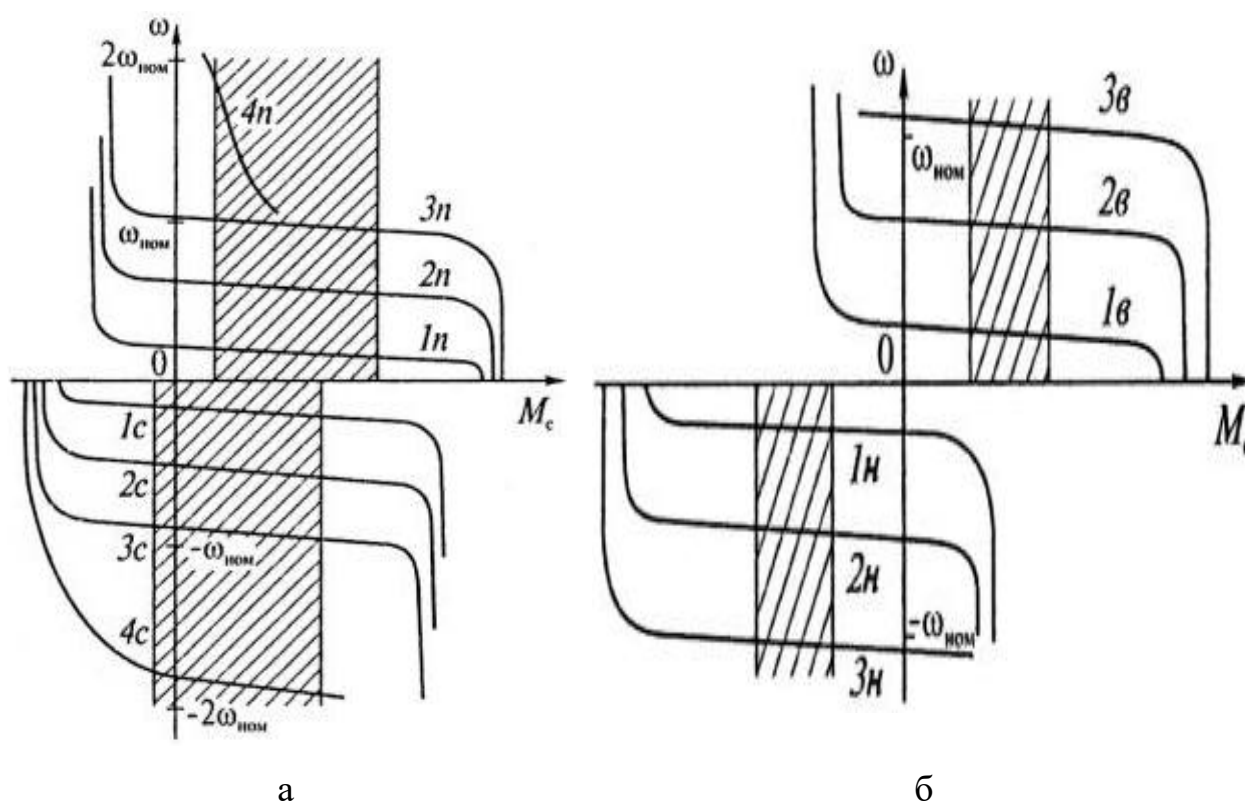


Рисунок 1.16 – Необхідні механічні характеристики електроприводу механізмів підйому крана (а) та механізмів горизонтального пересування (б)

Керування гальмівними режимами в автоматизованих електроприводах КМ для механізмів горизонтального переміщення простіше, ніж в механізмах підйому тому, що в більшості випадків можна не чекати, поки момент електродвигуна збільшиться до величини статичного моменту.

Особливістю цих механізмів є те, що вони, як правило, використовують декілька двигунів, які можуть живитись від одного перетворювача частоти, але для кожного двигуна слід передбачати окремий захист від перевантажень у вигляді теплових реле (рис. 1.17). Живлення електродвигунів від індивідуальних перетворювачів доцільно для механізмів переміщення КМ, що дозволить вирівняти навантаження між двигунами.

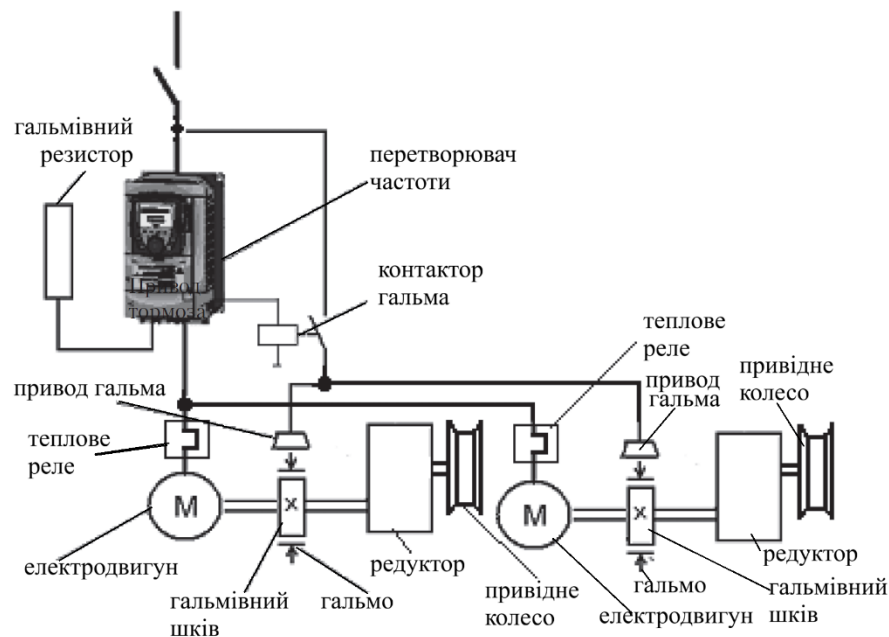


Рисунок 1.17 – Структурна схема електропривода механізму переміщення візка мостового крана

Гальмівні режими вимагають особливої уваги під час проектування. Під час інтенсивного гальмування КМ енергія може утилізуватись на гальмівних резисторах або рекупероватись у мережу за допомогою спеціальних модулів

2 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВІЗКА МОСТОВОГО КРАНУ

2.1 Вихідні дані для розрахунку

Для розрахунку характеристик автоматизованого електроприводу переміщення візка мостового крану були використані наступні вихідні дані (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Вхідні дані для розрахунку характеристик
автоматизованого електроприводу переміщення візка мостового крану

