

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Метод керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки
Назва теми

КвРАКІТР.2024085.01.08.ПЗ

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»
Шифр, назва

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»
Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»
Назва

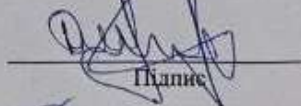
Виконав:

студент II курсу, група АКІТРм-24-1


Підпис

Юрій МОВЧАН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доц.


Підпис

Денис МАКАРИШКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис

Галина РАДЕЛЬЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР


Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 16 » грудня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

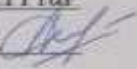
Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Людмила КОРЕЦЬКА 

01 вересня 2025р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Мовчану Юрію Володимирович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Метод керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки

Керівник роботи Макаришкін Денис Анатолійович, канд.техн.наук, доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25.08.2025 р. № 65

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 06.12.2025 р.



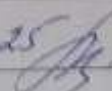
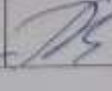
3 Вихідні дані до роботи Аналіз сучасного стану автоматизованих систем керування електроприводом ліфтової установки. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення автоматизованої системи керування електроприводом ліфтової установки.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Проблематика переміщення вантажу із використанням ліфтових установок. Моделювання роботи автоматизованого електроприводу ліфтової установки. Підбір основних елементів автоматизованого електроприводу ліфтової установки. Дослідження системи автоматизації електроприводу ліфтової установки. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Радельчук Г.І., доцент кафедри АКІТтаР	<u>9.12.25</u> 	<u>10.12.25</u> 

7 Дата видачі завдання 01 вересня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

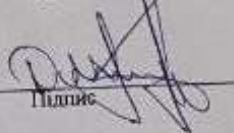
Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1 Вступ	15.09.2025р.	виконано
2 Проблематика переміщення вантажу із використанням ліфтових установок	30.09.2025р.	виконано
3 Моделювання роботи автоматизованого електроприводу ліфтової установки	16.10.2025р.	виконано
4 Підбір основних елементів автоматизованого електроприводу ліфтової установки	01.11.2025р.	виконано
5 Дослідження системи автоматизації електроприводу ліфтової установки	12.11.2025р.	виконано
6 Висновки	14.11.2025р.	виконано
7 Оформлення пояснювальної записки до КРМ	25.11.2025р.	виконано
8 Оформлення презентаційних матеріалів	01.12.2025р.	виконано

Студент


Підпис

Юрій МОВЧАН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Денис МАКАРИШКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки».

Автор роботи: Мовчан Юрій Володимирович.

Керівник роботи: канд. техн. наук Макаришкін Денис Анатолійович

Пояснювальна записка: 100 с., 26 рис., 1 табл., 4 дод., 70 джерел.

Графічна частина: 10 презентаційних слайдів.

ЛІФТОВА УСТАНОВКА, МОДЕЛЮВАННЯ, ЕЛЕКТРОПРИВІД,
ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА
КЕРУВАННЯ.

Об'єкт дослідження: система автоматизації електроприводу ліфтової установки.

Мета роботи: розробити автоматизований електропривід вантажної ліфтової установки. Підбрано основні елементи автоматизованого електроприводу ліфтової установки, а саме виконано підбір частотного перетворювача для автоматизованого електроприводу, вхідних і вихідних дроселів для системи. Проведено розрахунок статичних характеристик та перехідних процесів з інтегральними показниками роботи електроприводу ліфтової установки.

Виконано дослідження системи автоматизації електроприводу ліфтової установки, а саме виконано підбір елементної бази автоматизації електроприводу ліфтової установки та розроблено алгоритм автоматизації керування ліфтовою установкою



Підпис студента

05.12.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ПРОБЛЕМАТИКА ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛІФТОВИХ УСТАНОВОК	7
1.1 Огляд та аналіз існуючих конструкцій ліфтової установки.....	7
1.2 Постановка завдань для керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки	15
1.3 Висновки до першого розділу	16
2 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ.....	17
2.1 Характеристики автоматизованого електроприводу ліфтової установки ...	17
2.2 Розрахунок навантажувальних діаграм швидкості руху.....	17
2.3 Розрахунок навантажувальних діаграм моментів кабіни ЛУ	22
2.4 Розрахунок потужності електродвигуна для приводу ліфтової установки.	26
2.5 Вибір типу електродвигуна для приводу ліфтової установки	29
2.6 Вибір редуктора для приводу ліфтової установки	30
2.7 Визначення приведених статичних і моментів інерції до валу електродвигуна.....	32
2.8 Перевірочний розрахунок електродвигуна на нагрівання та продуктивність.....	38
2.9 Висновки до другого розділу.....	42
3 ПІДБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ.....	43
3.1 Підбір частотного перетворювача для автоматизованого електроприводу	43
3.2 Підбір вхідних і вихідних дроселів для системи	47
3.3 Розрахунок статичних характеристик електроприводу ліфтової установки	49
3.4 Розрахунок перехідних процесів роботи електроприводу ліфтової установки	53

3.5 Розрахунок інтегральних показників перехідних процесів	56
3.6 Висновки до третього розділу	60
4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ.....	62
4.1 Характеристика системи автоматизації технологічного процесу	62
4.2 Підбір елементної бази автоматизації електроприводу ліфтової установки	64
4.2.1 Вибір блоку керування	65
4.2.2 Вибір датчиків технологічної інформації.....	67
4.2.3 Вибір енкодера.....	67
4.2.4 Вибір пристрою контролю завантаження кабіни ЛУ	68
4.2.5 Вибір приводу дверей кабіни ЛУ	69
4.2.6 Вибір гальма	70
4.2.7 Вибір блоку живлення.....	70
4.3 Розроблення алгоритму автоматизації керування ліфтовою установкою...	72
4.3.1 Складання списку сигналів системи автоматизації керування ЛУ.....	72
4.3.2 Розроблення функціонального блоку автоматичного та ручного керування системи автоматизації ЛУ.....	76
4.3.3 Розроблення блоку керування «аварії»	86
4.3.4 Розроблення блоку індикації	87
4.4 Висновки до четвертого розділу.....	88
ВИСНОВКИ	90
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	92
Додаток А Стаття в журналі вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.....	101
Додаток Б Технічні дані обладнання	109
Додаток В Технічні характеристики	113
Додаток Г Сигнали та команди для програми керування.....	117

ВСТУП

Загально відомо, що ліфтова установка (ЛУ) – це суцільна електромеханічна система, яка поділяється на механічну (кабіна, противага, кінематичні зв'язки та редуктор) та електричну (електродвигун (ЕД) і статичний перетворювач) підсистеми [1-4].

Вантажні ЛУ виготовляються різної вантажопідйомності, розраховані на дві та більше зупинок і можуть бути виконані для роботи з провідником або без нього. Кабіни ЛУ виготовляються, відповідно, різних розмірів залежно від вантажопідйомності, габаритів вантажів, що перевозяться, оснащені однією або двома дверима (так звані наскрізні кабіни) [1-4].

Переміщення кабіни ЛУ виконується спеціальною підйомною лебідкою, що забезпечує передачу зусиль від приводного ЕД кабіни за допомогою спеціального підйомного каната [1-4].

У нерегульованому електроприводі ЛУ зі швидкістю руху до 2 м/с електричною підсистемою є одно- або двошвидкісний асинхронний електродвигун (АЕД) з короткозамкненим ротором.

В даний час все більше переходять на використання частотно-регульованого АЕД, так як таке рішення дозволяє поліпшити зручність пересування та точність зупинки кабіни, а також має певний енергозберігаючий ефект [5-10].

Метою роботи є розв'язання задачі проєктування автоматизованого електроприводу вантажної ліфтової установки.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- огляд та аналіз конструкції ЛУ, підбір вихідних даних для проєктування;
- вибір типу ЕД, розрахунок потужності ЕД, підбір редуктора, приведення моментів до валу ЕД, виконання попередньої перевірки ЕД на нагрів і продуктивність, вибір основних елементів електроприводу, виконання розрахунку статичних і динамічних характеристик електроприводу ЛУ в

програмному середовищі MATLAB, розрахунок інтегральних показників перехідних процесів;

- опис системи автоматизації ЛУ, розробка списку сигналів системи автоматизації, розробка алгоритму автоматизації керування ЛУ, розробка функціональної схеми автоматизації ЛУ, вибір елементної бази автоматизації ЛУ;

- розроблення схеми електричної принципової та переліку елементів.

Об'єктом дослідження є процеси керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки.

Предметом дослідження є методи та алгоритми керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки.

Методи досліджень. Використовувались основні положення теорії моделювання процесів, загальної теорії систем, системного аналізу (ієрархічності, декомпозиції та ін.). Внаслідок проведення моделювання процесу та розроблення методів керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки вантажного ліфту використано методи концептуального моделювання, теоретико-множинні підходи, алгебру систем, принципи формування логічного висновку, евристичні оцінки.

Наукова новизна отриманих результатів: розроблено модель системи автоматичного керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки вантажного ліфту в режимі реального часу.

Практична значимість отриманих результатів: розробленні програмно-технічні засоби для керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки вантажного ліфту.

Апробація результатів дослідження: опубліковано повнотекстову статтю у фаховому виданні Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» Випуск №4, 2025 рік.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел, чотирьох

додатків. Загальний обсяг роботи складає 100 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 26 рисунків та 1 таблиці, перелік джерел посилань вміщує 70 найменувань.

У вступі сформульовано мету та завдання досліджень, обґрунтована актуальність поставленої задачі, представлено основні результати та значення.

У першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи описано проблематику переміщення вантажу із використанням ліфтових установок, для чого було проведено огляд та аналіз існуючих конструкцій ліфтової установки. Проведено постановку завдань для керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки.

У другому розділі кваліфікаційної роботи виконано моделювання роботи автоматизованого електроприводу ліфтової установки, а саме охарактеризовано автоматизований електропривід ліфтової установки, розраховано навантажувальні діаграми швидкості руху та моментів кабіни ЛУ, потужності електродвигуна для приводу ліфтової установки, обрано тип електродвигуна та редуктора для приводу ліфтової установки, визначено приведені статичні і моменти інерції до валу електродвигуна, проведено розрахунок електродвигуна на нагрівання та продуктивність.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи магістра проведено підбір основних елементів автоматизованого електроприводу ліфтової установки, а саме виконано підбір частотного перетворювача для автоматизованого електроприводу, вхідних і вихідних дроселів для системи.

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи наведено дослідження системи автоматизації електроприводу ліфтової установки, а саме підбір елементної бази автоматизації електроприводу ліфтової установки та розробка алгоритму автоматизації керування ліфтовою установкою.

1 ПРОБЛЕМАТИКА ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛІФТОВИХ УСТАНОВОК

1.1 Огляд та аналіз існуючих конструкцій ліфтової установки

Як відомо, ліфт – підйомний механізм, призначений для переміщення людей або вантажу по вертикальному напрямку [1-4]. В рамках кваліфікаційної роботи буде розглянуто конструкцію вантажного ліфту 12-поверхового житлового будинку. Відомо, що все обладнання ЛУ знаходиться в шахті і машинному відділенні, яке може розташовуватися в залежності від особливостей виконуваної роботи. Підйом ліфта здійснюється за допомогою ЕД, який з'єднаний безпосередньо з підйомним механізмом або через редуктор [1-4].

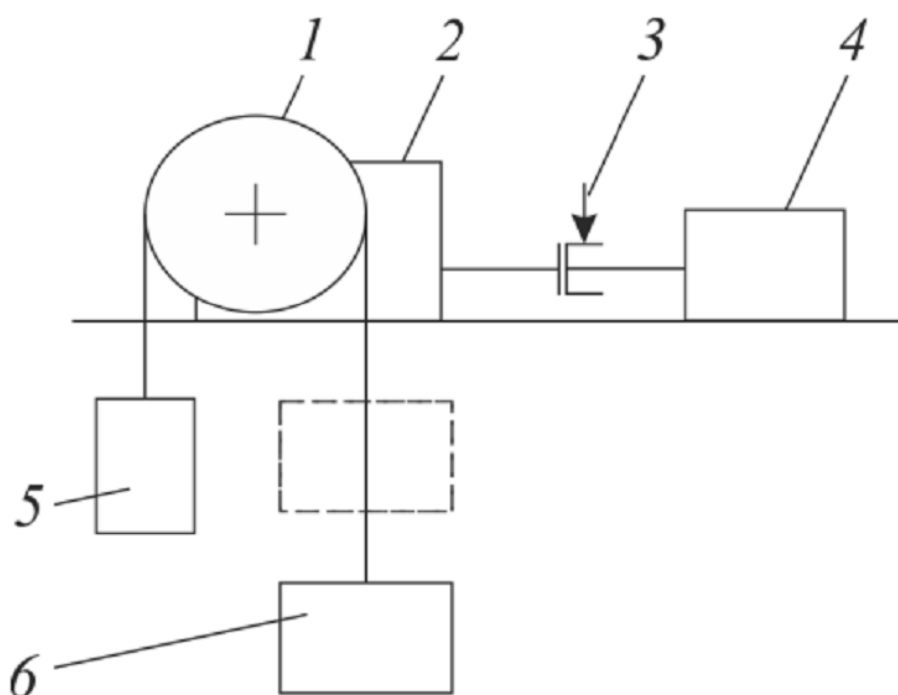


Рисунок 1.1 – Кінематична схема ЛУ: 1 – шків; 2 – редуктор; 3 – шків для гальмування; 4 – ЕД; 5 – кабіна; 6 – противага

Найчастіше використовують до встановлення кінематичні схеми з верхнім розташуванням приводу, так як таке розташування підвищує ККД ЛУ за рахунок зменшення числа перегинів каната. Рух від ЕД 4 через гальмівний шків 3,

редуктор 2, сполучну муфту передається на шків 1, який за допомогою канатів приводить в рух кабіна 5 і противага 6 (рис. 1.1) [1-4].

При наявності встановленої противаги система врівноважена, оскільки сила тяжіння противаги дорівнює силі тяжіння кабіни з вантажем, отже, ЕД необхідно буде тільки збільшувати крутний момент, який буде компенсувати силу тертя в механічній передачі. В іншому випадку ЕД необхідно буде розвивати додатковий електромагнітний момент через силу тяжіння кабіни, що призводить до збільшення потужності, габаритів, вартості встановленого ЕД [1-10].

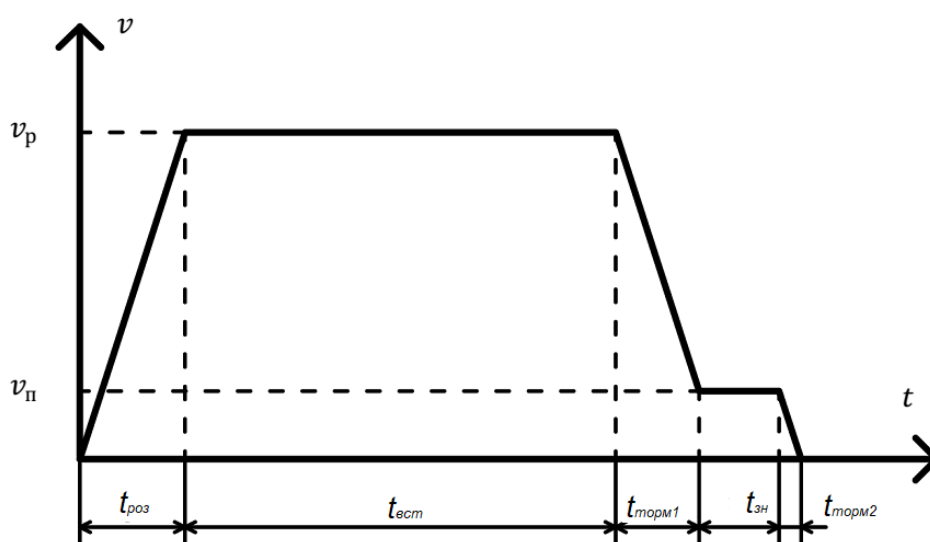


Рисунок 1.2 – Циклограма роботи ЛУ [1-4]

Через нерівномірність навантаження системи ЛУ використання противаги хоч і не повністю, але зменшує величину навантаження на ЕД. Також зменшуються масо-габаритні характеристики і величини моментів, які прикладаються до електромагнітного гальма при вимкненому ЕД [1-4].

Режим роботи ЕП ЛУ залежить від призначення підйомника і умов його використання. Так, для вантажних ЛУ характерний рівномірний графік навантаження із певною циклічністю через транспортування деталей [1-4].

Можна виділити наступні етапи руху ЛУ (рис. 1.2) [1-4]:

- розгін до встановленого рівня швидкості ($t_{роз}$);
- рух з встановленим рівнем швидкості ($t_{вст}$);
- перехід на знижений рівень швидкості ($t_{торм1}$);
- рух на зниженому рівні швидкості ($t_{зн}$);
- гальмування з необхідною точністю ($t_{торм2}$).

Технічні характеристики автоматизованої системи керування ЛУ

Загально відомо, основні технічні характеристики ЛУ [1-4]:

- вантажопідйомність - максимальна маса вантажу, яку здатна підняти ЛУ;
- швидкість руху кабіни - визначається зі стандартного ряду величин.