Характеристика	Одиниці виміру	Значення
Вантажопідйомність на гаку, $Q1$	кг	32000
Маса моста, Jm	кг	114200
Маса возика з траверсою, Jt	кг	3120
Швидкість руху, V	м/с	1,67
КПД механізму η	-	0,85
Діаметр цапфи колеса, d	м	0,13
Діаметр колеса, Dk	м	0,71
Коефіцієнт тертя в підшипнику, f	-	0,015
Коефіцієнт тертя реборди колеса, kr	-	2
Коефіцієнт тертя кочення колеса, μ	-	0,0008
Передатне число механізму, i	-	19,88
Маховий момент ротора двигуна, Jd	кг·м ²	1,84
Маховий момент гальмівного шківa, Jsh	кг·м ²	1,58
Маховий момент муфти, Jmf	кг·м ²	0,76
Швидкість обертання ротора двигуна, $Nd \nu$	об/хв.	970
Час розгону, t	с	5

2.2 Визначення моментів, які діють в електроприводі

Розрахунок починаємо з визначення статичного моменту на валу. Під час розрахунків необхідно враховувати наступні умови:

використовується два електродвигуна, по одному на кожній балці;

возик розташовано з краю (навантаження на електропривод мості ділиться порівну, а навантаженні від возика та вантажу діє лише на один привод).

Статичний момент на валу двигуна M_{st} , який найбільш навантажений, визначаємо за формулою:

$$M_{st} = \frac{k_p \cdot \left(\frac{J_m}{2} + J_t + Q_1 \right) \cdot (f \cdot d + 2 \cdot \mu) \cdot g}{2 \cdot i \cdot \eta};$$

Підставивши вихідні данні отримаємо:

$$M_{st} = \frac{2 \cdot \left(\frac{114200}{2} + 31200 + 32000 \right) \cdot (0,015 \cdot 0,13 + 2 \cdot 0,0008) \cdot 9,81}{2 \cdot 19,88 \cdot 0,85} = 248 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначимо динамічний момент на валу двигуна:

$$M_d = \frac{\delta \cdot (J_d + J_{sh} + J_{mf}) \cdot N dv \cdot g}{375 \cdot t} + \frac{0,975 \cdot \left(\frac{J_m}{2} + J_t + Q_1 \right) \cdot V^2 \cdot g}{N dv \cdot t \cdot \eta}.$$

Визначимо динамічний момент за нашими даними:

$$M_d = \frac{1,1 \cdot (1,84 + 1,58 + 0,76) \cdot 970 \cdot 9,81}{375 \cdot 5} + \frac{0,975 \cdot \left(\frac{114200}{2} + 31200 + 32000 \right) \cdot 1,67^2 \cdot 9,81}{970 \cdot 5 \cdot 0,85} = 788 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Далі визначаємо повний момент:

$$M_{max} = \frac{M_{st} + M_d}{f_t \cdot f_h \cdot f_u \cdot f_\omega};$$
$$M_{max} = \frac{248 + 799}{1 \cdot 1 \cdot 0,81 \cdot 1} = 1292 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За методиками, які викладені в [1, 5 – 7] здійснили побудову тахограму руху (рис. 2.1) і навантажувальну діаграму (рис. 2.2).

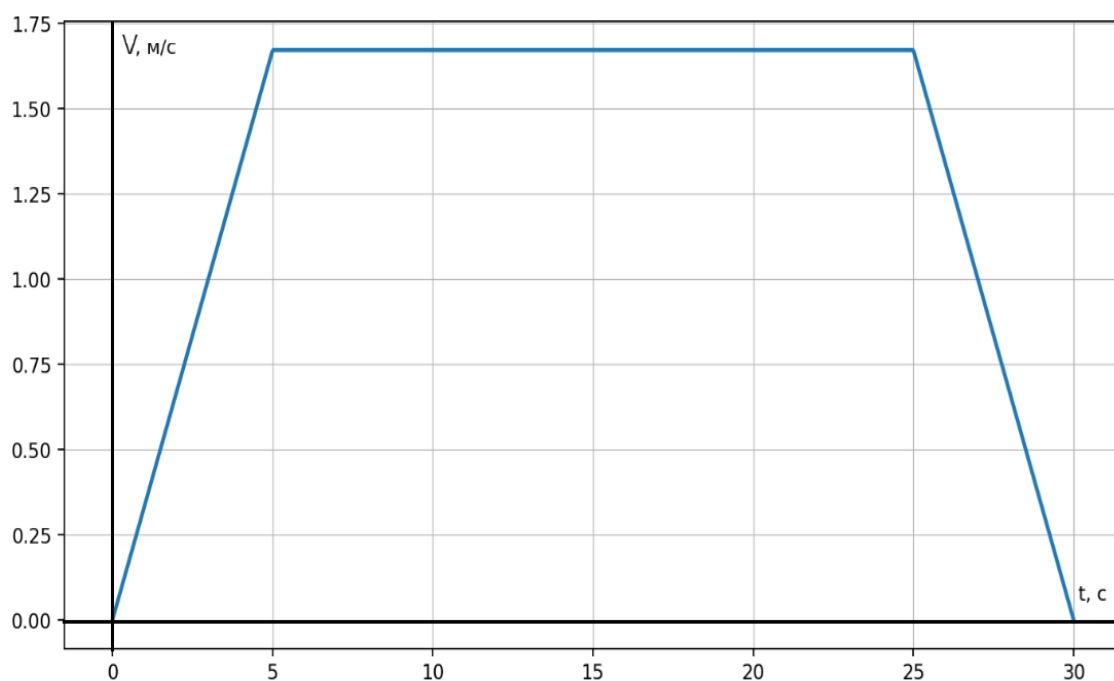


Рисунок 2.1 – Тахограма руху

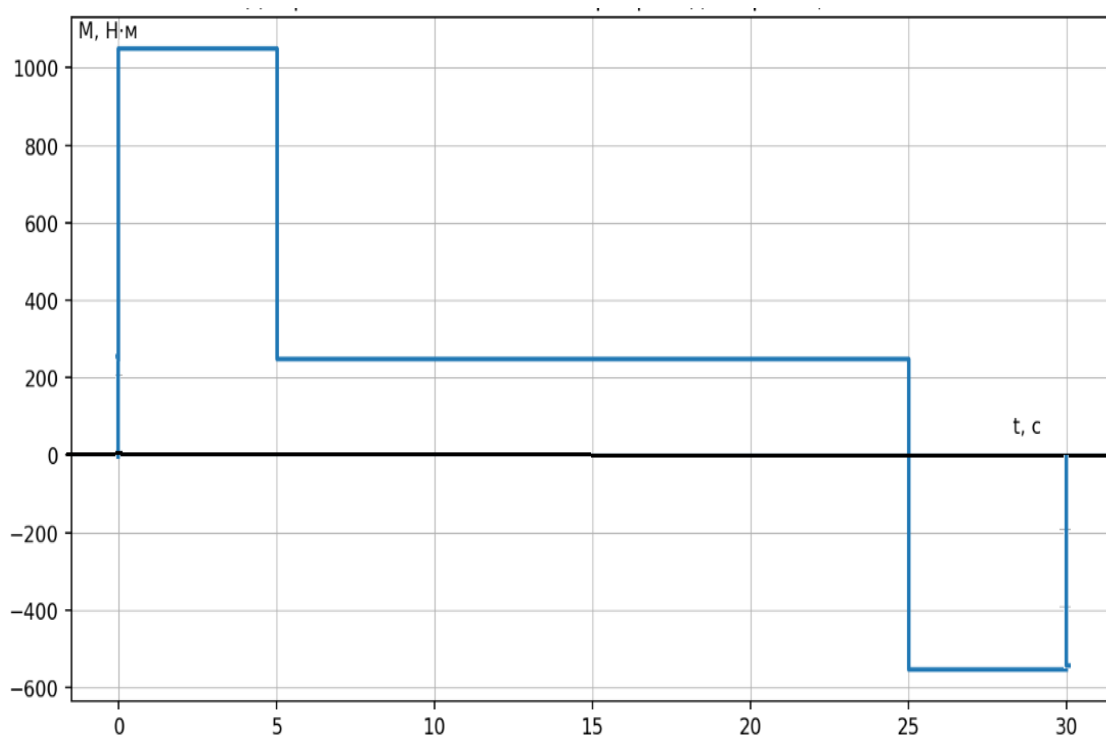


Рисунок 2.2 – Діаграма навантаження візка мостового крана

2.3 Вибір електродвигуна та перетворювача частоти

Під час вибору двигуна необхідно враховувати два критерії:

номінальний момент двигуна повинен бути більше статичного розрахункового моменту, який приведений до валу одного двигуна:

$$M_{n.dv} > \frac{M_{st} \cdot kz}{\lambda};$$
$$M_{n.dv} > \frac{248 \cdot 1,15}{1,0} = 285 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

номінальний момент одного з двигунів має бути не менше заданого співвідношення моментів:

$$M_{n.dv} > \frac{M_{max}}{M_{max}/M_n};$$

Для електродвигунів кратність максимального моменту M_{max} до моменту пуску M_n обирають 2,0, отримаємо:

$$M_{n.dv} > \frac{1292}{2} = 646 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким чином обираємо $M_{n.dv} > 646 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

З таблиць кранових двигунів обираємо А280М6К, характеристики наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики електричного двигуна А280М6К.

Характеристика, одиниці вимірювань	Значення
Номінальна потужність, кВт	64;
Номінальна швидкість обертання, об/хв.	985;
ККД, %	92,5;
Коефіцієнт потужності	0,84;
Номінальний струм, А	102;
Номінальний момент, Н·м	625;
Відношення максимального моменту до номінального	2;
Вага, кг	460.

Відповідно до методик, які викладені в [1, 5 – 7] за даними сайтів [13, 14] були отримані наступні проміжні характеристики: синхронна швидкість двигуна – 1000 об/хв.; номінальне ковзання – 0,08.

Механічну характеристику будуємо використовуючи формулу Клоса:

$$M = M_{max} \cdot \frac{2}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}},$$

де s – номінальне ковзання;

$$s = \frac{n_c - n_n}{n_c};$$

$$s = \frac{1000 - 985}{1000} = 0,015;$$

$s_{кр} = 0,056$ – критичне ковзання для двигуна А280М6К.

Максимальний момент приймаємо вдвічі більшим за номінальний, тоді $M_{max} = 1250 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Пусковий момент для двигуна А280М6К складає $M_{пуск} = 140 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Для двигуна А280М6К кількість полюсів складає 6.

За паспортними та розрахованими даними наближену механічну характеристику будуємо за формулою Клосса (рис. 2.3):

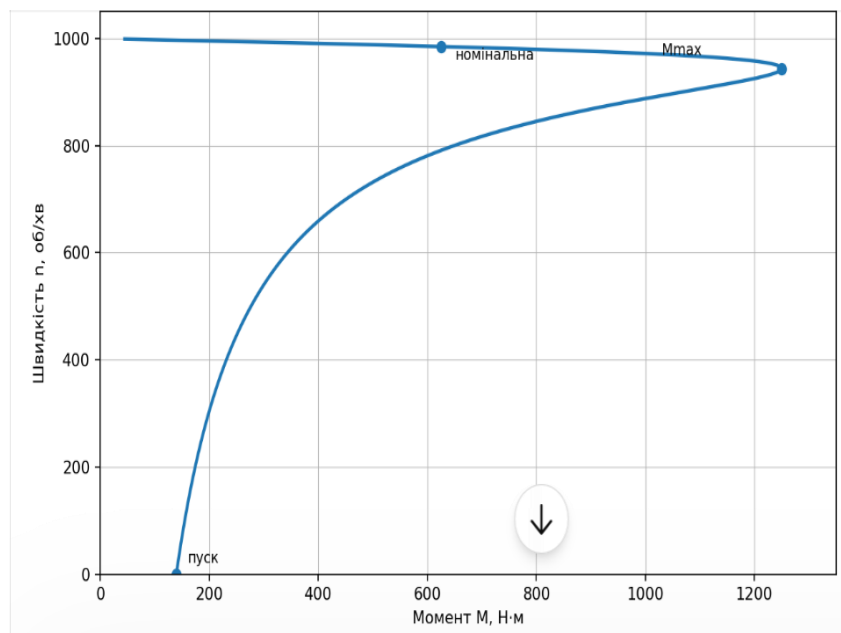


Рисунок 2.3 – Механічна характеристика асинхронного кранового двигуна А280М6К

Частотний перетворювач для оптимізації керування асинхронним двигуном використовує закон Костенка:

$$\frac{U}{f} = \text{const},$$

$$\Phi \approx \text{const}.$$

Для побудови родини механічних характеристик при частотному способі керування з використанням закону Костенка з кроком 10 Гц (рис. 2.4) знайдемо ряд додаткових величин:

максимальний момент:

$$\Phi_{\text{max}} \approx \text{const} = 1250 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

синхронна швидкість змінюється пропорційно частоті:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{3} = 20f.$$