Знижений рівень швидкості призначено для точної зупинки кабіни ЛУ. Також для ревізії обладнання шахти ЛУ передбачена ревізійний рівень швидкості до 0,36 м/с [1-4];

- висота підйому кабіни - залежить від архітектурних рішень конструкції будівлі.

Електропривід ЛУ повинен відповідати наступним вимогам [5-10]:

- можливість роботи на реверс;
- можливість розгону і гальмування (для ЛУ характерна велика кількість пусків і зупинок);
- забезпечення плавності вертикального руху кабіни без будь-яких ривків;
- вказана точність зупинки;
- забезпечення мінімального часу перехідних процесів з урахуванням обмеження по допустимому рівню прискоренню;
- наявність зворотного зв'язку (забезпечує контроль положення і рівня швидкості, а також досягається зручність пересування і точність зупинки).

Точність зупинки кабіни ЛУ повністю залежить від рівня швидкості руху кабіни, гальмівного моменту і інерції кабіни із вантажем, тому при великих рівнях швидкостей потрібно знижувати рівень швидкості перед повною зупинкою для забезпечення точної зупинки кабіни ЛУ в встановленому діапазоні

меж. Діапазон регулювання рівнів швидкості електроприводу зазвичай більше 10 значень. Лише використання замкнутих систем керування (СК) електроприводом дозволяє здійснити вказану продуктивність [1-4].

Кожна схема керування ЛУ включає в себе набір блоків, призначених для виконання певних операцій (рис. 1.3) [1-4].

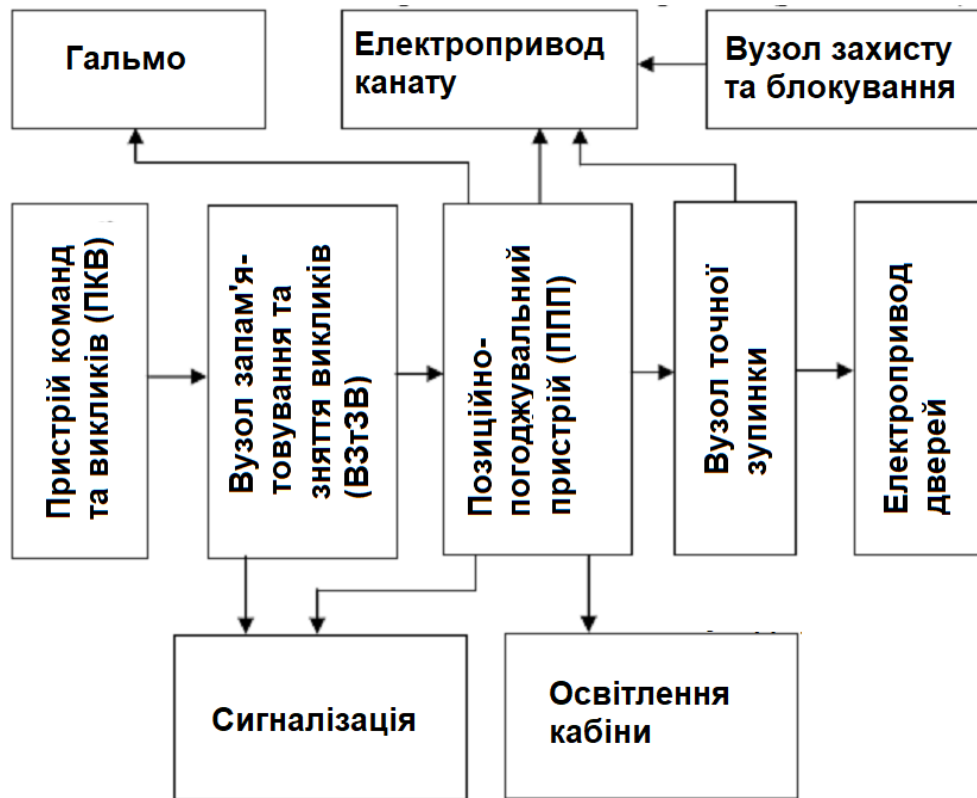


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд структурної схеми ЛУ [1-4]

Пристрій команд та викликів (ПКВ) подає сигнал для початку руху ліфтової установки. Зазвичай ПКВ – це кнопки керування, кнопкові пости чи панелі [1-4].

Далі сигнал надходить до вузла запам'ятовування та зняття викликів (ВЗтЗВ) і наказів [1-4].

Позиційно-погоджувальний пристрій (ППП) виявляє місцезнаходження кабіни в шахті ліфту і приводить кабіну в потрібний напрямок руху [1-4].

З виходу ППП здійснюється включення електроприводу підйомного

канату і керування механічним гальмом. В електроприводах, що мають перехід на понижений рівень швидкості, використовується вузол точної зупинки. При зупинці кабіни ЛУ здійснюється накладення механічного гальма і відключення електроприводу канату [1-4, 5-10].

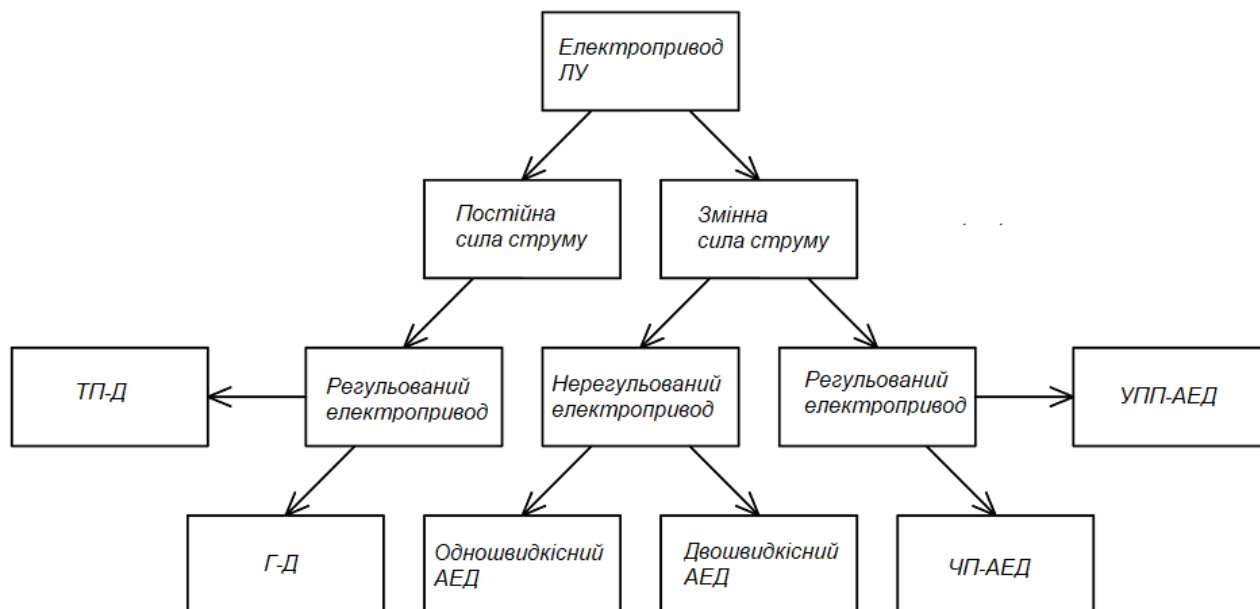


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд класифікації електроприводів ЛУ

Після зупинки кабіни ЛУ автоматично вмикається електропривод для дверей шахти та кабіни. У ЛУ, де керування дверима виконується лише в ручному режимі, даний вузол відсутній [1-4].

За безпеку роботи ЛУ відповідає вузол захисту і блокування, який забороняє рух електроприводу канату при відсутності кабіни на вказаному поверсі чи відкриття дверей шахти, перевищення допустимого рівня швидкості, при натисканні аварійної кнопки «Стоп» і спрацьовуванні захисту, здійснює зупинку кабіни при обриві контактів [1-4].

Блок сигналізації призначений для сповіщення пасажирів про зайнятість кабіни, напрямку руху ЛУ, прийняття викликів, стан пристроїв. Для пасажирів та обслуговуючого персоналу про місцезнаходження кабіни в даний момент часу видає позиційна світлова сигналізація [1-4].

Класифікація варіантів електроприводу ЛУ представлена на рисунку 1.4.

Не регульований електропривід ЛУ змінної сили струму (рис. 1.4) - айпростіша система електроприводу ЛУ має АЕД із короткозамкненим ротором, який виконується з відносно великим значенням пускового моменту при невеликому значенні пускової сили струму і має підвищене ковзання. Пуск даного АЕД здійснюється безпосередньо подачею номінального рівня напруги на обмотку статора, а гальмування відбувається зняттям рівня напруги з обмотки статора і накладенням механічного гальма, що в свою чергу призводить до зносу колодок гальма. Також до недоліків даної системи електроприводу можна додати недостатньо високу точність зупинки, оскільки при різному завантаженні кабіни це призводить до різних величин гальмівного шляху. Тому дану систему використовують, зазвичай, в тихохідних ліфтах (швидкість руху до 0,5 м/с) при невеликій інтенсивності роботи і достатньо низькій висоті підйому [1-4].

Найбільш поширена система електроприводу ЛУ із двошвидкісним АЕД, який оснащено на статорі двома обмотками з різними значеннями пар полюсів (зазвичай в 3 чи 4 рази), що дозволяє при подачі номінального рівня напруги на відповідну обмотку забезпечити необхідну швидкість руху ЛУ (робочу або знижену) [5-10].

Регульований електропривід ЛУ постійної сили струму (рис. 1.4) - в електроприводі постійної сили струму використовують, зазвичай, дві системи, а саме тиристорний перетворювач - електродвигун (ТП-ЕД) чи генератор - електродвигун (Г-ЕД), причому перша система електроприводу більш поширена, ніж друга система. Це обумовлено малою інерційністю ТП в порівнянні з Г постійної сили струму, більш високим значенням ККД системи ТП-ЕД, ніж у системи Г-ЕД, меншим шумом і вібрацією за рахунок відсутності додаткового обертового перетворювача [5-10].

Однак система електроприводу ТП-Д володіє цілим рядом недоліків: за рахунок наявності напівпровідникових ключів знижується коефіцієнт потужності системи електроприводу, виникають вищі гармонічні складові, отже,

використання даної системи електроприводу при слабкій мережі живлення неактуально [1-4].

Також через односторонню провідність напівпровідникових ключів для використання реверсу ЕД необхідно ускладнювати схему керування електроприводом. У такому випадку використовують реверсивний перетворювач, що оснащено двома комплектами напівпровідникових мостів [1-4].

ТП забезпечує плавну зміну рівня напруги на якорі ЕД постійної сили струму, отже, плавну зміну величини швидкості. Електропривод постійної сили струму володіє хорошими регульовальними характеристиками і може забезпечити оптимальну діаграму руху з високою точністю зупинки кабіни [1-4].

Регульований електропривід ЛУ змінної сили струму (рис. 1.4) - широке використання отримали регульовані асинхронні електроприводи ЛУ (зі швидкістю руху в діапазоні від 1 до 2 м/с), оскільки дані системи дозволяють підтримувати величину прискорення в перехідних процесах на рівні, близькому до допустимого, і практично виключити розкид діаграм руху при зміні завантаження кабіни. Таким чином, зменшуючи час переміщення кабіни і підвищуючи продуктивність ЛУ [1-4].

Перевагою ЧП є відсутність стрибків сили струму в перехідних режимах, що дає збільшення терміну служби ЕД і комутаторної апаратури за рахунок зменшення динамічного навантаження на механічні частини електроприводу ЛУ [5-10].

Регулювання координат здійснюється за допомогою зміни величин частоти і напруги за наступним законом $U/f = const$ таким чином механічна характеристика ЕД при збереженні величини критичного моменту переміщається вздовж осі ординат. Для отримання необхідної величини частоти використовується широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), де імпульси рівнів напруги мають однакову амплітуду, а ширина змінюється з метою зміни середнього значення рівня напруги, отже, для отримання близького до

синусоїдального значення рівня напруги необхідно спочатку створювати короткі, потім широкі і потім знову короткі імпульси. Оскільки частота ШІМ достатньо висока (приблизно 6 кГц), то АЕД внаслідок своєї інерційності не буде реагувати на швидку зміну рівня напруги [11-15].

Дану СК виконують замкнутою з метою отримання високих динамічних властивостей, близьких до характеристик регульованого електроприводу постійної сили струму (рис. 1.5) [11-15].

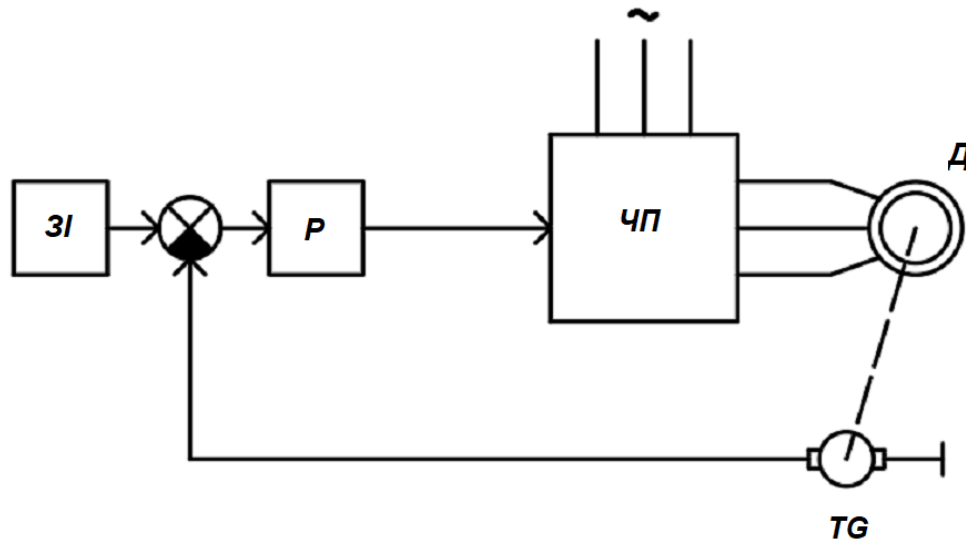


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд замкнутої система керування асинхронним електроприводом ЛУ

ЗІ подає на вхід СК необхідну діаграму руху електроприводу ЛУ. Внаслідок цього замкнутий контур постійно відпрацьовує завдання, забезпечуючи діаграму, близьку до оптимальної і мало залежну від завантаження kabini, оскільки замкнута СК забезпечує зменшення впливу збурень на вихідну величину [11-15].

Зміна рівня напруги на обмотці статора може бути забезпечена більш простим тиристорним перетворювачем напруги змінної сили струму, який дозволяє підтримувати значення моменту АЕД і постійність величини прискорення в період перехідного процесу. Також даний тиристорний перетворювач може забезпечити режим динамічного гальмування АЕД, тим

самим, при зміні кута керування тиристорів можна змінювати величину гальмівного моменту і фіксувати прискорення в період перехідного процесу [16-21].

СК тиристорного перетворювача напруги змінної сили струму є безконтактна комутаційна апаратура, яка забезпечує комутацію АЕД. Також для виконання роботи реверсу АЕД потрібний монтаж додаткової апаратури [11-15].

Безпечна експлуатація електроприводу ЛУ - для забезпечення безпечної експлуатації електроприводу ЛУ висувуються ряд наступних вимог [1-4]:

- рівень напруги силових електричних ланцюгів не повинен перевищувати 660 В;

- гальмування кабіни повинно супроводжуватися накладенням механічного гальма, а відключення ЕД при гальмуванні відбувається тільки після накладення механічного гальма;

- зняття механічного гальма повинно виконуватись тільки після створення електромагнітного моменту ЕД, достатнього для початку руху даного ЕД;

- при перевантаженні ЕД або виникненні КЗ в ЕД, в силовому ланцюзі або в ланцюзі керування необхідно автоматичне зняття рівня напруги з ЕД ЛУ з одночасним накладенням механічного гальма.

1.2 Постановка завдань для керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки

- огляд та аналіз конструкції ЛУ, підбір вихідних даних для проектування;
- вибір типу ЕД, розрахунок потужності ЕД, підбір редуктора, приведення моментів до валу ЕД, виконання попередньої перевірки ЕД на нагрів і продуктивність, вибір основних елементів електроприводу, виконання розрахунку статичних і динамічних характеристик електроприводу ЛУ в програмному середовищі MATLAB, розрахунок інтегральних показників перехідних процесів;

- опис системи автоматизації ЛУ, розробка списку сигналів системи автоматизації, розробка алгоритму автоматизації керування ЛУ, розробка функціональної схеми автоматизації ЛУ, вибір елементної бази автоматизації ЛУ;

- розробка схеми електричної принципової та переліку елементів.

1.3 Висновки до першого розділу

Загально відомо, що електропривод постійної сили струму володіє більш широким діапазоном регулювання величини швидкості обертання, на сьогоднішній день даний тип електроприводів складніший і дорожчий у виготовленні та експлуатації, тому перевага віддається регульованому асинхронному електроприводу.

Регульований асинхронний електропривод ЛУ забезпечує оптимальні динамічні характеристики, роботу системи на реверс, а також задану точність зупинки, оскільки ЧП працює з наступним законом керування $U/f = const$ з ШІМ отримує плавне регулювання координат.