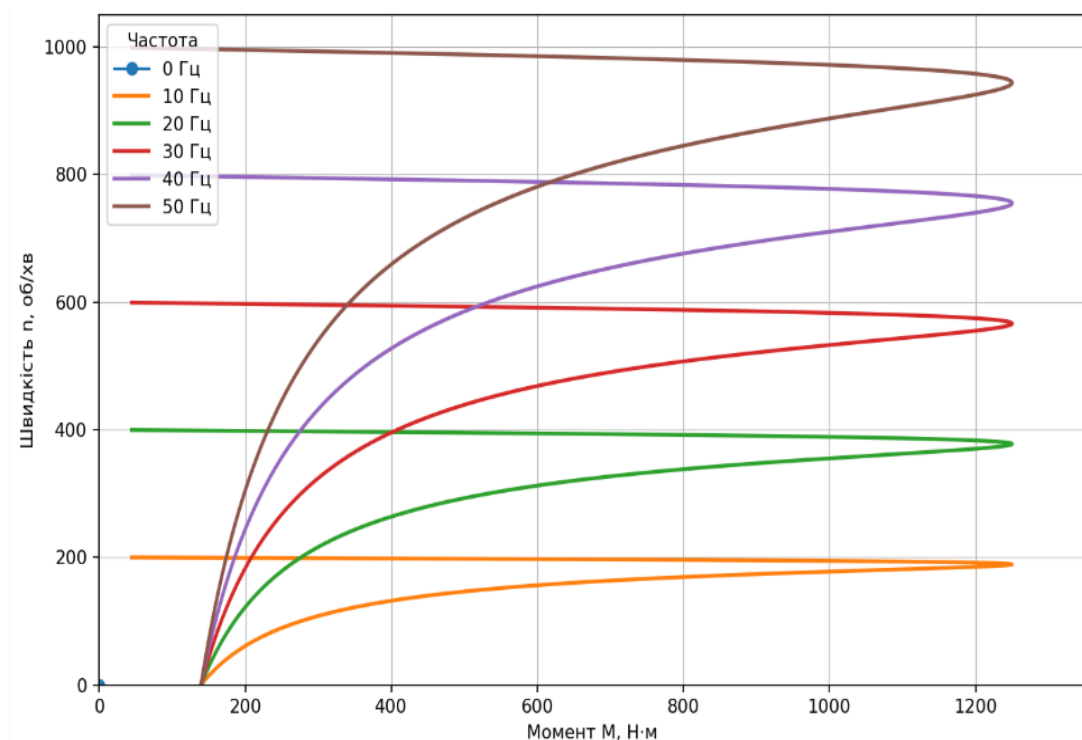


Рисунок 2.4 – Родина механічних характеристик асинхронного кранового двигуна А280М6К при частотному способі керування за законом Костенко

Для даного двигуна для забезпечення швидкості руху $V = 1,67 \text{ м/с}$ визначимо швидкість обертання:

$$N_{dv} = \frac{V \cdot i \cdot 60}{Dk \cdot \pi};$$

$$N_{dv} = \frac{1,67 \cdot 19,88 \cdot 60}{0,71 \cdot 3,14} = 893 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Номінальна швидкість обертання не співпадає з швидкістю обертання двигуна, а отже і двигун і перетворювач частоти будуть перевантажені по струму приблизно на 8 %. Таким чином бажано збільшити передатне число редуктора до 21,5.

З рівняння рівності механічної та електричної енергії :

$$Mk \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n_n = \sqrt{3} \cdot I_{max} \cdot U_n \cdot \cos\varphi \cdot \eta.$$

Знаходимо максимальний струм, який споживається:

$$I_{max} = \frac{\pi \cdot Mk \cdot n_n}{30 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi \cdot \eta};$$

$$I_{max} = \frac{3,14 \cdot 1132 \cdot 985}{30 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,84 \cdot 0,92} = 230 \text{ А}.$$

Виходячи з умови, що $I_{max} = 150\% I_n$, перетворювач частоти повинен витримувати протікання струму не менше:

$$I_n = \frac{I_{max}}{1,5} = \frac{230}{1,5} = 153 \text{ А}.$$

Відповідно до номінального струму обираємо частотний перетворювач ATV71HD75N4 потужністю 75 кВт в кількості 2 одиниць.

Потужність перетворювача частоти повинна перевищувати потужність двигуна на 20 %. Перевіряємо умову:

$$P_{пч} \geq P_{дв} \cdot 1,2 = 64 \cdot 1,2 = 74,8 \text{ кВт}.$$

Умова виконується.

Проводимо перевірочний розрахунок з умови, що перетворювач частоти забезпечує перевантажувальний пусковий момент на 170 % більший за номінальний.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний момент на валу двигуна A280M6K дорівнює:

$$M_{170} = 1,7 \cdot M_{nom} \cdot \left(\frac{In.pс}{In.dv} \right);$$

$$M_{170} = 1,7 \cdot 625 \cdot \left(\frac{160}{102} \right) = 1666 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $In.pс$ – номінальний струм перетворювача частоти (160 А);

$In.dv$ – номінальний струм двигуна (102 А);

$$M_{170} = 1666 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq M_{max} = 1132 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким чином обираємо перетворювач частоти ATV71HD75N4 потужністю 75 кВт.

2.4 Перевірка запасу сцеплення коліс

Проведемо перевірку запасу сцеплення коліс, який повинен задовольняти умові:

$$K\varphi = \frac{J_{pr} \cdot \varphi}{W_{\text{змінне}}^{\text{без вантажу}} + J_{kr} \cdot \left(\frac{a}{g} - \frac{n_{pr}}{n} \cdot \mu \cdot \frac{d}{Dk} \right)};$$

де a – прискорення мосту:

$$a = \frac{V}{t} = \frac{1,67}{5} = 0,334 \text{ м/с}^2;$$

J_{pr} – сумарний тиск на приводні колеса за умови, що возик знаходиться посередині мосту та без вантажу:

$$J_{pr} = \frac{J_t + J_m}{2} \cdot \frac{n_{pr}}{n} = \frac{31200 + 114200}{2} \cdot \frac{2}{8} = 18175 \text{ кг};$$

J_{kr} – сумарний тиск на колеса за умови, що возик знаходиться посередині мосту та без вантажу:

$$J_{kr} = \frac{J_t + J_m}{2} = \frac{31200 + 114200}{2} = 71700 \text{ кг};$$

де n_{pr} – кількість приводних коліс (2);

n – загальна кількість коліс (8);