Згідно поставленого завдання було розглянуто ЛУ з верхнім розташуванням електроприводу (за рахунок зниження кількості перегинів каната, ККД даної системи вище) і з наявністю встановленої противаги (зменшує необхідну потужність АЕД, шляхом компенсації частини навантаження).

Також в області автоматизації керування електроприводом ЛУ економічно не вигідно, в 12-поверховому житловому будинку, використовувати давачі положення, тому встановлення енкодера з метою переходу системи на знижений рівень швидкості руху буде більш логічним варіантом.

2 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Характеристики автоматизованого електроприводу ліфтової установки

Режим роботи ЛУ завжди визначається складовими тривалості кругового рейсу, тому приймається так званий, поверх посадки, відносно якого задається круговий рейс [1-4].

Найважчим варіантом режиму роботи електроприводу ЛУ буде підйом/спуск із зупинкою на кожному поверсі з максимально можливим встановленим вантажем, але такий режим роботи зустрічається досить рідко і можливий тільки один раз при монтажі та налагодженні всієї системи.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики ЛУ [1-4]

Показник, розмірність		Значення
маса	вантажу, т	1
	противаги, т	1,7
	кабіни, т	1,2
висота підйому, м		45
кількість поверхів (найбільша кількість зупинок)		12
величина робочої швидкості, м/с		0,8
величина зниженої швидкості, м/с		0,2
діаметр шківа, м		0,65
діаметр опорного ролику, м		0,1
допустиме прискорення м/с ²		1
число циклів руху, 1/год		25
коефіцієнт тертя в підшипниках		0,02

Враховуючи ці дані, задамо цикл руху ЛУ наступним чином: поверхом посадки буде 2-ий поверх, далі кабіна із максимальним встановленим вантажем піднімається і зупиняється на кожному парному поверсі. При досягненні 12 поверху порожня кабіна опускається і знову буде зупинитись на кожному парному поверсі. При досягненні 2-го поверху цикл руху буде закінчено. Вихідні дані для проєктування вантажної ЛУ представлено в табличному вигляді [1-4].

2.2 Розрахунок навантажувальних діаграм швидкості руху

На основі заданого шляху переміщення кабіни ЛУ L , робочої швидкості $v_{роб}$, зниженої швидкості $v_{нон}$ і допустимого прискорення $\alpha_{дон}$ визначають час перехідних процесів, час усталеного режиму, шлях переміщення ЛУ під час перехідного процесу, шлях переміщення ЛУ під час усталеного режиму [16-21].

Визначимо час розгону електроприводу ЛУ згідно формул 2.1, 2.2:

$$t_{розг} = \frac{v_{роб}}{\alpha_{дон}}; \quad (2.1)$$

$$t_{розг} = \frac{0,8}{1} = 0,8с. \quad (2.2)$$

Визначимо час переходу з $v_{роб}$ на $v_{нон}$ згідно формули 2.3, 2.4 [16-21]:

$$t_{зал1} = \frac{v_{роб} - v_{нон}}{\alpha_{дон}}; \quad (2.3)$$

$$t_{зал1} = \frac{0,8 - 0,2}{1} = 0,6с. \quad (2.4)$$

Визначимо час гальмування зі $v_{нон}$ до повної зупинки кабіни згідно формули 2.5:

$$t_{зал2} = \frac{v_{нон}}{\alpha_{дон}}; \quad (2.5)$$

$$t_{гал2} = \frac{0,2}{1} = 0,2с.$$

Визначимо величину шляху розгону електроприводу до встановленої швидкості 2.6:

$$L_{розг} = \frac{v_{роб}^2}{2 \cdot \alpha_{дон}}; \quad (2.6)$$

$$L_{розг} = \frac{0,8^2}{2 \cdot 1} = 0,32м.$$

Визначимо величину шляху переходу з $v_{роб}$ на $v_{пон}$ згідно формули 2.7:

$$L_{гал1} = \frac{v_{роб}^2 - v_{пон}^2}{2 \cdot \alpha_{дон}}; \quad (2.7)$$

$$L_{гал1} = \frac{0,8^2 - 0,2^2}{2 \cdot 1} = 0,3м.$$

Визначимо величину шляху гальмування зі $v_{пон}$ до повної зупинки 2.8:

$$L_{гал2} = \frac{v_{пон}^2}{2 \cdot \alpha_{дон}}; \quad (2.8)$$

$$L_{гал2} = \frac{0,2^2}{2 \cdot 1} = 0,02м.$$

Прийmemo час руху на зниженій швидкості згідно довідників [16-21]:

$$t_{\text{пон}} = 1\text{с.}$$

Тоді шлях, що проходить кабіна ЛУ на зниженій швидкості, буде рівним 2.9:

$$L_{\text{пон}} = v_{\text{пон}} \cdot t_{\text{пон}}; \quad (2.9)$$

$$L_{\text{пон}} = 0,2 \cdot 1 = 0,2\text{м.}$$

Оскільки в заданому циклі руху ЛУ долає відстань у висоту лише два поверхи, то визначимо дану відстань згідно формули 2.10:

$$L = 2 \cdot \frac{h}{N}; \quad (2.10)$$

$$L = 2 \cdot \frac{45}{12} = 7,5\text{м.}$$

Тоді загальна величина шляху, що проходить кабіна ЛУ на робочій швидкості, буде рівною 2.11:

$$L_{\text{уст}} = L - L_{\text{розг}} - L_{\text{гал1}} - L_{\text{гал2}} - L_{\text{пон}}; \quad (2.11)$$

$$L_{\text{уст}} = 7,5 - 0,32 - 0,3 - 0,02 - 0,2 = 5,56\text{м.}$$

Визначимо час руху кабіни ЛУ на робочій швидкості використовуючи формулу 2.12:

$$t_{yct} = \frac{L_{yct}}{v_{pob}}; \quad (2.12)$$

$$t_{yct} = \frac{5,56}{0,8} = 6,95c.$$

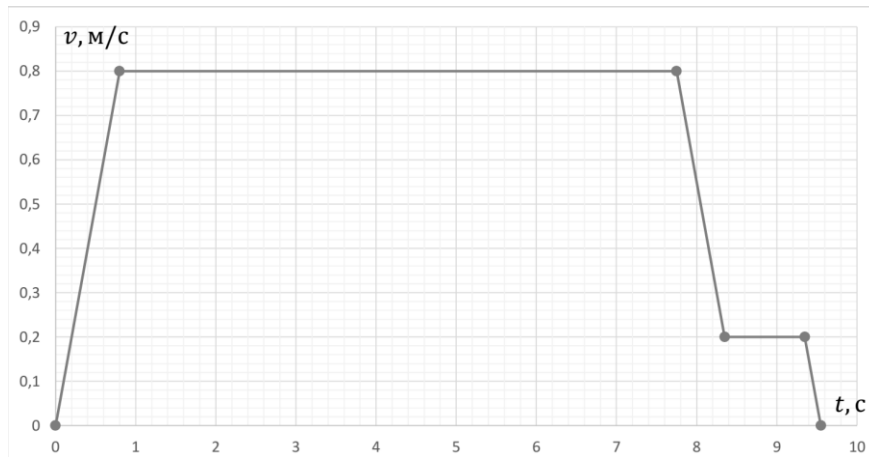


Рисунок 2.1 – Графічна залежність навантажувальної діаграми швидкості при підйомі кабіни ЛУ

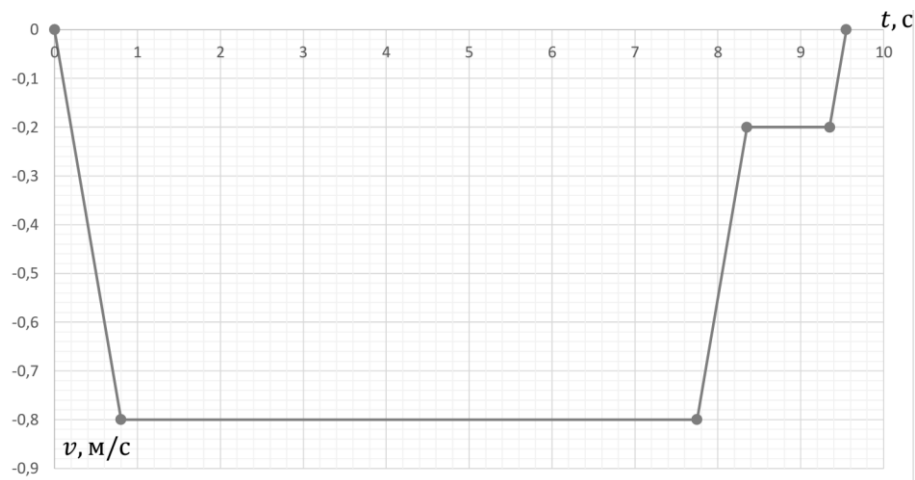


Рисунок 2.2 – Графічна залежність навантажувальної діаграми швидкості при спуску кабіни ЛУ

При спуску кабіни ЛУ розраховані час та відстані руху такі ж, як і при підйомі. Побудуємо графічні залежності навантажувальних діаграм при підйомі і спуску кабіни ЛУ на відстань у 2 поверхи (рис. 2.1, 2.2).

2.3 Розрахунок навантажувальних діаграм моментів кабіни ЛУ

Розрахуємо статичні та динамічні моменти кабіни вантажної ЛУ в двох режимах роботи: підйом з максимально завантаженою кабіною ЛУ та спуск з абсолютно порожньою кабіною ЛУ на висоту 6,4 м [1-4].

Визначимо активний момент – момент сили тяжіння кабіни ЛУ, вантажу та встановленої противаги визначимо за наступною формулою 2.13 [22-26]:

$$M_{cm1} = \frac{(m_{вант} + m_{каб} - m_{прот}) \cdot g \cdot D}{2}, \quad (2.13)$$

де $g = 9,81$ Н/м - прискорення вільного падіння.

Визначимо активний момент – момент сили тяжіння кабіни ЛУ та встановленої противаги визначимо за наступною формулою 2.14 [22-26]:

$$M_{cm2} = \frac{(m_{каб} - m_{прот}) \cdot g \cdot D}{2}. \quad (2.14)$$

Визначимо реактивний момент – момент сил тертя в підшипниках згідно формули 2.15 [22-26]:

$$M_{mn} = \frac{m_1 \cdot \mu_{підш} \cdot g \cdot d}{2}, \quad (2.15)$$

де m_1 - маса деталей і вузлів, що спираються на встановлені підшипники.

Сила тертя в парах ковзання становить близько 0,75% від сили тяжіння встановленої противаги. Тоді момент сили тертя в парах ковзання буде рівним формулі 2.16 [22-26]:

$$M_{стб} = \frac{0,0075 \cdot m_{прот} \cdot g \cdot D}{2}. \quad (2.16)$$

Визначимо сумарний статичний момент при підйомі кабіни 2.17 [22-26]:

$$M_{p1} = M_{ст} + M_{мн} + M_{стб}. \quad (2.17)$$

Визначимо сумарний статичний момент при спуску кабіни 2.18 [22-26]:

$$M_{p2} = M_{ст} - M_{мн} - M_{стб}. \quad (2.18)$$

Знайдемо момент інерції руху кабіни вгору згідно формули 2.19[22-26]:

$$J_{po1} = (m_{вант} + m_{каб} + m_{прот}) \cdot \frac{D^2}{4}. \quad (2.19)$$

Знайдемо момент інерції руху кабіни ЛУ вниз згідно формули 2.20 [22-26]:

$$J_{po2} = (m_{каб} + m_{прот}) \cdot \frac{D^2}{4}. \quad (2.20)$$

Визначимо динамічний момент руху кабіни згідно формули 2.21 [22-26]:

$$M_{дин} = J_{po} \cdot \frac{2 \cdot \alpha_{дон}}{D}. \quad (2.21)$$

Підставимо числа та виконаємо необхідні розрахунки:

$$M_{cm1} = \frac{(1000 + 1200 - 1700) \cdot 9,81 \cdot 0,65}{2} = 1594H \cdot м;$$

$$M_{cm2} = \frac{(1200 - 1700) \cdot 9,81 \cdot 0,65}{2} = -1594H \cdot m;$$

$$M_{mn} = \frac{(1000 + 1200 + 1700) \cdot 0,1 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 38H \cdot m;$$

$$M_{cm6} = \frac{0,0075 \cdot 1700 \cdot 9,81 \cdot 0,65}{2} = 41H \cdot m;$$

$$M_{p1} = 1594 + 38 + 41 = 1673H \cdot m;$$

$$M_{p2} = -1594 - 38 - 41 = -1673H \cdot m;$$

$$J_{po1} = (1000 + 1200 + 1700) \cdot \frac{0,65^2}{4} = 412кг \cdot м^2;$$

$$J_{po2} = (1200 + 1700) \cdot \frac{0,65^2}{4} = 306кг \cdot м^2;$$

$$M_{дин1} = 412 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,65} = 1268H \cdot m;$$

$$M_{дин2} = 306 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,65} = 943H \cdot m.$$

Визначимо повний момент кабіни ЛУ згідно формули 2.21 [22-26]:

$$M_{po} = M_p \pm M_{дин}. \quad (2.21)$$

Розрахуємо повний момент при підйомі кабіни ЛУ на ділянках прискорення/гальмування, а також при спуску кабіни ЛУ на ділянках прискорення/гальмування згідно формули (2.20):

$$M_{po1} = 1673 + 1268 = 2941H \cdot m;$$

$$M_{po2} = 1673 - 1268 = 406H \cdot m;$$

$$M_{po1} = -1673 - 943 = -2616H \cdot m;$$

$$M_{po1} = -1673 + 943 = -731H \cdot m.$$

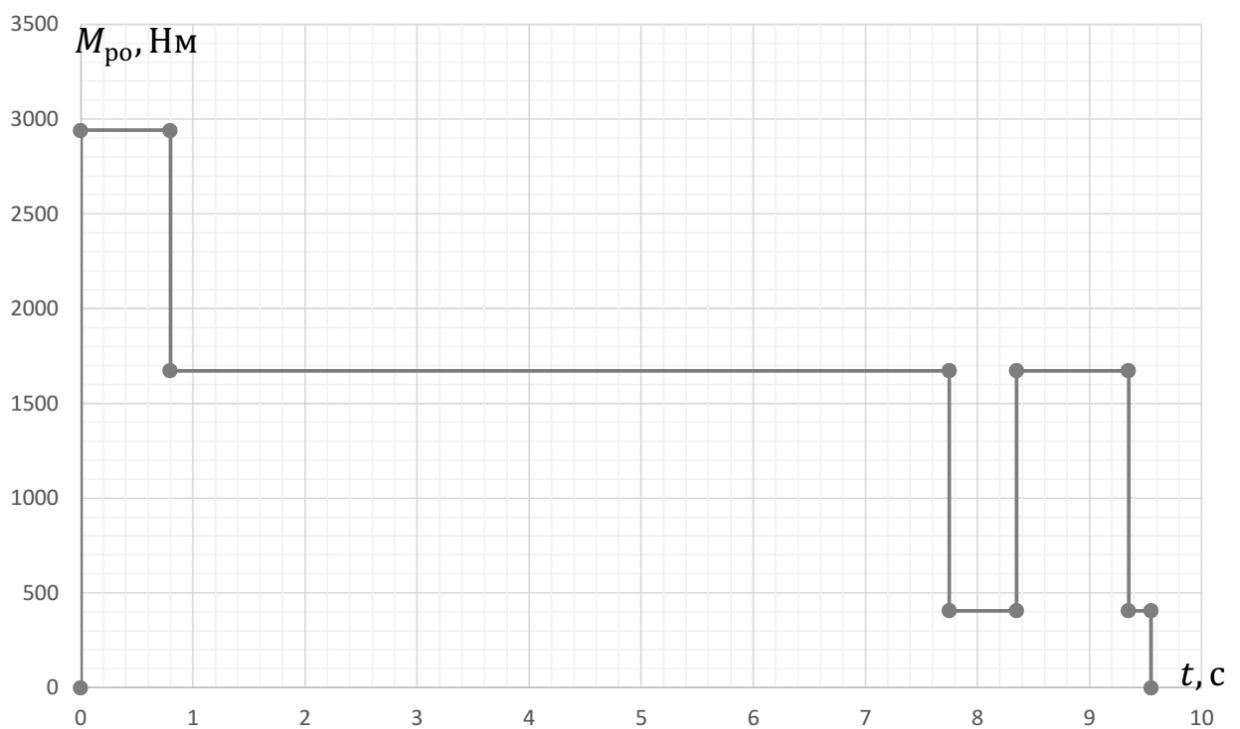


Рисунок 2.3 – Графічна залежність навантажувальної діаграми моментів руху кабіни ЛУ вгору

Згідно отриманих аналітичних даних побудуємо графічні залежності навантажувальних діаграм моментів руху кабіни ЛУ вгору (рис. 2.3) та вниз (рис. 2.4).

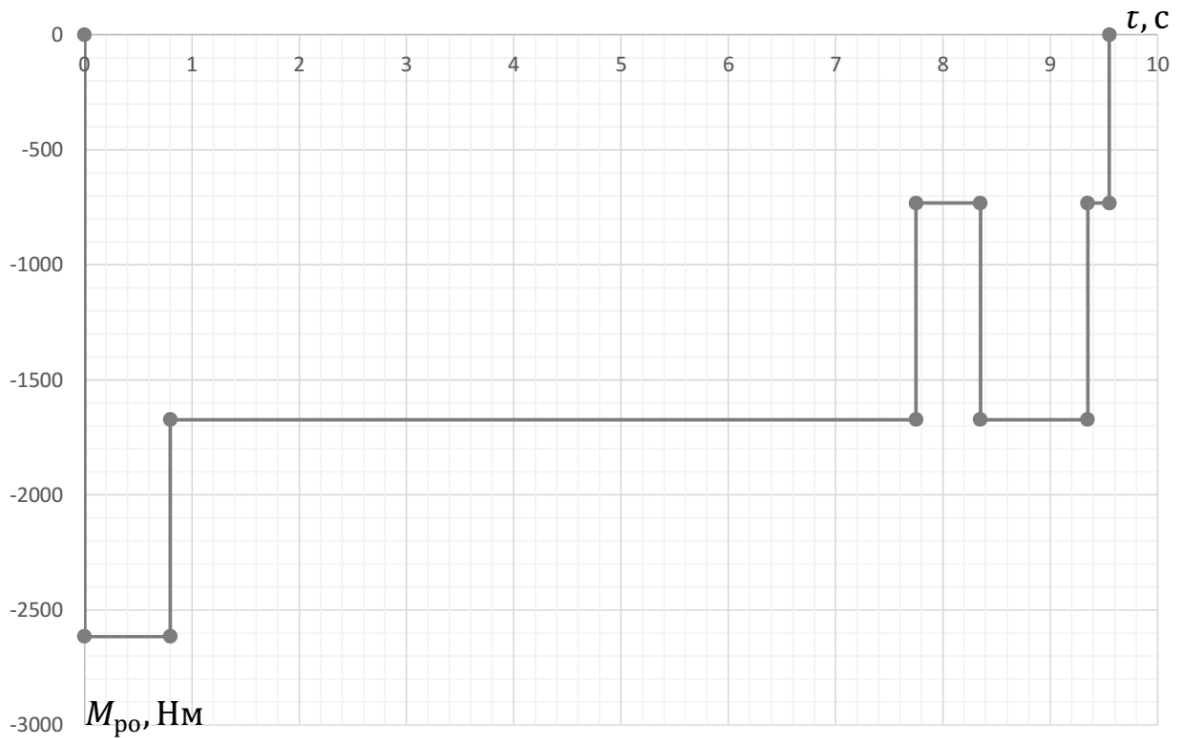


Рисунок 2.4 – Графічна залежність навантажувальної діаграми моментів руху кабіни ЛУ вниз

2.4 Розрахунок потужності електродвигуна для приводу ліфтової установки

Потужність ЕД приводу ЛУ необхідно вибрати таким чином, щоб він не перегрівався, тому потужність необхідно вибрати з певним запасом. Оскільки за нагрівання ЕД відповідають втрати, то їх можна врахувати при розрахунку потужності ЕД 3-ма розрахунковими методами: еквівалентної сили струму, еквівалентних втрат та еквівалентного моменту. Для перших двох методів розрахунку необхідно знати номінальні параметри ЕД, тому скористаємося третім методом. В якості еквівалентного моменту буде виступати середньоквадратичний момент ЕД. Можна було брати і середній момент, але тоді не враховувалися б виникаючі негативні моменти, що неприпустимо. Далі інші два методи будуть виступати в якості перевірочних розрахунків, які показують проходить ЕД по величині нагрівання чи ні.

Середньоквадратичне значення моменту, в якому враховані статичні навантаження і частина динамічних навантажень визначається згідно формули 2.22 [22-26]:

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}}, \quad (2.22)$$

де M_k - момент ЕД на k -ій ділянці ($k=1, \dots, m$, де під ділянкою розуміється проміжок часу, протягом якого діюче значення моменту РО є сталим, при цьому відбувається тільки один з наступних процесів: відбувається розгін/гальмування, або робота з постійною величиною швидкості);

t_k - тривалість k -ої ділянки.

Розрахуємо середньоквадратичний момент з урахуванням заданого циклу:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k &= 7 \cdot (2941^2 \cdot 0,8 + 1673^2 \cdot 6,95 + 406^2 \cdot 0,6 + 1673^2 \cdot 1 + \\ &+ 406^2 \cdot 0,2 + (-2616)^2 \cdot 0,8 + (-1673)^2 \cdot 6,95 + (-731)^2 \cdot 0,6 + \\ &+ (-1673)^2 \cdot 1 + (-731)^2 \cdot 0,2) = 402 \cdot 10^6 H^2 \cdot m^2 \cdot c; \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^m t_k = 7 \cdot (0,8 + 6,95 + 0,6 + 1 + 0,2 + 0,8 + 6,95 + 0,6 + 1 + 0,2) = 133,7 c;$$

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{402 \cdot 10^6}{133,7}} = 1734 H \cdot m.$$

Визначимо час циклу при заданому z – кількості циклів роботи кабіни ЛУ на годину згідно формули 2.23 [22-26]:

$$t_y = \frac{3600}{z}; \quad (2.23)$$

$$t_y = \frac{3600}{25} = 144c.$$

Визначимо тривалість включення фактично з урахуванням циклу згідно формули 2.24 [8]:

$$TB_{\text{факт}} = \sum_{k=1}^m \frac{t_k}{t_y} \cdot 100\%; \quad (2.24)$$

$$TB_{\text{факт}} = \frac{7 \cdot 2 \cdot (0,8 + 6,95 + 0,6 + 1 + 0,2)}{90} \cdot 100\% = 92,85\%.$$

Розрахункова потужність ЕД може бути визначена за наступним співвідношенням 2.25 [22-26]:

$$P = k_1 \cdot M_{\text{срkv}} \cdot \frac{2 \cdot v_{\text{роб}}}{D} \cdot \sqrt{\frac{TB_{\text{факт}}}{TB_{\text{кат}}}}, \quad (2.25)$$

де $v_{\text{роб}}$ - робоча швидкість руху; D - діаметр шестерні вихідного валу редуктора;

$TB_{\text{кат}}$ - найближче до $TB_{\text{факт}}$ каталожне значення відносної тривалості включення для ЕД обраної серії; $k = 1,3 \dots 1,5$ - коефіцієнт, що враховує динамічні навантаження, обумовлені обертовими елементами електроприводу (ЕД, редуктор), а також втрати потужності в редукторі.

Розрахункова потужність ЕД при найближчому $TB_{\text{кат}} = 100\%$:

$$P = 1,5 \cdot 1734 \cdot \frac{2 \cdot 0,8}{0,65} \cdot \sqrt{\frac{92,85}{100}} = 6171 \text{Вт}.$$

Були отримані необхідні графічні залежності навантажувальних діаграм швидкості руху кабіни ЛУ. За отриманими графічними залежностями навантажувальних діаграм моменту і методом середньоквадратичного моменту була визначена необхідна потужність ЕД при $TB_{кат} = 100\%$ - 6171 Вт. З урахуванням запасу проведемо вибір необхідного до монтажу АЕД з короткозамкненим ротором.

2.5 Вибір типу електродвигуна для приводу ліфтової установки

Вибір типу ЕД за видом сили струму і принципом дії для регульованих електроприводів виконується за наступними критеріями: характер зміни навантаження, діапазон та точність при регулюванні і т.д.

Згідно з «ПУЕ» [27] ЕД постійної сили струму вибираються в тих випадках, коли ЕД змінної сили струму не забезпечує необхідних характеристик до механізму або не є економічним, тому до даного типу механізму краще встановити ЕД змінної сили струму. Оскільки електропривод ЛУ має велику кількість пусків/гальмувань і досить не малі навантаження, синхронний ЕД не підходить до встановлення, тому найбільш доцільно вибрати АЕД із короткозамкненим ротором. При недостатньому пусковому моменті, або до неприпустимого стрибка сили струму, або недостатньої частоти включення доцільніше використовувати АЕД із фазним ротором [5-10].

Виберемо до встановлення АЕД з краново-металургійної серії із короткозамкненим ротором типу АМТК. Тоді для повторно-короткочасного ($S3 = 100\%$) режиму роботи з каталогу вибираємо 12-ти полюсний АЕД типу АМТК180МА12 (рис. 2.5), технічні характеристики якого наведені в таблиці Б.1 (див. Додаток Б) [28].



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд АЕД з короткозамкненим ротором типу АМТК180МА12 [28]

Обраний АЕД має наступні переваги [28]:

- високий ККД, що призводить до економії електроенергії;
- знижені шумові показники;
- забезпечує високі параметри регулювання, оскільки даний АЕД призначений для роботи в системі «ЧП-АЕД»;
- застосування ізоляції класу нагрівостійкості F, отже, даний АЕД більш надійний і довговічний, оскільки має підвищену термічну перевантажувальну здатність.

2.6 Вибір редуктора для приводу ліфтової установки

В електроприводі ЛУ найчастіше встановлюють черв'ячний тип редуктора. Це пов'язано з рядом переваг такої конструкції [29]:

- забезпечує безшумну роботу;
- стійкість до ударного навантаження;
- мінімізація зносу за рахунок мінімальної кількості рухомих частин;
- малі габарити при переданій потужності і заданому передаточному

відношенні.

Недоліки черв'ячного редуктора [29]:

- невисокий ККД;
- нелінійна залежність ККД від швидкості обертання черв'яка.

Передаточне число редуктора визначається за номінальною швидкістю обертання обраного ЕД $\omega_{ном}$ і основною швидкістю руху виконавчого органу $v_{роб}$ згідно формули 2.26 [29]:

$$j_p = \frac{\omega_{ном} \cdot D}{2 \cdot v_{роб}}, \quad (2.26)$$

де D - діаметр колеса, що встановлене на вихідному валу редуктора і перетворює обертання валу в поступальний рух виконавчого органу.

Визначимо передаточне число редуктора:

$$j_p = \frac{\frac{480}{9,55} \cdot 0,65}{2 \cdot 0,8} = 20,42.$$

Вибираємо з довідникової літератури [30] черв'ячний редуктор типу VF-150-20 (рис. 2.6), дані якого наведені в таблиці Б.2 (див. Додаток Б).

Переваги обраного черв'ячного редуктора типу VF-150-20 [30]:

- низькі масо-габаритні характеристики;
- при відносно високому ККД редуктора досить високий крутний момент на вихідному валу.



Рисунок 2.6 - Загальний вигляд черв'ячного редуктора типу VF-150-20

2.7 Визначення приведених статичних і моментів інерції до валу електродвигуна

Загально відомо, що при складанні розрахункової схеми механічної частини електроприводу моменти опору руху РО (або статичні моменти) і моменти інерції приводяться до головного валу ЕД [22-26, 29].

Знайдемо середню швидкість ЕД при русі кабіни на робочій швидкості 2.27 [22-26, 29]:

$$\omega_{сєррєб} = \frac{2 \cdot j_p \cdot v_{рєб}}{D}; \quad (2.27)$$

$$\omega_{сєррєб} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 0,8}{0,65} = 49,23 \text{ рад/с.}$$

Визначимо середню швидкість ЕД при русі кабіни на зниженій швидкості 2.28 [22-26, 29]:

$$\omega_{серпон} = \frac{2 \cdot j_p \cdot v_{пон}}{D}; \quad (2.28)$$

$$\omega_{серпон} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 0,2}{0,65} = 12,31 \text{ рад/с.}$$

Швидкості при русі кабіни ЛУ вниз будуть рівними швидкостям при русі кабіни ЛУ вгору, але з протилежним знаком.

Статичні моменти робочої машини, приведені до головного валу ЕД, без урахування втрат в редукторі ($\eta = 1$), розраховуються за наступною формулою 2.29 [22-26, 29]:

$$M_{рс} = \frac{M_{дин}}{j_p}. \quad (2.29)$$

- визначимо момент при русі кабіни ЛУ вгору:

$$M_{рс1} = \frac{1673}{20} = 83,65 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- визначимо момент при русі кабіни ЛУ вниз:

$$M_{рс2} = \frac{-1673}{20} = -83,65 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Визначимо статичні моменти на головному валу АЕД з урахуванням втрат у редукторі ($\eta < 1$) в залежності від режиму роботи електроприводу [22-26, 29].

Розрахуємо статичний момент на валу в режимі руху згідно формули [29] 2.30:

$$M_{BC} = \frac{M_{pc}}{\eta_p}. \quad (2.30)$$

При роботі електроприводу в режимах гальмування втрати в редукторі викликають зменшення навантаження АЕД, при цьому моменти на валу визначають за наступною формулою 2.31 [22-26, 29]:

$$M_{BC} = M_{pc} \cdot \eta_p. \quad (2.31)$$

Визначимо момент при русі кабіни ЛУ вгору в режимах руху:

$$M_{BC} = \frac{83,65}{0,8} = 104,56H \cdot m.$$

Визначимо момент при русі кабіни ЛУ вгору в режимах гальмування:

$$M_{BC} = 83,65 \cdot 0,8 = 66,92H \cdot m.$$

Визначимо момент при русі кабіни ЛУ вниз в режимах руху:

$$M_{BC} = \frac{-83,65}{0,8} = -104,56H \cdot m.$$

Визначимо момент при русі кабіни ЛУ вниз в режимах гальмування:

$$M_{BC} = -83,65 \cdot 0,8 = -66,92H \cdot m.$$

У режимі руху роботи АЕД статичний момент збільшується на величину

моменту втрат холостого ходу (ΔM_x покривається за рахунок електромагнітного моменту АЕД). При роботі АЕД в режимі гальмування статичний момент зменшується на величину моменту втрат холостого ходу (ΔM_x покривається за рахунок статичного моменту робочого органу) 2.32 [22-26, 29]:

$$M_c = M_{BC} \pm \Delta M_x. \quad (2.32)$$

Втрати моменту холостого ходу для АЕД ΔM_x можна приблизно оцінити через втрати потужності в номінальному режимі роботи згідно формули 2.33 [22-26]:

$$\Delta M_x = \frac{\Delta P_{ном}}{2 \cdot \omega_{ном}} = \frac{3 \cdot U_{ном} \cdot I_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном} - P_{ном}}{3 \cdot \omega_{ном}}; \quad (2.33)$$

$$\Delta M_x = \frac{3 \cdot 220 \cdot 21 \cdot 0,65 - 7500}{3 \cdot \frac{480}{9,55}} = 10,01 H \cdot m.$$

Перерахуємо величину моменту:

- при русі кабіни ЛУ вгору в режимах руху:

$$M_c = 104,56 + 10,01 = 114,57 H \cdot m;$$

- при русі кабіни ЛУ вгору в режимах гальмування:

$$M_c = 66,92 - 10,01 = 56,91 H \cdot m;$$

- при русі кабіни ЛУ вниз в режимах руху:

$$M_c = -104,56 - 10,01 = -114,57 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- при русі кабіни ЛУ вгору в режимах гальмування:

$$M_c = -66,92 + 10,01 = -56,91 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Знайдемо сумарний приведений до головного валу АЕД момент інерції системи із співвідношення 2.34 [22-26, 29]:

$$J = \delta \cdot J_{\text{ов}} + J_{\text{прив}}, \quad (2.34)$$

де $J_{\text{ов}}$ - момент інерції ротора АЕД;

$\delta = 1,3 \dots 1,5$ - коефіцієнт, що враховує момент інерції інших елементів електроприводу: гальмівного шківів, муфт, редуктора та ін.;

$J_{\text{прив}}$ - приведений до головного валу АЕД сумарний момент інерції рухомих виконавчих органів робочої машини і пов'язаних з ними рухомих мас.

Визначимо приведений до головного валу АЕД момент інерції РО 2.35 [22-26]:

$$J_{\text{прив}} = \frac{J_{\text{рост}}}{j_p^2}. \quad (2.35)$$

Визначимо моменти інерції при русі кабіни ЛУ вгору:

$$J_{\text{прив1}} = \frac{412}{20^2} = 1,03 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_1 = 1,5 \cdot 0,204 + 1,03 = 1,336 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Визначимо моменти інерції при русі кабіни ЛУ вниз:

$$J_{прив2} = \frac{306}{20^2} = 0,766 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_1 = 1,5 \cdot 0,204 + 0,766 = 1,072 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Тоді знайдемо динамічний момент при русі кабіни ЛУ вгору і вниз відповідно до формул 2.36 [22-26, 29]:

$$M_{дин} = J \cdot \frac{2 \cdot \alpha_{дон} \cdot j_p}{D}; \quad (2.36)$$

$$M_{дин1} = 1,336 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 20}{0,65} = 82,21 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{дин2} = 1,072 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 20}{0,65} = 65,96 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент АЕД, допустимий за величиною прискорення, при якому забезпечується можливість роботи електроприводу із заданим або допустимим прискоренням при розгоні або гальмуванні буде рівним 2.37 [22-26, 29]:

$$M_{дон} = M_c \pm M_{дин}. \quad (2.37)$$

Визначимо допустимий момент для кожної ділянки, де відбувається перехідний процес, а саме:

– момент при розгоні вгору:

$$M_{\text{дон}} = 114,57 + 82,21 = 196,78 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– момент при гальмуванні вгору:

$$M_{\text{дон}} = 56,91 - 82,21 = -25,29 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– момент при розгоні вниз:

$$M_{\text{дон}} = -114,57 - 65,96 = -180,53 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– момент при гальмуванні вниз:

$$M_{\text{дон}} = -56,91 + 65,96 = 9,04 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.8 Перевірочний розрахунок електродвигуна на нагрівання та продуктивність

Метою виконання попередньої перевірки є:

– уточнення навантажувальних діаграм моменту та швидкості АЕД з урахуванням моменту інерції попередньо обраного типу АЕД;

– вивчення наближених способів оцінки часу перехідних процесів.