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

φ – коефіцієнт щеплення з рельсом (на повітрі 0,12; в приміщенні 0,15);

$W_{\text{змінне}}^{\text{без вантажу}}$ – опір кочення коліс мосту без вантажу:

$$W_{\text{змінне}}^{\text{без вантажу}} = k_p \cdot (J_t + J_m) \cdot \frac{\mu \cdot d}{Dk}$$

$$W_{\text{змінне}}^{\text{без вантажу}} = 2 \cdot (31200 + 114200) \cdot \frac{0,0008 \cdot 0,13}{0,71} = 42,6 \text{ кг.}$$

Зараз можемо знайти запас щеплення:

$$K\varphi = \frac{J_{pr} \cdot \varphi}{W_{\text{змінне}}^{\text{без вантажу}} + J_{kr} \cdot \left(\frac{a}{g} - \frac{n_{pr}}{n} \cdot \mu \cdot \frac{d}{Dk} \right)}$$

$$K\varphi = \frac{18175 \cdot 0,15}{4266 + 72700 \cdot \left(\frac{0,334}{9,81} - \frac{2}{8} \cdot 0,0008 \cdot \frac{0,13}{0,71} \right)} \approx 1,1 \geq 1,1;$$

Умова виконується.

2.5 Вибір гальмівних опорів для механізму переміщення мосту

Визначимо гальмівні опори для механізму переміщення мосту.

Гальмівна потужність мосту визначається з формули:

$$Pf = \frac{(Q_1 + J_t + \frac{J_m}{2}) \cdot V^2}{2 \cdot t};$$

$$Pf = \frac{(32000 + 31200 + \frac{114200}{2}) \cdot 1,66^2}{2 \cdot 5} = 33149 \text{ кВт} \approx 33 \text{ кВт.}$$

Необхідна гальмівна потужність дорівнює:

$$Pfr = \frac{Pf \cdot (\eta \cdot \eta_{fc} \cdot \eta_{dv})}{k_p};$$

де k_p – кількість перетворювачів частоти (1);

$$Pfr = \frac{33 \cdot (0,85 \cdot 0,98 \cdot 0,9)}{1} = 24,7 \text{ кВт.}$$

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З врахуванням циклу роботи механізму стала потужність гальмівного резистора визначається:

$$Pr = \frac{P_{fr} \cdot t}{t_c};$$

$$Pr = \frac{24,7 \cdot 5}{20} = 6,2 \text{ кВт},$$

де t – час гальмування возика;

де t_c – час циклу руху пересування возика крана: 5 с – час розгону/гальмування; 10 с – рух з постійною швидкістю.

Значення обраного опору не повинно бути більше:

$$R_{max} = \frac{U_{dc}^2}{Pr_{fmax}};$$

$$R_{max} = \frac{774^2}{7950 \cdot 2} = 37,6 \text{ Ом}.$$

Таким чином обираємо резистор 6,7 – 37,6 Ом з постійною потужністю 6,2 кВт за умови, що резистор зможе розсіяти 24,7 кВт протягом 5 с. Таким параметрам відповідає резистор VW3 A7 804 (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Характеристики гальмівного резистора VW3 A7 804

Характеристика, одиниці вимірювань	Значення
Опір, Ом	14;
Середня потужність, кВт	22,4;
Потужність, яка розсіюється за 10 с, кВт	25.

Будуємо практичну гальмівну характеристику для частотного привода з гальмівним резистором VW3 A7 804 (рис. 2.5).

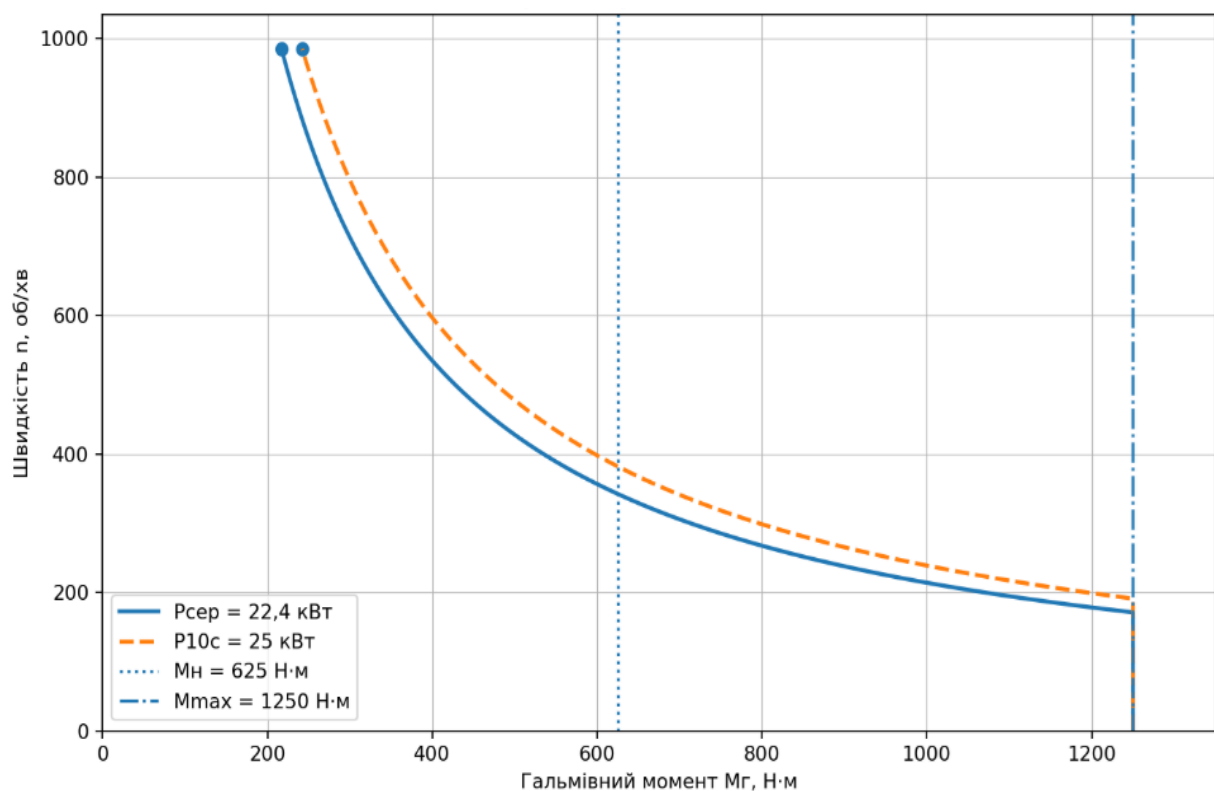


Рисунок 2.5 – Гальмівна характеристика асинхронного кранового двигуна А280М6К з гальмівним резистором VW3 А7 80

Максимальний момент обмежуємо електромагнітним моментом двигуна 1250 Н·м. Механічну характеристику гальмівного моменту будуємо за виразом:

$$M_{\Gamma} = \frac{P_{\Gamma}}{\omega},$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60},$$

для $n=985$ об/хв:

$$M_{\Gamma \text{ сер}} = 217 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\Gamma 10 \text{ с}} = 242 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Напруга на резисторі визначається виразом:

$$U = \sqrt{PR}.$$

3 ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

3.1 Шляхи підвищення енергоефективності електроприводів кранових механізмів

Сьогодні, через збройну агресію РФ та енергетичний геноцид її по відношенню до України постає нагальна потреба в економії енергоресурсів в загалом, а електроенергії особливо.