Приймаємо середні моменти двигуна $M_{\text{сер}}$ в перехідних процесах із задавачем інтенсивності, рівними моментам, допустимим за прискоренням $M_{\text{дон}} = M_{\text{сер}}$ [22-26, 29].

Знайдемо час перехідного процесу згідно формули 2.38 [16-21]:

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_k - \omega_{\text{ном}}}{M_{\text{сер}} - M_c}, \quad (2.38)$$

де ω_k - кінцева швидкість на розглянутій ділянці;

$\omega_{ном}$ - початкова швидкість на розглянутій ділянці;

$M_{сер}$ - середній крутний момент;

M_c - статичний крутний момент.

Тоді згідно формули (2.37) для ділянок перехідними процесами отримаємо:

$$t_{dil1} = 1,336 \cdot \frac{49,23 - 0}{196,78 - 114,57} = 0,8c;$$

$$t_{dil3} = 1,336 \cdot \frac{12,31 - 49,23}{-25,29 - 56,91} = 0,6c;$$

$$t_{dil5} = 1,336 \cdot \frac{0 - 12,31}{-25,29 - 56,91} = 0,2c;$$

$$t_{dil4} = 1c;$$

$$t_{dil6} = 1,072 \cdot \frac{-49,23 + 0}{-180,53 - (-114,57)} = 0,8c;$$

$$t_{dil8} = 1,072 \cdot \frac{-12,31 - (-49,23)}{9,04 - (-56,91)} = 0,6c;$$

$$t_{dil10} = 1,072 \cdot \frac{0 - 12,31}{9,04 - (-56,91)} = 0,2c;$$

$$t_{dil9} = 1c.$$

Визначимо кут повороту валу АЕД за час перехідного процесу згідно формули 2.39 [22-26, 29]:

$$\alpha_i = \frac{(\omega_k + \omega_{ном}) \cdot t_i}{2}. \quad (2.39)$$

Виконаємо розрахунок кутів повороту за формулою (2.38).

$$\alpha_{\text{dil1}} = \frac{49,23 \cdot 0,8}{2} = 19,69 \text{ рад};$$

$$\alpha_{\text{dil3}} = \frac{(49,23 + 12,31) \cdot 0,6}{2} = 18,46 \text{ рад};$$

$$\alpha_{\text{dil5}} = \frac{12,31 \cdot 0,2}{2} = 1,23 \text{ рад};$$

$$\alpha_{\text{dil6}} = \frac{-49,23 \cdot 0,8}{2} = -19,69 \text{ рад};$$

$$\alpha_{\text{dil8}} = \frac{(-49,23 - 12,31) \cdot 0,6}{2} = -18,46 \text{ рад};$$

$$\alpha_{\text{dil10}} = \frac{-12,31 \cdot 0,2}{2} = -1,23 \text{ рад}.$$

Знайдемо кут повороту головного валу АЕД при русі кабіни ЛУ на зниженому рівні швидкості:

$$\alpha_{\text{dil4}} = \omega_{\text{сн}} \cdot t_{\text{dil4}};$$

$$\alpha_{\text{dil4}} = 12,31 \cdot 1 = 12,31 \text{ рад};$$

$$\alpha_{\text{dil9}} = -12,31 \cdot 1 = -12,31 \text{ рад}.$$

Виконаємо перевірку АЕД за продуктивністю: фактичний час роботи електроприводу в циклі згідно формули 2.40 [22-26, 29]:

$$t_{\text{факт}} = 7 \cdot (t_{\text{dil1}} + t_{\text{dil2}} + t_{\text{dil3}} + t_{\text{dil4}} + t_{\text{dil5}} + t_{\text{dil6}} + t_{\text{dil7}} + t_{\text{dil8}} + t_{\text{dil9}} + t_{\text{dil10}}); \quad (2.40)$$

$$t_{\text{факт}} = 7 \cdot (0,8 + 6,95 + 0,6 + 1 + 0,2 + 0,8 + 6,95 + 0,6 + 1 + 0,2) = 133,7 \text{ с}.$$

Визначений аналітично час повністю збігся з часом, прийнятим раніше, а також менше робочого часу, тому перевірка за продуктивністю проведена успішно.

Виконаємо попередню перевірку АЕД за нагріванням. Вона виконується

шляхом порівнянням середньоквадратичного моменту з допустимим моментом АЕД при його роботі з фактичною тривалістю включення $TB_{факт}$ [22-26, 29].

Повинна бути виконана наступна умова 2.41 [22-26, 29]:

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^m t_i}} \leq M_{доп}, \quad (2.41)$$

де $M_{доп}$ – допустимий момент, що розраховується за наступною формулою 2.42:

$$M_{доп} = M_{ном} \cdot \sqrt{\frac{TB_{кат}}{TB_{факт}}} \cdot 0,8. \quad (2.42)$$

Коефіцієнт 0,8 враховується з огляду на те, що ми працюємо з системою ЧП-АЕД, де метод еквівалентного моменту дає суттєві похибки [22-26, 29].

Визначимо середньоквадратичний момент:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m M_i^2 \cdot t_i &= 7 \cdot (196,78^2 \cdot 0,8 + 114,57^2 \cdot 6,95 + (-25,29)^2 \cdot 0,6 + 114,57^2 \cdot 1 + \\ &+ (-25,29)^2 \cdot 0,2 + (-180,53)^2 \cdot 0,8 + (-114,57)^2 \cdot 6,95 + 9,04^2 \cdot 0,6 + \\ &+ (-114,57)^2 \cdot 1 + 9,04^2 \cdot 0,2) = 1,86 \cdot 10^6 H^2 \cdot м^2 \cdot с; \end{aligned}$$

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{1,86 \cdot 10^6}{133,7}} = 118,09 H \cdot м.$$

Тоді згідно із формулою (2.42):

$$M_{дон} = 149 \cdot \sqrt{\frac{100}{92,85}} \cdot 0,8 = 123,71H \cdot м;$$

$$118,09 \leq 123,71H \cdot м.$$

Перевірка по нагріванню АЕД виконана успішно.

2.9 Висновки до другого розділу

Для електроприводу вантажної ЛУ в 12-поверховому житловому будинку було задано умовно «середній» цикл роботи для розрахунку і вибору оптимального ЕД. Ним виявився АЕД із короткозамкненим ротором. Для заданого типу механізму розрахований і обраний АЕД з краново-металургійної серії з короткозамкненим ротором серії АМТК з повторно-короткочасним режимом роботи ($S3=100\%$). Даний вид АЕД спеціально призначений для роботи з частотним перетворювачем.

Обрано конструкцію черв'ячного редуктору і виконано приведення статичних моментів і моментів інерції до головного валу ЕД. За необхідним циклом робота система виконано успішно попередню перевірку на продуктивність і нагрів.

3 ПІДБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Підбір частотного перетворювача для автоматизованого електроприводу

Частотний перетворювач (ЧП) необхідно вибирати з наступних умов [11-15]:

$$U_{\text{ЧПном}} \geq U_{\text{ном}} = 380\text{В}; \quad (3.1)$$

$$I_{\text{ЧПном}} \geq I_{\text{ном}} = 21\text{А}, \quad (3.2)$$

де $U_{\text{ном}}, I_{\text{ном}}$ - номінальні лінійна напруга і фазна сила струму статора ЕД;

$U_{\text{ЧПном}}, I_{\text{ЧПном}}$ - номінальні лінійна напруга і сила струму навантаження ЧП.

Виберемо ЧП фірми-виробника Omron-Yaskawa L7 Varispeed спеціалізованої ліфтової серії CIMR-L7Z4011 (рис. 3.1), технічні характеристики якого представлені в таблиці Б.3 [31].



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд ЧП тип CIMR-L7Z4011 [31]

Даний ЧП обраний до встановлення через наступний ряд переваг [31]:

- економічність (4 вбудованих реле, значна максимально допустима сила струму, спеціалізовані функції керування ліфтовим обладнанням, пряме керування гальмами ЕД і контакторами);

- простота використання (функція автоматичного налаштування без обертання валу);

- вбудовані засоби безпеки (схема керування/діагностики гальма і контакторів, спеціальна захисна схема із використанням IGBT-транзисторів, наявність резервного акумулятору);

- достатньо висока продуктивність (висока точність регулювання рівня швидкості і відмінна збалансованість завдяки функції компенсації ковзання).

Даний ЧП формує синусоїдальну силу струму методом ШІМ і має V/f регулювання [31].

Основні функції керування ЧП тип CIMR-L7Z4011 [31]:

- спеціальні функції і операції, орієнтовані на керування ліфтом;
- функція утримання частоти;
- розгін/гальмування з S-профілем;
- 8 перемикаються фіксованих швидкостей (максимум);
- компенсація ковзання та обертального моменту;
- форсування напруги на низькій частоті;
- гальмування постійною силою струму при запуску/зупинці;
- виявлення зниженого/підвищеного моменту та обмеження моменту;
- автоналаштування (з обертанням або без обертання валу);
- чотири можливі комбінації значень часу розгону/гальмування;
- автоматичне відновлення при збої і функція копіювання параметрів;
- автоматичний перезапуск після збою;
- функція копіювання параметрів механічної системи (збереження в пам'ять енкодера);
- ввімкнення/вимкнення охолоджуючого вентилятора.

Даний тип ЧП володіє наступними захистами [31]:

- захист від перевантаження: помилка OL2 (перевантаження інвертора) при $I_{ном} = 150\%$ від протягом 30 с;
- захист від короткочасного перевищення сили струму: припинення роботи приблизно при $I_{ном} = 200\%$;
- захист заземлення: захист забезпечується вбудованими електронними схемами;
- перегрів ребра охолодження: захист за допомогою встановленого терморезистора;
- захист плавким запобіжником: припинення роботи системи при перегоранні запобіжника;
- захист ЕД: захист від перегріву за допомогою електронного теплового реле;
- захист від підвищеного рівня напруги: припинення роботи якщо в шині постійної сили струму напруга понад $U_{ном} = 820V$;
- захист від зниженого рівня напруги: припинення роботи якщо в шині постійної сили струму напруга нижче $U_{ном} = 380V$;
- запобігання перекиданню ротора: роздільне запобігання перекиданню ротора при розгоні/гальмуванні і в робочому режимі;
- наявність індикатору заряду: світиться при рівні напруги в шині постійної сили струму приблизно $U_{ном} = 10V$ або вище.

Схема підключення ЧП тип CIMR-L7Z4011 представлена на рисунку 3.2. Підключення дискретних входів представлені на рисунку Б.4 (див. Додаток Б) [31].

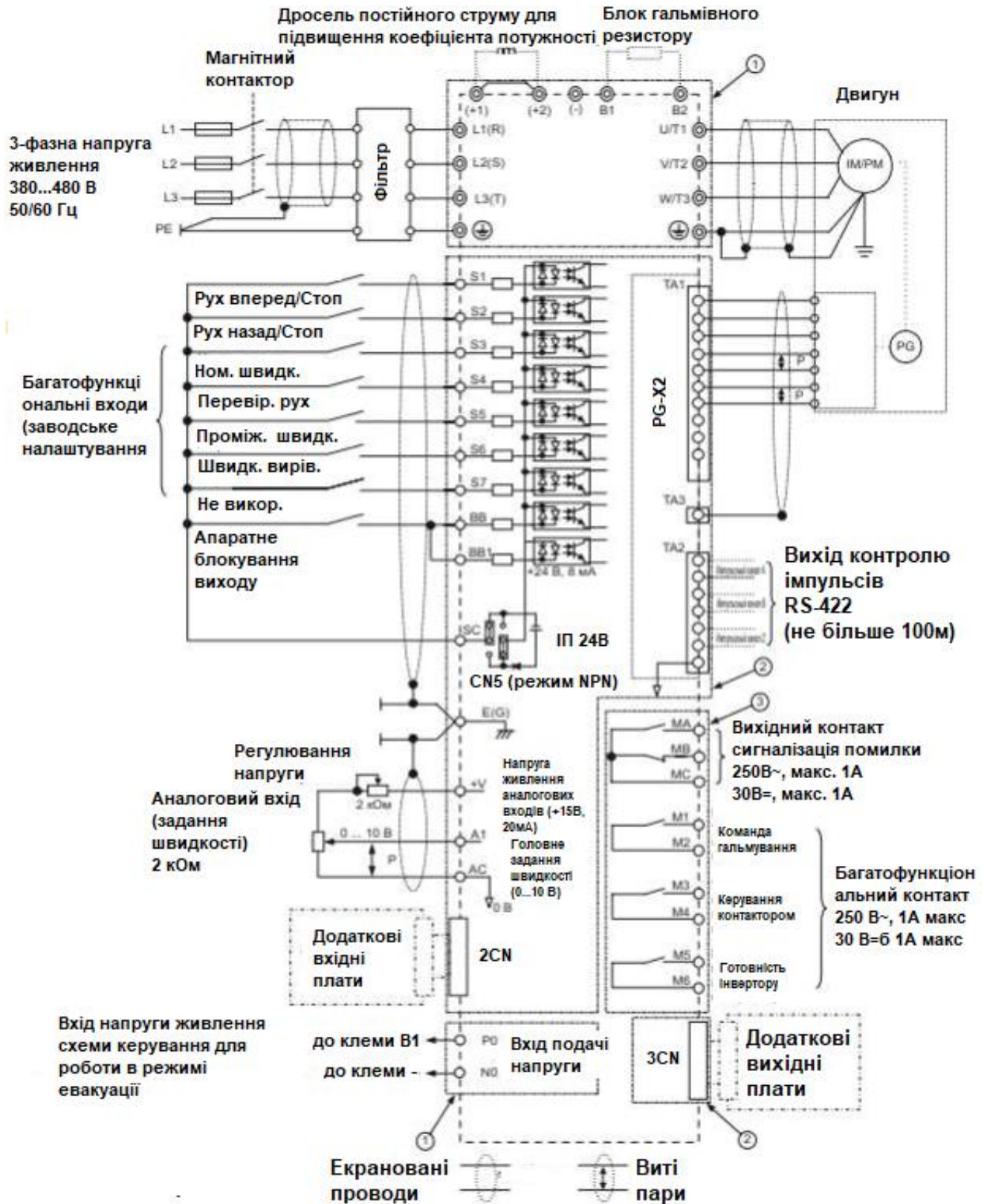


Рисунок 3.2 – Електрична схема підключення ЧП тип CIMR-L7Z4011 [31]

Можливі ситуації, коли ЕД буде переходити в генераторний режим роботи,

тобто енергія від ЕД через інвертор буде надходити в ланку постійної сили струму, отже, підзаряджати конденсатор, і по досягненню рівня напруги в 750 В відкривати гальмівний ключ для передачі енергії в встановлені резистори [11-16]. Для даного типу ЧП фірма-виробник рекомендує встановлювати гальмівний резистор з мінімальним з активним опором 13,6 Ом і номінальною потужністю 11 кВт [31].

3.2 Підбір вхідних і вихідних дроселів для системи

Виберемо мережевий дросель за рекомендацією фірми-виробника Omron [32]. З каталогу ЧП Omron-Yaskawa L7 Varispeed вибирається для типу CIMR-L7Z4011 вибираємо дросель змінної сили струму моделі L7Z-PUZ4011-CE, з наступними характеристиками - 11 кВт, 32 А, 3 мГн [31].

Мережеві дроселі покращують форму сили струму, що споживається самим ЧП, а також при стрибках рівня напруги в мережі, знижують стрибки сили струму [11-16].

Оскільки фірма-виробник Omron [32] не вказав у каталозі ЧП Omron-Yaskawa L7 Varispeed дані щодо дроселя для ЕД, тоді вибір даного вихідного дроселя будемо виконувати згідно наступних умов [31]:

$$U_{DRном} \geq U_{ном} = 380В; \quad (3.3)$$

$$I_{DRном} \geq I_{ном} = 21А, \quad (3.4)$$

де $U_{ном}, I_{ном}$ - номінальні лінійна напруга і фазна сила струму статора ЕД;

$U_{DRном}, I_{DRном}$ - номінальні лінійна напруга і номінальна сила струму дроселя для ЕД.

Також при вихідному діапазоні частот ЧП дросель для ЕД повинен бути

обраний за умовою, що перша гармоніка буде розташована в діапазоні $0...70\text{Гц}$.

Також необхідно враховувати індуктивність дроселя для ЕД, яка вибирається відповідно до діапазону частот ЧП, при цьому дана індуктивність не повинна бути більшою за індуктивність АЕД, оскільки при режимі ослаблення поля (частота буде коливатись в діапазоні $55...70\text{Гц}$) при завищеній індуктивності дроселя для ЕД буде спадати критичний момент АЕД [31].

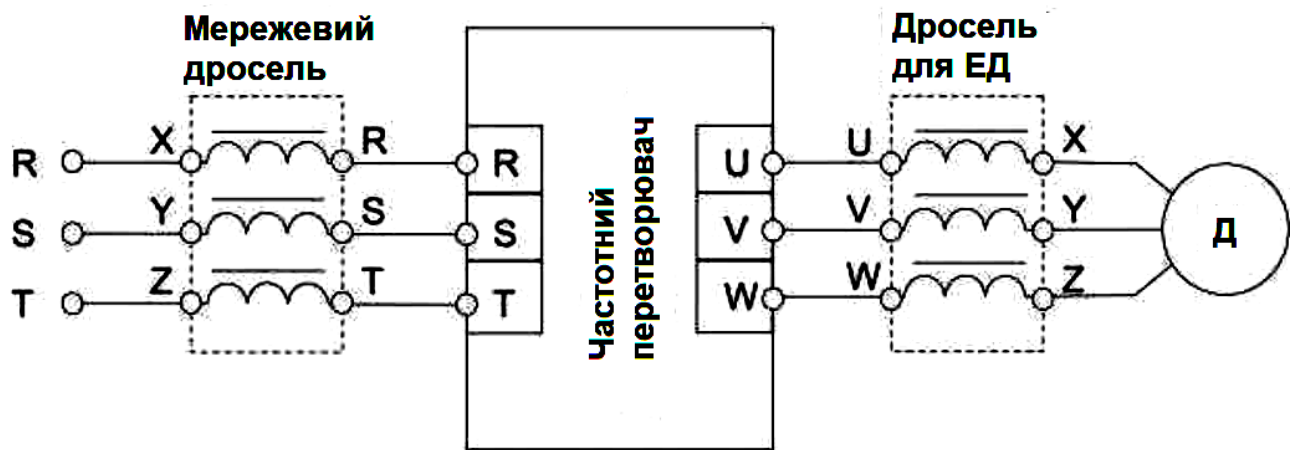


Рисунок 3.3 – Електрична схема підключення вхідного і вихідного дроселів

Виберемо дросель для ЕД за умовою (3.3 та 3.4) з урахуванням запасу по потужності і силі струму тип ІМФ-11/25-4, технічні характеристики якого представлені в таблиці Б.4 (див. Додаток Б) [33].

Дросель для ЕД необхідний до монтажу через наступну низку переваг [33]:

- фільтрація сили струму АЕД для придушення високочастотних гармонік;
- придушення ємнісних сил струмів через наявність «довгої лінії» кабелю АЕД;
- зниження стрибків рівнів напруги на обмотки статора АЕД;
- зниження швидкості наростання і амплітуди струму при виникненні КЗ.

Схема підключення вхідних і вихідних дроселів представлена на рисунку 3.3 [33].

3.3 Розрахунок статичних характеристик електроприводу ліфтової установки

Метою проведення розрахунку характеристик електроприводу ЛУ є забезпечення технологічних завдань, закладених у вимоги до вибраного електроприводу: технологічні швидкості робочого та зворотного ходу в усталеному режимі повинні бути забезпечені із вказаним ступенем точності [11-16].

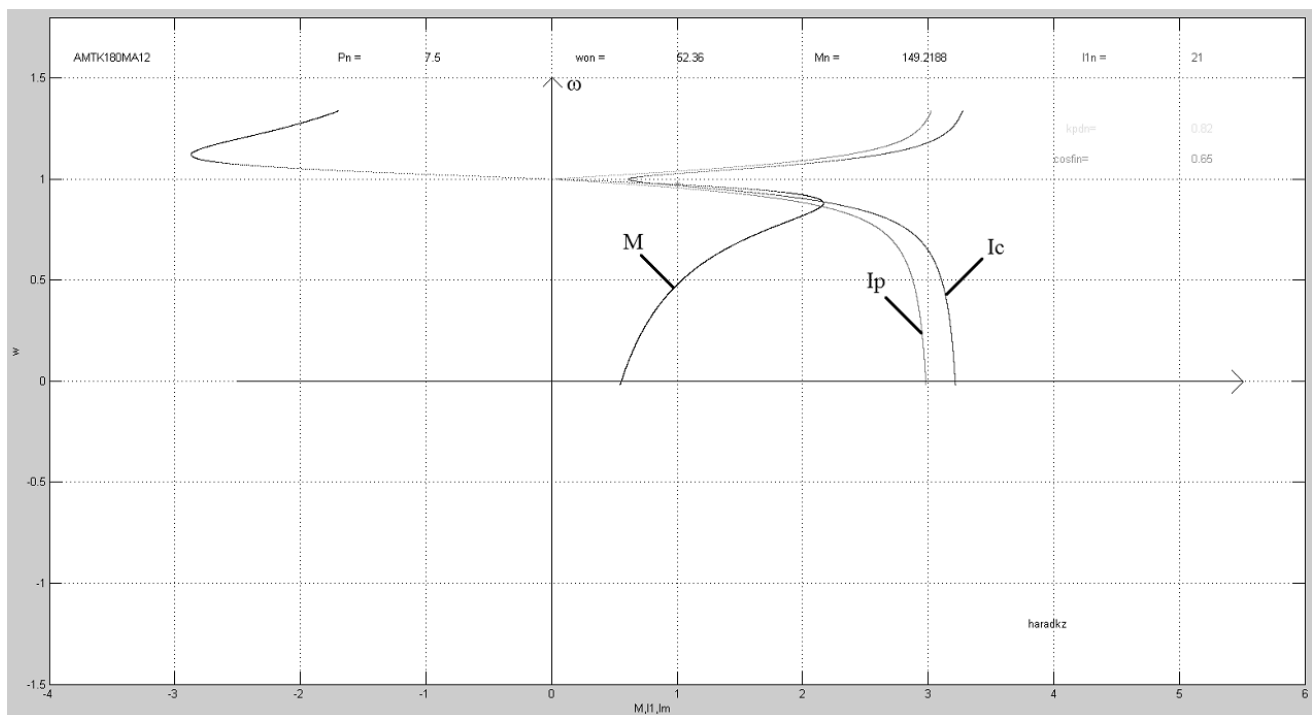


Рисунок 3.4 – Графічні залежності природних механічної та електромеханічної характеристик АЕД

За допомогою природної характеристики оцінюють можливості АЕД при його роботі в механічній системі [1-4]:

- витримувати граничні значення сили струму (чи моменту), які АЕД може розвивати короткочасно;
- забезпечувати переведення АЕД в генераторний режим та ін.

Природні механічні та електромеханічні характеристики були побудовані

за допомогою програми `haradkz.m`, що працює в програмному середовищі MATLAB (рис. 3.4). Оскільки фірми-виробники АЕД найчастіше не вказують реального опору АЕД з короткозамкненим ротором, опір даного АЕД був розрахований в програмі `xrKZAD.m` (див. Додаток Б, табл. Б.5) [34-38].

Визначимо задані координати швидкості руху та моменту, знайдемо регулювання рівнів напруги та частоти (закон регулювання $U/f = const$) і визначимо штучні механічні та електромеханічні характеристики для необхідних координат за допомогою використання програми `haradkz.m` в програмного середовища Matlab [34-38].

Знайдемо координати у відносних одиницях згідно формул 3.5 та 3.6:

$$\bar{M}_{зад} = \frac{M_{зад}}{M_{ном}}; \quad (3.5)$$

$$\bar{\omega}_{зад} = \frac{\omega_{зад}}{\omega_{ном}}. \quad (3.6)$$

Визначимо швидкість холостого ходу АЕД згідно формули 3.7:

$$\omega_{0ном} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}; \quad (3.7)$$

$$\omega_{0ном} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{6} = 52,33 \text{ рад/с.}$$

Тепер визначимо координати у відносних одиницях для робочої та зниженої швидкостей руху під час підйому та спуску ЛУ згідно формул:

$$\bar{M}_{зад_дiл2} = \frac{114,57}{149} = 0,769;$$

$$\bar{M}_{зад_дiл4} = \frac{114,57}{149} = 0,769;$$

$$\bar{M}_{зад_дiл7} = \frac{-114,57}{149} = -0,769;$$

$$\bar{M}_{зад_дiл9} = \frac{-114,57}{149} = -0,769;$$

$$\bar{\omega}_{зад_дiл2} = \frac{49,23}{52,33} = 0,941;$$

$$\bar{\omega}_{зад_дiл4} = \frac{12,31}{52,33} = 0,235;$$

$$\bar{\omega}_{зад_дiл7} = \frac{-49,23}{52,33} = -0,941;$$

$$\bar{\omega}_{зад_дiл9} = \frac{-12,31}{52,33} = -0,235.$$

Визначимо величину номінального ковзання згідно формули 3.8:

$$s_{ном} = \frac{\omega_{0ном} - \omega_{ном}}{\omega_{0ном}}; \quad (3.8)$$

$$s_{ном} = \frac{52,33 - \frac{480}{9,55}}{52,33} = 0,0396.$$

Знайдемо величину падіння швидкості руху ЛУ відносно швидкості холостого ходу ЛУ в відносних одиницях згідно формули 3.9:

$$\Delta\bar{\omega} = s_{ном} \cdot \bar{M}_{ном}; \quad (3.9)$$

$$\Delta\bar{\omega} = 0,0396 \cdot 1 = 0,0396.$$

Тепер знайдемо швидкість холостого ходу ЛУ для заданих точок у відносних одиницях згідно формули 3.10:

$$\bar{\omega}_{0зад} = \bar{\omega}_{зад} + \Delta\bar{\omega} \cdot \bar{M}_{зад}; \quad (3.10)$$

$$\bar{\omega}_{0зад_дiл2} = 0,941 + 0,0396 \cdot 0,769 = 0,971;$$

$$\bar{\omega}_{0зад_дiл4} = 0,235 + 0,0396 \cdot 0,769 = 0,266;$$

$$\bar{\omega}_{0зад_дiл7} = -0,941 + 0,0396 \cdot (-0,769) = -0,971;$$

$$\bar{\omega}_{0зад_дiл9} = -0,235 + 0,0396 \cdot (-0,769) = -0,266.$$

Так як $\bar{f}_{зад} = \bar{\omega}_{0зад} = \bar{U}_{зад}$, то рівні частоти і напруги для заданих точок будуть визначені із наступних формул 3.11 та 3.12:

$$f_{зад} = \bar{f}_{зад} \cdot f_{ном} = \bar{\omega}_{0зад} \cdot f_{ном}; \quad (3.11)$$

$$U_{зад} = \bar{U}_{зад} \cdot U_{ном} = \bar{\omega}_{0зад} \cdot U_{ном}; \quad (3.12)$$

$$f_{зад_дiл2} = 0,971 \cdot 50 = 48,588 \text{Гц};$$

$$U_{зад_дiл2} = 0,971 \cdot 220 = 213,654 \text{В};$$

$$f_{зад_дiл4} = 0,266 \cdot 50 = 13,281 \text{Гц};$$

$$U_{зад_дiл4} = 0,266 \cdot 220 = 58,436 \text{В};$$

$$f_{зад_дiл7} = -0,971 \cdot 50 = -48,588 \text{Гц};$$

$$U_{зад_дiл7} = -0,971 \cdot 220 = -213,654 \text{В};$$

$$f_{\text{зад}_\text{дл}9} = -0,266 \cdot 50 = -13,281 \text{Гц};$$

$$U_{\text{зад}_\text{дл}9} = -0,266 \cdot 220 = -58,436 \text{В}.$$

Отримані параметри з урахуванням знаку напрямку занесемо в таблицю Б.6 (див. Додаток Б) і побудуємо графічні залежності характеристик через задані точки за допомогою програми `haradkz.m` в програмному середовищі MATLAB [34-38].

3.4 Розрахунок перехідних процесів роботи електроприводу ліфтової установки

Розрахунок перехідних процесів потрібен для наступних процесів [16-21]:

- оцінки механічних і електричних перевантажень;
- визначення характеру і часу їх протікання;
- правильного вибору потужності АЕД, ЧП і апаратури СК;
- оцінки відповідності потужностей вимогам технологічного процесу робочого органу.

Для формування необхідного закону зміни рівня напруги керування на вході СК підключається спеціальний задавач інтенсивності (ЗІ), який здатний змінювати стрибок рівня напруги керування за лінійним законом. При досягненні необхідного рівня напруги керування вихід ЗІ припиняє наростання рівня напруги керування, таким чином на ЧП подається необхідний закон зміни рівня напруги, де в свою чергу значення рівня напруги керування визначає встановлену швидкість руху АЕД. Час наростання швидкості руху АЕД буде визначатися за допомогою постійної часу ЗІ згідно формули 3.13[16-21]:

$$T_{\text{ЗІ}} = \frac{\omega_{\text{ном}}}{\varepsilon_0} = \frac{J \cdot \omega_{\text{ном}}}{J \cdot \varepsilon_0} = \frac{J \cdot \omega_{\text{ном}}}{M_{\text{дин}}} \cdot \frac{M_{\text{ном}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{J \cdot \omega_{\text{ном}}}{M_{\text{ном}}} \cdot \frac{M_{\text{ном}}}{M_{\text{дин}}} = \frac{T_{\text{дин}}}{\bar{M}_{\text{дин}}}, \quad (3.13)$$

де $M_{дин}$ - відносне значення динамічного моменту АЕД;

$T_{дин}$ - механічна стала часу, згідно формули 3.14:

$$T_{дин} = J \cdot \frac{\omega_{ном}}{M_{ном}}. \quad (3.14)$$

Визначимо сталі часу:

$$T_{дин} = 1,336 \cdot \frac{52,33}{149} = 0,469с;$$

$$T_{3I} = \frac{1,41 \cdot 149}{82,21} = 0,85с.$$

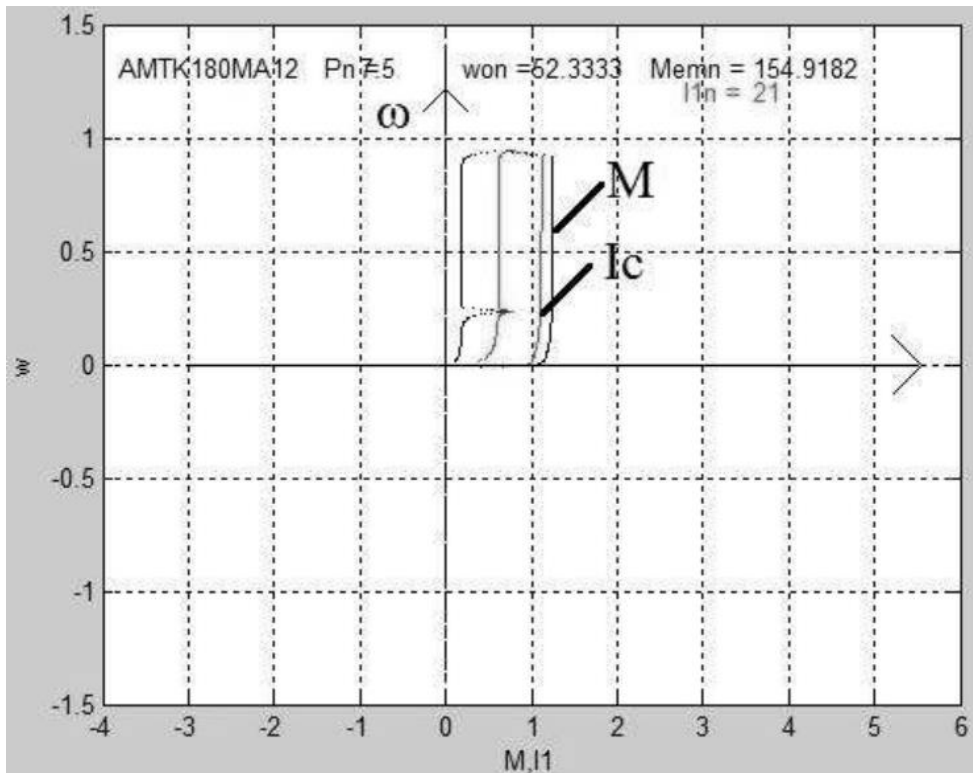


Рисунок 3.5 – Графічна залежність динамічних механічної та електромеханічної характеристик при русі кабіни ЛУ вгору

Стала часу ЗІ (3.13) не залежить від навантаження, оскільки при спуску

порожньої кабіни ЛУ механічна стала часу і динамічний момент будуть змінюватись пропорційно моменту інерції самого електроприводу [16-21].

Перехідні процеси електроприводу ЛУ побудуємо за допомогою програми перехідних процесів в системі ЧП-АЕД із ЗІ на базі Т-подібної схеми заміщення zipchad.m в програмному середовищі MATLAB (рис. 3.5, 3.6) [34-38].

Відповідно, за графічними залежностями обох перехідних процесів видно, що перевантаження за моментом приблизно в $1,25M_{ном}$, що менше критичного моменту, за силою струму приблизно $1,1I_{ном}$.

В ході побудови графічних залежностей перехідних процесів з'ясувалося, що під час розгону АЕД не вистачає пускового моменту, тому використовувалося форсування рівня напруги при пуску АЕД, рівне 5%.