Нажаль, сьогодні ще спостерігається не ефективне використання автоматизованих електроприводів, особливо на старих підприємствах. Коефіцієнти завантаження електроприводів на таких підприємствах ледве сягають 50 %, Що значною мірою знижує енергоефективність електроприводів. Частка встановленої потужності асинхронних двигунів в Україні [7] є значною і складає 40...50 млн. кВт.

Виділяють наступні шляхи підвищення енергоефективності електроприводів КМ.

Найперше, що треба зробити, це удосконалити методики вибору електродвигунів в некерованому електроприводі КМ, наприклад в талях. Через недовантаження цих електродвигунів в технологічних процесах до 25 %, зниження продуктивності до 3 разів витрати на заміну двигуна наближаються до вартості позапланових ремонтів, вимушених простоїв, спожитої надмірно електроенергії.

Натсупним шляхом підвищення енергоефективності електроприводів КМ є використання електродвигунів поліпшеною та енергоощадної конструкції (рис. 3.1). В США, наприклад, використання таких двигунів показало свою ефективність не лише за рахунок збільшення ККД та коефіцієнта навантаження до 5 %, а, в першу чергу через меншення витрат матеріалів (до 30...35 % заліза, до 20...25 % міді, до 10...15 % алюмінію і в

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цілому двигуна до 25...30 %) [15]. Також доцільним є підвищення частоти живлення до 500...1000 Гц, що також значно підвищить енергоефективність.

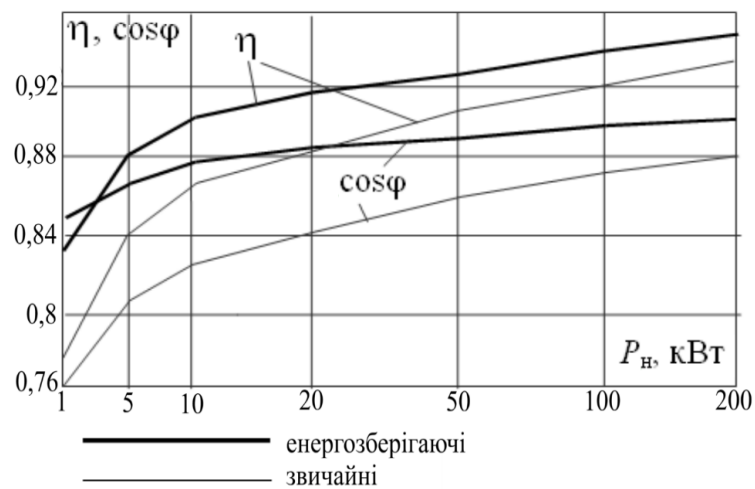


Рисунок 3.1 – Залежності ККД і $\cos \varphi$ від номінальної потужності для звичайних і енергозберігаючих двигунів

Важливим шляхом є усунення додаткових передач. Зараз здійснюється активний перехід від групового до індивідуального (однодвигунового та багатодвигунового) електроприводу (рис. 3.2). На рис. 3.3 наведено узагальнену схему електропривода, на якій ми бачимо додаткові муфти, редуктор, які знижують ККД механізму в цілому, але підвищують безударність включення і плавність пуску в цілому. Повністю відмовитись від проміжних механічних передач дозволяється через використання частоторегульованого електроприводу, який дозволяє оптимізувати навантаження кожного конкретного двигуна.

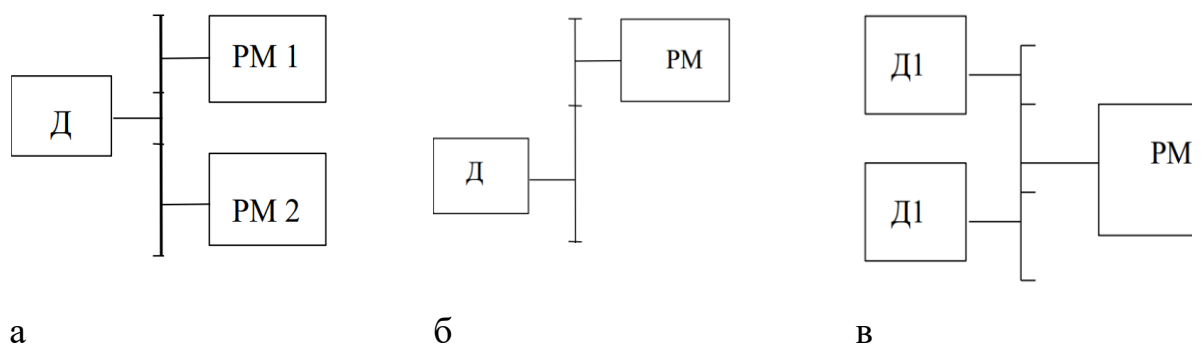


Рисунок 3.2 – Груповий (а), однодвигуновий (б) та багатодвигуновий (в) електроприводи

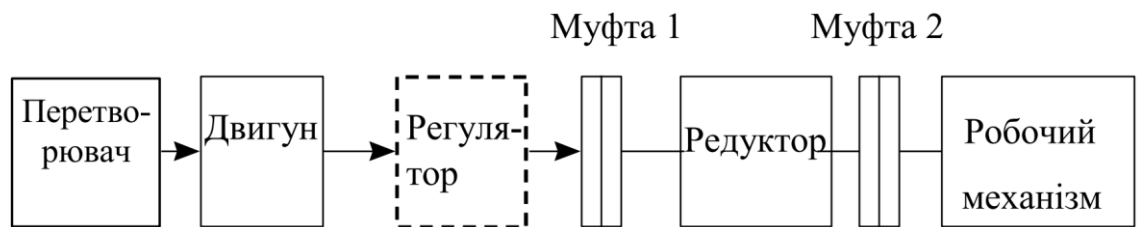


Рисунок 3.3 – Узагальнена схема електропривода

Четвертим шляхом підвищення енергоефективності вважають підвищення ефективності технологічних процесів, оптимізації режимів роботи поточкових ліній. Наприклад удосконалити циклограми рухів, забезпечення більш вузького коридору розрахованих навантажень, застосування нових видів електроприводів тощо дозволить значно підвищити енергоефективність КМ. Важливими є оптимізація циклограм руху та графіків навантажень, а також нормування завантаження. З аналізу залежностей, які наведено на рис. 3.4 при роботі зі змінним навантаженням робочі характеристики при живлення від енергозберігаючого пристрою мають кращі показники.