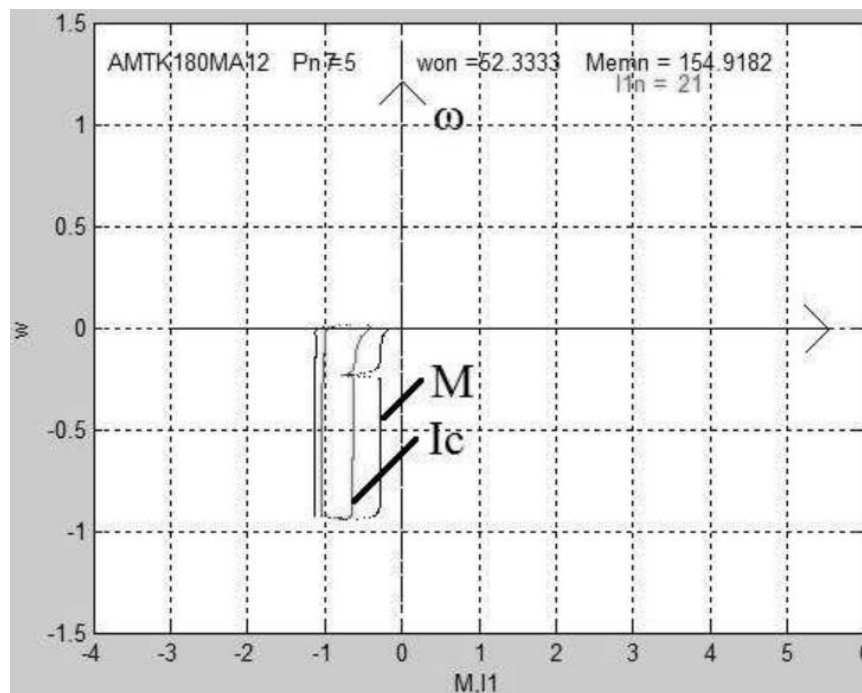


Рисунок 3.6 – Графічна залежність динамічних механічної та електромеханічної характеристик при русі кабіни ЛУ вниз

Також інтегральні показники були розбиті на ділянки при русі кабіни ЛУ вгору та вниз [16-21]:

– розгін до робочого рівня швидкості і рух на робочому рівні швидкості

(7,75с);

– перехід на знижений рівень швидкості і рух на зниженому рівні швидкості (1,6с);

– гальмування до повної зупинки (0,2с).

3.5 Розрахунок інтегральних показників перехідних процесів

Представимо інтегральні показники описані вище в табличному вигляді (див. Додаток Б, табл. Б.7).

За допомогою отриманих інтегральних показників (табл. Б.7) можна виконати необхідну перевірку на перевантажувальну здатність, на продуктивність і на нагрів АЕД та ЧП.

Перевірка на перевантажувальну здатність АЕД полягає в порівнянні максимальних значень моменту за навантажувальними діаграмами за час роботи з допустимим значенням моменту за номінальними паспортними даними [6-10]:

$$M_{\max} > M_{\text{найб}}; \quad (3.15)$$

$$328 > 1,25 \cdot 149 = 186 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Умова (3.15) виконується, отже, АЕД підходить до встановлення за перевантажувальною здатністю.

Перевірка на перевантажувальну здатність ЧП полягає в порівнянні максимальних значень сили струму статора за навантажувальними діаграмами за час роботи з допустимим значенням сили струму за паспортними даними даного ЧП 3.16 [11-15]:

$$I_{\max} > I_{\text{найб}}; \quad (3.16)$$

$$1,5 \cdot 27 = 40,5 > 1,1 \cdot 21 = 23,1A.$$

Умова (3.16) виконується, отже, ЧП підходить до монтажу за переважувальною здатністю.

Виконаємо перевірку за продуктивністю, для цього розрахуємо фактичний час згідно формули 3.17:

$$t_{\text{факт}} = 7 \cdot (t_{\text{дл1}+\text{дл2}} + t_{\text{дл3}+\text{дл4}} + t_{\text{дл5}} + t_{\text{дл6}+\text{дл7}} + t_{\text{дл8}+\text{дл9}} + t_{\text{дл10}}); \quad (3.17)$$

$$t_{\text{факт}} = 7 \cdot (7,75 + 1,6 + 0,2 + 7,75 + 1,6 + 0,2) = 133,7c.$$

Відомо, що перевірка на задану продуктивність полягає в порівнянні фактичного часу роботи установки з часом заданого циклу 3.18 [11-15]:

$$t_{\text{факт}} < t_{\text{ц}}; \quad (3.18)$$

$$133,7 < 144c.$$

Умова (3.18) виконується, отже, електропривод ЛУ підходить до монтажу за продуктивністю.

Виконаємо перевірку за нагріванням АЕД - будемо проводити за методом еквівалентної сили струму 3.19 [11-15]:

$$I_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{дон}}, \quad (3.19)$$

де I_i - середньоквадратичне значення сили струму на i -ій ділянці;

β_i - коефіцієнт погіршення тепловіддачі АЕД;

Δt_i – час тривалості i -ої ділянки роботи;

$I_{дон}$ - допустима за нагріванням сила струму.

Обраний тип АЕД з короткозамкненим ротором АМТК180МА12 [28] має вбудований тип охолодження ІС411, що означає виконання самовентиляції за рахунок радіального вентилятора, встановленого на вал ЕД, отже, коефіцієнт погіршення тепловіддачі зупиненого ЕД буде в межах $\beta_0 = 0,95 \dots 0,98$ [5-10]

Прийmemo $\beta_0 = 0,95$ і розрахуємо коефіцієнт погіршення тепловіддачі ЕД в залежності від швидкості обертання. Розрахуємо час роботи в циклі з даними швидкостями обертання за допомогою навантажувальних діаграм та представимо всі результати розрахунків в табличному вигляді (див. Додаток Б, табл. Б.8).

Виконаємо розрахунок згідно із формулою (3.10):

$$\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i = 7 \cdot (17,41^2 \cdot 7,75 + 15,3^2 \cdot 1,6 + 12,44^2 \cdot 0,2 + 17,2^2 \cdot 7,75 + 15,43^2 \cdot 1,6 + 12,59^2 \cdot 0,2) = 38219,86 A^2 \cdot c;$$

$$\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i = 0,95 \cdot 19,6 + 0,975 \cdot 12,6 + 1 \cdot 101,5 = 132,4 c;$$

$$I_{екв} = \sqrt{\frac{38219,86}{132,4}} = 16,99 A.$$

Визначимо фактичну тривалість включення електроприводу ЛУ [5-10]:

$$TB_{факт} = \frac{133,7}{144} \cdot 100\% = 92,85\%.$$

Визначимо допустиму за нагріванням силу струму АЕД і порівняємо з обчисленим середньоквадратичним значенням сили струму 3.20 [5-10]:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{TB_{\text{кат}}}{TB_{\text{факт}}}}; \quad (3.20)$$

$$I_{\text{доп}} = 21 \cdot \sqrt{\frac{100}{92,85}} = 21,79 > 16,99 \text{ А.}$$

Умова (3.19) виконується, отже:

$$I_{\text{екв}} = 0,78 \cdot I_{\text{доп}}.$$

Недовантаження складає 22% (нормальним недовантаженням вважається недовантаження в межах 10...15%), тому виконаємо додатковий розрахунок потужності орієнтовно іншого АЕД 3.21 [5-10]:

$$P_{\text{ном}} \cong P_{\text{номвиб}} \cdot \frac{I_{\text{екв}}}{I_{\text{доп}}}, \quad (3.21)$$

де $P_{\text{номвиб}}$ - номінальна потужність спочатку обраного АЕД.

$$P_{\text{ном}} \cong 7500 \cdot 0,78 = 5874 \text{ Вт.}$$

Розрахована потужність необхідного АЕД менше розрахованої раніше потужності, отже, використання найближчого меншого за потужністю АЕД з короткозамкненим ротором типу АМТК160М12 потужністю 5,5кВт не допустиме, оскільки це призведе до перегріву і подальшого виходу з ладу даного

пристрою, тому залишаємо до встановлення обраний АЕД [5-10, 28].

Виконаємо перевірку за нагріванням ЧП шляхом порівняння середньоквадратичної сили струму АЕД за час роботи [5-10]:

$$I_{сркв} = \sqrt{\frac{1}{t_{факт}} \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i} \leq I_{ЧПном}. \quad (3.22)$$

Виконаємо розрахунок згідно із формулою (3.20):

$$I_{сркв} = \sqrt{\frac{38219,86}{133,7}} = 16,91 \leq 27 A.$$

Умова (3.22) виконується, отже, обраний до встановлення ЧП проходить перевірку за нагріванням.

Виконаємо розрахунок енергетичних показників електроприводу ЛУ. Визначимо циклові енергетичні показники згідно наступної формули 3.23 [5-10]:

$$\eta_{ц} = \frac{\sum_{k=1}^m \eta_k \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}; \quad (3.23)$$

$$\eta_{ц} = \frac{0,65 \cdot (7,75 + 1,6 + 0,2) + 0,65 \cdot (7,75 + 1,6 + 0,2)}{7,75 + 1,6 + 0,2 + 7,75 + 1,6 + 0,2} = 0,65.$$

3.6 Висновки до третього розділу

Було обрано до встановлення спеціальний ліфтовий ЧП від фірми-виробника Omron серії CIMR-L7Z4011 потужністю 11 кВт. До обраного ЧП та

АЕД були обрані вхідний та вихідний дроселі типу L7Z-PUZ4011-CE та IMF-11/25-4 відповідно.

За допомогою програм в програмному середовищі MATLAB були обчислені обмоткові дані обраного АЕД з короткозамкненим ротором (xrkzad.m), побудовані природні та штучні механічні та електромеханічні характеристики (haradkz.m), побудовані перехідні процеси в системі ЧП-АЕД із ЗІ на базі Т-подібної схеми заміщення (zipchad.m).

У побудові статичних характеристик через задані точки використовувався метод регулювання $U/f = const$. Отримані характеристики проходять через необхідні координати.

Були побудовані перехідні процеси електроприводу ЛУ за необхідними навантажувальними діаграмами рівнів швидкості і моменту і розраховані інтегральні показники заданого циклу роботи. Виконана необхідна перевірка на перевантажувальну здатність, продуктивність, нагрів АЕД і ЧП.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ

4.1 Характеристика системи автоматизації технологічного процесу

У вихідному положенні в електроприводі ЛУ накладено механічне гальмо, привід лебідки відключений, двері кабіни ЛУ закриті. При натисканні пасажиром кнопки виклику на поверсі в СК ЛУ подається сигнал виклику. Далі, залежно від розташування кабіни ЛУ в шахті, система відпрацьовує встановлений алгоритм [1-4]:

1) у разі, якщо кабіна ЛУ знаходиться на поверсі, з якого надійшов виклик, відбувається відкриття дверей кабіни ЛУ і далі виконується завантаження;

2) у разі якщо кабіна ЛУ знаходиться на будь-якому іншому поверсі, то відбувається включення приводу лебідки в бік поверху, з якого надійшов виклик, і відключення механічного гальма. Коли енкодер виконає відрахунок необхідної кількості імпульсів, електропривід лебідки здійснює перехід на знижений рівень швидкості з метою точної зупинки кабіни ЛУ. При досягненні давача точної зупинки необхідного поверху кабіна ЛУ зупиняється. Далі накладається механічне гальмо на електропривід і відкриваються двері для завантаження кабіни ЛУ.

При надходженні сигналу виклику будь-якого поверху з внутрішньої панелі відбувається закриття дверей кабіни ЛУ, включення електроприводу тросу в бік необхідного поверху і відключення механічного гальма. Коли енкодер відлічить певну кількість імпульсів, електропривід тросу здійснює перехід на знижений рівень швидкості з метою точної зупинки кабіни ЛУ. При досягненні давача точної зупинки даного поверху кабіна ЛУ зупиняється на необхідному поверсі. Далі накладається механічне гальмо і відкриваються двері для завантаження кабіни ЛУ.

У разі якщо кабіна ЛУ знаходиться на будь-якому поверсі, не отримує сигналу виклику, а двері кабіни відкриті, то двері автоматично закриваються

через 5 секунд, тобто електропривод ЛУ переводиться в початкове положення.

При появі перешкоди в дверях, в електроприводі дверей зростає сила струму, посилаючи сигнал в PLC на відкриття дверей. Кабіна не починає рух при перевантаженні по встановленій вазі.

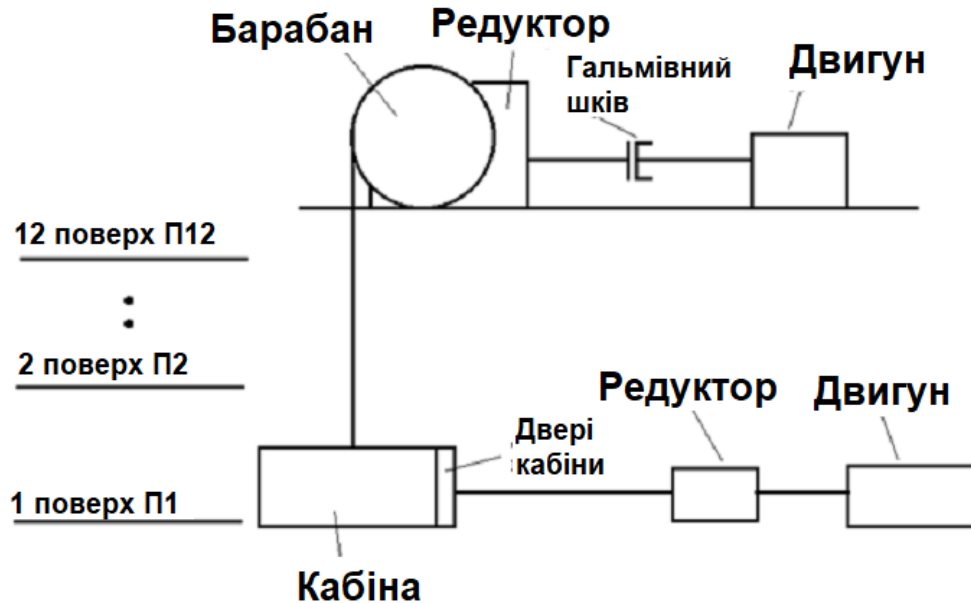


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд системи автоматизації ЛУ [1-4]

У режимі «Ревізія» може бути реалізована інспекційна поїздка оператора на даху кабіни ЛУ з метою контролю і профілактики обладнання шахти. Виключається можливість руху за командами керування від кнопочних апаратів, встановлених в кабіні (накази), на посадкових майданчиках (виклики). Керування рухом кабіни ЛУ «вгору» і «вниз» здійснюється за допомогою встановленого на даху кабіни ЛУ додаткового кнопочного поста, причому рух можливий тільки при натиснутій кнопці [1-4].

На виході інкрементального енкодера формуються спеціальні імпульси, призначені для підрахунку і подальшого визначення кута повороту валу.

При включенні початкове значення кута повороту невідоме, але підрахунок спеціальних імпульсів буде починатися після зачеплення поверхового давача положення кабіни.

Абсолютний енкодер має більш складну конструкцію, але може формувати сигнал керування як в режимі обертання, так і в режимі спокою. Даний пристрій на виході буде створювати цифровий код, який прив'язаний до конкретного положення валу двигуна, тому йому не потрібна прив'язка до будь-якого поверху.

Будемо використовувати до монтажу інкрементальний енкодер, так як він дешевший через більш просту конструкцію, має прив'язку в даному випадку до поверхів будівлі і не вимагає обробки спеціального коду, тому що даний тип енкодеру просто буде формувати спеціальні імпульси для підрахунку.

Роздільна здатність такого енкодеру буде 500 імп/об, що в свою чергу забезпечить прийнятну точність. Проте, занадто висока роздільна здатність не завжди може бути використана через те, що не кожен тип PLC здатний приймати високочастотні сигнали керування.

Для переміщення кабіни ЛУ використовується АЕД з короткозамкненим ротором загальною потужністю 7,5 кВт, обраний раніше.

4.2 Підбір елементної бази автоматизації електроприводу ліфтової установки

У запропонованій системі автоматизації можна виокремити наступні функціональні елементи [1-4]:

- пульт керування (розташований у машинному відділенні);
- пульт керування на даху кабіни;
- пульт керування в кабіні;
- БК (блок керування);
- ЧП1 (частотний перетворювач електроприводу лебідки);
- ЧП2 (частотний перетворювач електроприводу дверей);
- Д1 (АЕД електроприводу лебідки);
- Д2 (АЕД електроприводу дверей);

- BQ (енкодер);
- YA1 (електромагнітне гальмо);
- пристрій контролю завантаження кабіни ЛУ;
- ДчДвЗакр (давач, що сигналізує про закриті двері кабіни ЛУ);
- ДчДвВідкр (давач, що сигналізує про відкриті двері кабіни ЛУ);
- П1...П12 (давачі, що сигналізують про положення кабіни на відповідному поверсі);
- SA1...SA12 (поверхові кнопки виклику);
- Блок живлення.

Живлення контролера, пультів керування та давачів буде виконуватись від блоку живлення, що перетворює змінну силу струму напругою 220 В у постійну силу струму напругою 24 В.

4.2.1 Вибір блоку керування

Під час проєктування системи автоматизації ЛУ, PLC повинен мати - 43 вхідних сигнали, 13 вихідних сигналів і швидкодіючі входи для енкодера.