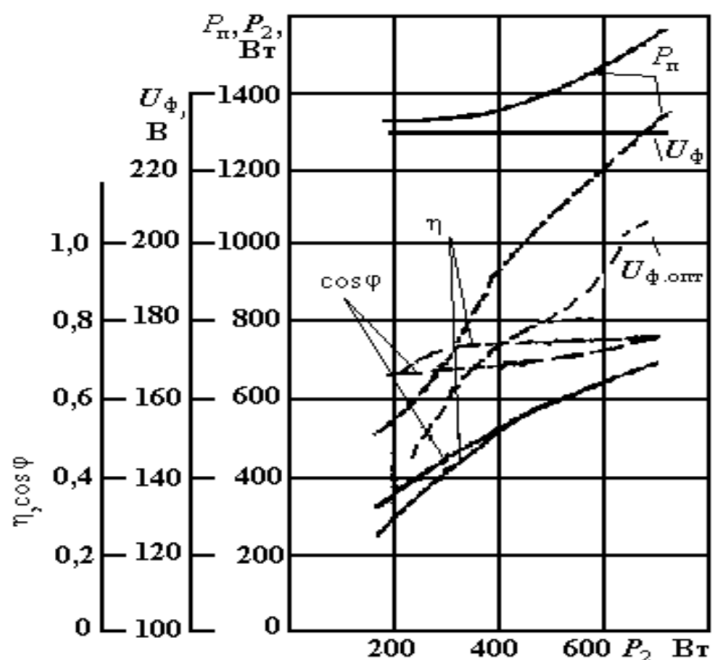


Рисунок 3.4 – Робочі характеристики електропривода зі змінним навантаженням при живлення від мережі (суцільні лінії) та від енергозберігаючого джерела живлення (пунктирні лінії)

До п'ятого шляху підвищення енергоефективності відносять більш раціональний вибір режимів роботи та експлуатації електроприводів. Доцільно раціоналізувати способи та діапазони регулювання швидкості через врахування технологічних особливостей. Важливим є мінімізувати втрати в електроприводі. На рис. 3.5 наведено схеми енергетичних потоків в традиційних системах керування електроприводами з асинхронними двигунами з фазним ротором і двигунах постійного струму незалежного збудження, де використовуються регульовані реостати мають збільшеному втрату електроенергії. На відміну від них частотнорегульований електропривод має значно кращі енергетичні потоки (рис 3.6). Важливим є компенсація реактивної потужності в електроприводах з асинхронними двигунами.

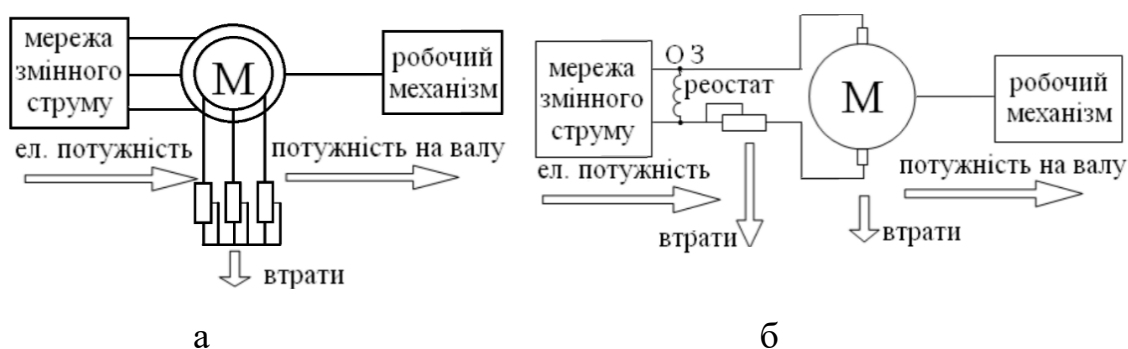


Рисунок 3.5 – Схема енергетичних потоків асинхронного двигуна зі змінюваним опором у колі ротора (а) та ДПС незалежного збудження з регульованим реостатом (б)

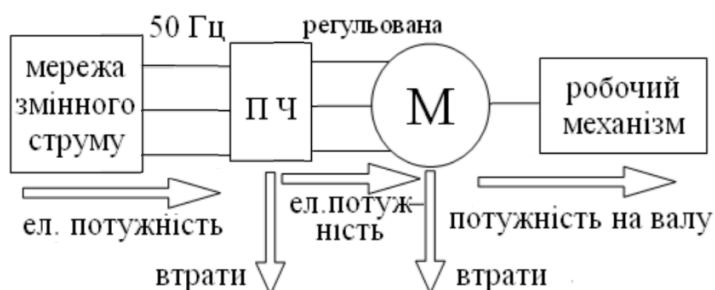


Рисунок 3.6 – Розподіл енергії в частотнорегульованому електроприводі

Шостий шлях енергозбереження раціоналізує типи електроприводів для конкретної установки і впровадження регульованих електроприводів. Наприклад компанія Siemens практично відмовилась від розробки окремих елементів систем керування електроприводами і зосередила власні засилля на оптимізації технологічних процесів в цілому.

3.2 Економічний ефект від використання частотного перетворювача частоти

Потужність одного двигуна складає $P_{\text{дв}}=64$ кВт, а потужність перетворювача $P_{\text{пч}}=75$ кВт.

Для визначення запасу по потужності визначимо коефіцієнт запасу:

$$k = \frac{P_{\text{пч}}}{P_{\text{дв}}} = \frac{75}{64} = 1,17$$

Таким чином запас по потужності складає 17 %. Що підтверджує коректність вибору перетворювача частоти.

Уточнимо потужність у сталому режимі.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60};$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 970}{60} = 101,6 \text{ рад/с};$$

Визначаємо сумарну механічну потужність у сталому русі:

$$P_{\Sigma\text{стале}} = M_{\Sigma\text{стале}} \cdot \omega;$$

$$P_{\Sigma\text{стале}} = 366 \cdot 101,6 = 37,2 \text{ кВт.}$$

Для обраного режиму роботи (5 с розгін/гальмування та 20 с сталого режиму) сумарна механічна енергія на валу для обох двигунів складає $P_{\text{мех}} = 0,316 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$. З врахуванням ККД двигуна $\eta_{\text{дв}} = 0,925$ та перетворювача частоти $\eta_{\text{пч}} = 0,97$ сумарна механічна енергія на валу для обох двигунів складає:

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{ПЧ}} = \frac{P_{\text{мех}}}{\eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{ПЧ}}};$$

$$P_{\text{ПЧ}} = \frac{0,316}{0,925 \cdot 0,97} = 0,353 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}.$$

Для традиційної контактно-релейної системи керування, під час використання якої спостерігаються пускові втрати, ударні струми, механічні гальмування і менший коефіцієнт потужності приймають збільшення втрат на 20 -30 % і отримаємо $P_{\text{КРС}} = 0,42 \dots 0,46 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$.

Таким чином очікувана економія складає:

$$\Delta P = P_{\text{КРС}} - P_{\text{ПЧ}};$$

$$\Delta P = 0,42 \dots 0,46 - 0,353 = 0,07 \dots 0,14 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}.$$

Відносна економія енергії складає:

$$E = \frac{P_{\text{КРС}} - P_{\text{ПЧ}}}{P_{\text{КРС}}} \cdot 100;$$

$$E = \frac{0,42 \dots 0,46 - 0,353}{0,42 \dots 0,46} \cdot 100 = \frac{0,07 \dots 0,14}{0,42 \dots 0,46} \cdot 100 \approx 17 \dots 20 \, \%.$$

Очікувана економія енергії складає 17...20 %, що засвідчує доцільність використання частотних перетворювачів ATV71HD75N4 по 75 кВт для двох кранових двигунів A280M6K по 64 кВт. Крім економічного ефекту отримаємо також наступні переваги:

менші пускові струми;

плавний розгін двигуна;

менш ударні навантаження на двигун;

точне регулювання швидкості і можливість відмовитись від редуктора;

значно менші втрати в перехідних режимах.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Модернізація сучасних електроприводів призначена не лише для поліпшення експлуатаційних і технологічних умов роботи електроприводів, а й підвищення їх енергоефективності.

В роботі було проведено вибір обладнання для модернізації електропривода переміщення візка мостового крану. Було досліджено моменти та потужності, які необхідні для роботи електропривода, побудовано тахограму руху і діаграму навантаження під час руху візка мостового крану.

На основі проведених досліджень було обрано крановий двигун A280M6K, побудовано його механічну характеристику та механічні характеристики при керування за допомогою частотного перетворення (закон Костенко). Запропоновано використовувати по одному двигуну на кожне приводне колесо візка мостового крану.

Для керування даним двигуном було обрано частотний перетворювач Altivar 71, (75 кВт / 100 HP, 380–480 В) та гальмівний резистор VW3 A7 804.

Завдяки запропонованим змінам очікується економія електроенергії $\Delta P = 0,07 \dots 0,14 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$, а відносна економія енергії складе $E \approx 17 \dots 20 \%$.

Також запропонована система керування дозволить значно зменшити пускові струми, забезпечити плавні пуски/зупинки/реверси асинхронного двигуна, виключить ударні навантаження, дозволить підвищити точність стабілізації швидкості, відмовитись від редуктора і зменшити втрати в перехідних режимах.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лавріненко Ю. М. Електропривод: підручник / Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І. та ін.; за заг. ред. Ю. М. Лавріненка. – Київ: Видавництво «Ліра-К», 2009. – 504 с.
2. Теорія електропривода / За ред. М.Г.Поповича. – К.: Вища школа, 1993. – 495 с.
3. Булгар В, В. Теорія електроприводу: збірник задач / В. В. БулгарОдеса: Поліграф, 2006. – 408 с.
4. Електропривод робочих машин : підручник / П. О. Василега.– Суми:Сумський державний університет, 2022.– 290 с.
5. Паранчук Я. С. Проектування і розрахунок режимів та характеристик електромеханічних систем та їх елементів: Навчальний посібник / Я. С. Паранчук, А. В. Маляр, Л. Ф. Карплюк, В. О. Чумакевич – Львів: АСВ, 2012. – 250 с.
6. Шабатура Ю. В. Електромеханічні системи загального та військового призначення (проектування, моделювання та дослідження): Навчальний посібник / Ю. В. Шабатура, Я. С. Паранчук, В. О. Чумакевич, В. І Мороз. – Львів: Видавництво “Магнолія 2006”, 2022. – 400 с.
7. Паранчук Я. С. Основи електропривода : навчальний посібник / Я. С. Паранчук, В. О. Чумакевич, І. В. Пулеко, В. Л. Рикун. – Житомир : ЖВІ, 2025. – 260 с.
8. Бондаренко Ю. Л., Чумакевич В. О. Автоматизований електропривод. – Житомир : ЖВІ, 2025. – 228 с.
9. Паранчук Я. С. Електричні машини і трансформатори комплексів озброєння: Навчальний посібник / Я. С. Паранчук, В.О. Чумакевич, Ю. В. Шабатура. – Львів: АСВ, 2013. – 378 с.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Попович М. Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: авч. посібн. / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.- К.: Либідь, 2005-680 с.

11. Конспект лекцій з курсу «Електропривод загальнопромислових механізмів» (для студентів спеціальності 151) / Упоряд. О.В. Суботін, А. В. Люта. - 2-е вид., стер. - Краматорськ: ДДМА, 2020 - 54 с.

12. Конспект лекцій з дисципліни “Теорія електропривода” для студентів спеціальності 7.092203 Електромеханічні системи автоматизації та електропривод / уклад. М. Я. Островерхов. – К. : НТУУ ”КПІ”, 2002. – 203 с.

13. Сайт компанії Schneider Electric Україна. Режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/> (дата звернення: 06.02.2026).

14. Сайт Технічна колекція Schneider Electric. Режим доступу: https://msavtomatika.com.ua/tekhnicheskaja_kollekcija_schneider_electric_-_metodicheskie_ukazaniya, (дата звернення: 06.02.2026).

15. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник/ Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О.І, — К.: Кондор, 2005. — 408 с.

16. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затв. наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06>

17. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затв. наказом Держнаглядохоронпраці України від 09.01.1998 № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98>

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		