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд PLC фірми-виробника ОВЕН типу ПЛК110
[M02] [40]

Виберемо до монтажу PLC фірми-виробника ОВЕН [39] типу ПЛК110-24.60.К-М [40], оснащений - 36 входами і 24 виходами, а також є швидкісні входи для обробки спеціальних сигналів із енкодерів. Також виберемо до монтажу спеціальний модуль дискретного вводу (з інтерфейсом RS-485) MB110

типу MB110-224.16ДН на 16 входів [41].

Технічні дані обраного PLC і модуля дискретних входів представлені в табличному вигляді в додатках (див. Додаток В, табл. В.1 та В.3). Для інкрементального енкодера в таблиці В.2 представлені режими роботи входів обраного PLC. Зовнішній вигляд обраного PLC і модуля дискретних входів представлені на рисунках 4.2 та 4.3.



Рисунок 4.3 – Загальний вигляд модуля дискретного вводу типу MB110 [41]

Переваги використання PLC110[M02]:

- швидкісні входи для обробки спеціальних сигналів енкодерів;
- наявність вбудованих дискретних входів/виходів на борту;
- просте і зручне програмування в середовищі CODESYS через порти USB Device, Ethernet, RS-232 Debug;
- введення архіву роботи обладнання або робота за задалегідь обумовленими сценаріями при підключенні до PLC USB-накопичувачів;
- передача даних на верхній рівень через Ethernet або GSM-мережі (GPRS);
- наявність 4 послідовних портів (RS-232, RS485) для збільшення кількості входів/виходів, керування ЧП, підключення панелей операторів, GSM-модемів, зчитувачів штрих-кодів тощо;
- наявність двох варіантів живлення (220 В і 24 В) [40-42].

4.2.2 Вибір давачів технологічної інформації

Для визначення положень кабіни ЛУ та дверей виберемо щілинний оптичний давач типу OU N31P5-31N-24-LZ [42], технічні дані якого наведені в табличному вигляді в додатках (див. Додаток В, таблиця В.4). Даний давач має приймач і випромінювач інфрачервоного спектра, розташовані в одному корпусі і навпроти один одного. При перекритті контрольованим об'єктом оптичного випромінювання змінюється вихідний сигнал давача. На рисунку 4.4 представлена схема підключення давача [42].

Застосування щілинного оптичного давача OU N31P5-31N-24-LZ [42]:

- контроль доведення кабіни ЛУ до поверхової площадки;
- контроль положення дверей кабіни ЛУ.

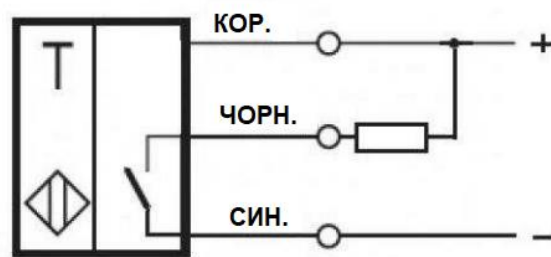


Рисунок 4.4 – Електрична схема підключення оптичного давача OU N31P5-31N-24-LZ [42]

4.2.3 Вибір енкодера

Необхідно вибрати енкодер з роздільною здатністю 500 імпульсів/оборот, тому виберемо до монтажу інкрементальний енкодер типу E40S8-500-3-N-24 [43], технічні характеристики якого наведені в Додатках. (див. Додаток В, таблиця В.5).



Рисунок 4.5 – Загальний вигляд енкодера E40S8-500-3-N-24 [43]

4.2.4 Вибір пристрою контролю завантаження кабіни ЛУ

Необхідно контролювати вагу перед відправкою кабіни ЛУ, тому виберемо до монтажу пристрій контролю завантаження ліфта УКЗ-ВТ.1.0.3240.УЗ [44], технічні характеристики якого наведені в Додатках (див. Додаток В, табл. В.6). У даному пристрої можна налаштувати необхідну вантажопідйомність. Схема підключення даного пристрою представлена на рисунку 4.6.

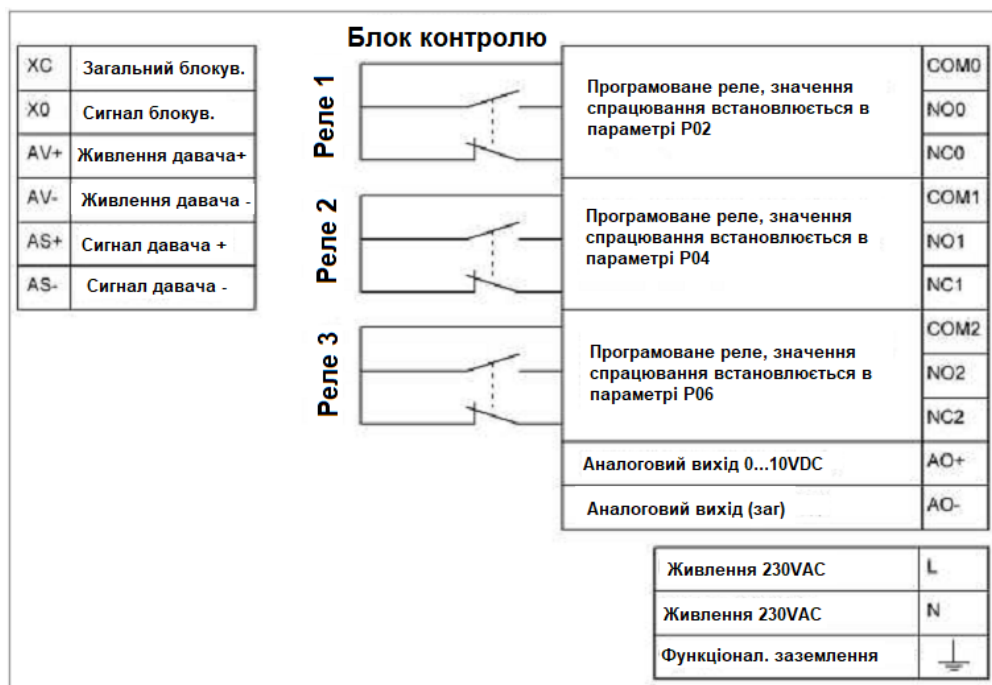


Рисунок 4.6 – Функція клем пристрою контролю УКЗ-ВТ.1.0.3240 [44]

4.2.5 Вибір приводу дверей кабіни ЛУ

Для поставлених вимог до електроприводу дверей кабіни ЛУ підходить ЧП для відкривання/закривання розсувних дверей фірми-виробника Delta Electronics типу VFD-DD [45].

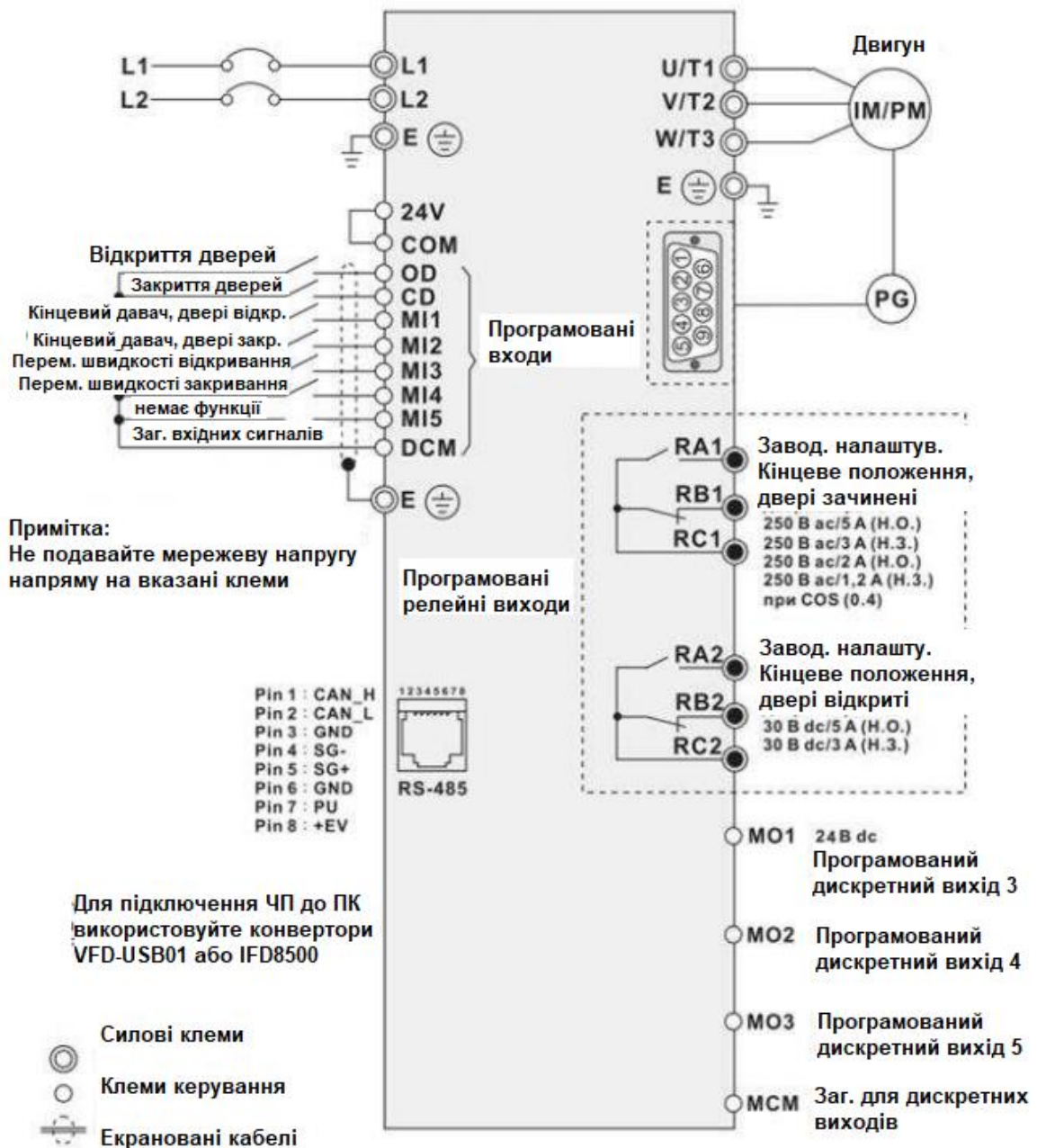


Рисунок 4.7 – Електрична схема підключення ЧП електроприводу дверей кабіни ЛУ [45]

Delta Electronics типу VFD-DD має наступні функції керування:

- плавний рух;
- керування як асинхронним так і синхронним ЕД;
- тестовий режим;
- автопідстроювання під ширину дверей (алгоритм визначення ширини дверей);
- функція безпеки (двері відкриваються при зростанні сили струму, викликаного блокуванням дверей).

Технічні дані обраного електроприводу дверей кабіни ЛУ представлені в Додатках (див. Додаток В, табл. В.7) [45].

На рисунку 4.7 представлено електричну схему підключення ЧП електроприводу дверей кабіни ЛУ.

Технічні характеристики ЕД дверей кабіни ЛУ представлені в таблиці В.8 (див. Додаток В).

4.2.6 Вибір гальма

Виберемо до монтажу гальмо колодкове серії ТКГ-500 У2 [46], призначене для зупинки і утримання валів механізму в загальмованому стані при вимкненому електроприводі. Технічні характеристики обраного гальма представлені в таблиці В.9 (див. Додаток В).

4.2.7 Вибір блоку живлення

Вибір блоку живлення необхідно здійснювати з урахуванням потужності всіх споживачів, що живляться від нього (контролер, датчики і пульти керування).

Розрахуємо дану потужність згідно наступної формули 4.1:

$$P_{\text{спож}} = U_{PLC} \cdot I_{PLC} + (12 + 2) \cdot U_{\text{дав}} \cdot I_{\text{дав}} + U_{\text{енк}} \cdot I_{\text{енк}}; \quad (4.1)$$

$$P_{\text{спож}} = 24 \cdot 0,63 + (12 + 2) \cdot 24 \cdot 0,1 + 24 \cdot 0,03 = 54,24 \text{ Вт}.$$

Виберемо до монтажу джерело живлення RSP-75-24 Mean Well [47], технічні характеристики наведені в Додатку В (див. табл. В.10), зовнішній вигляд якого представлено на рисунку 4.8.

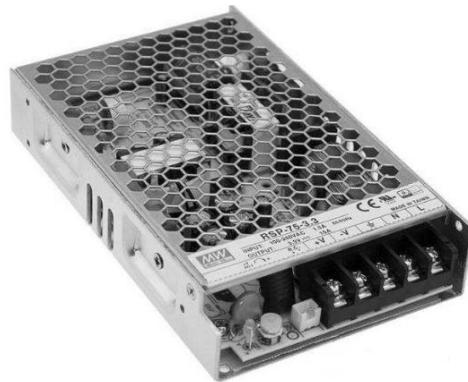


Рисунок 4.8 - Загальний вигляд джерела живлення RSP-75-24 Mean Well [47]

Розробка схеми електричної принципової [5-11].

Автоматичний вимикач QF1 забезпечує живлення всієї СК, а також здійснює захист від виникнення сил струмів КЗ.

За допомогою контактора KM1 реалізований нульовий захист ЕД, який виключає самозапуск ЕД при зникненні або різкому зниженні рівня напруги мережі живлення. При повороті ключ-бірки SB1 подається живлення на силові ланцюги і на пульт керування, після її відпускання відбувається самопідхоплення. У разі натискання кнопки SB2 силові ланцюги розмикаються.

Автоматичні вимикачі QF2...QF6 забезпечують живлення систем керування ЕД, джерело живлення, пристрій контролю завантаження кабіни ЛУ, модуль дискретного вводу і захищають їх від виникнення сил струмів КЗ.

Блок живлення G1 з вихідною напругою 24 В подає живлення на основні

низьковольтні елементи пульта керування А1, А2, А6, поверхові кнопки виклику SB6...SB19, контролер А3 і датчики SQ1...SQ16.

Пульт керування А1, розташований в машинному відділенні, дозволяє виконувати роботу всієї СК в ручному або автоматичному режимах, а також індикацію режимів роботи СК і її несправності. Пульт керування А6, розташований на даху кабіни, здійснює керування СК в ручному режимі (режим «Ревізія»). Пульт керування А2, розташований в кабіні ЛУ, здійснює керування системою лише в автоматичному режимі.

Автоматизація технологічного процесу реалізується програмованим контролером А3. Для збільшення кількості входів PLC використовується модуль дискретного вводу А5, з'єднаний з PLC через спеціальний інтерфейс RS-485. Вхідні сигнали надходять з пультів керування А1, А2, А6, датчиків технологічної інформації SQ1...SQ16, пристрою контролю завантаження кабіни А4, енкодера ВQ, а вихідні сигнали подаються на ЧП ЕД UZ1 та UZ2, на реле КМ2, що здійснює керування гальмом YA1, на лампи індикації HL1...HL10 пульта керування А1 (машинне відділення) і на лампу індикації HL11 пульта керування А2 (кабіна ЛУ).

4.3 Розроблення алгоритму автоматизації керування ліфтовою установкою

4.3.1 Складання списку сигналів системи автоматизації керування ЛУ

З представленого опису ТП і послідовності роботи ЛУ випливає [48-51], що система автоматизації повинна забезпечити нормальну роботу в двох режимах: автоматичному і ручному (режим «Ревізія»).

Система автоматизації повинна формувати наступні вихідні команди:

- включення електроприводу лебідки в прямому обертанні (Вгору);
- включення електроприводу лебідки в зворотному обертанні (Вниз);

- включення електроприводу дверей в прямому обертанні (ДвЗакр);
- включення електроприводу дверей в зворотному обертанні (ДвВідкр);
- переведення електроприводу лебідки на знижену швидкість (Зниж);
- включення електромагнітного гальма (Гальмо).

Необхідно задіяти вихідні сигнали на індикацію та сигналізацію стану СК, для зручності експлуатації та усунення можливих несправностей. На пульт керування, розташований в машинному відділенні, будуть виводитися наступні сигнали [55-59]:

- сигнал «Пуск» (ІндПуск);
- сигнал «Живлення» (ІндЖивл);
- сигнал «Аварія» (ІндАвар);
- сигнал «Стоп» (ІндСтоп);
- сигнал «Несправність енкодера» (ІндЕнк);
- сигнал «Несправність датчиків дверей» (ІндДчДв);
- сигнал «Несправність датчиків у шахті» (ІндДчШах);
- сигнал «Несправність електроприводу дверей» (АварПривДв);
- сигнал «Несправність електроприводу лебідки» (АварПривЛеб);
- сигнал «Готовність до автоматичного режиму» (ІндГотАвт).

Для керування автоматизацією ЛУ використовується пульт керування, розташований в машинному приміщенні і являє собою панель з блоками кнопок, що формують наступні вихідні сигнали (рис. 4.9):

- запуск системи (Пуск);
- ключ для подачі живлення в систему (КлЖивл);
- перехід системи в автоматичний режим (Авт);
- кнопка аварійного відключення (КпАвар);
- перехід системи в режим «Ревізія» (Руч);
- скидання режиму «Аварія» (СкидАвар);
- зупинка системи (Стоп).

Кнопки, розташовані на даху кабіни ЛУ і використовувані в режимі

«Ревізія»:

- кнопка «Вгору», розташована на даху кабіни і включає електропривід лебідки в прямому обертанні (КпВверх);

- кнопка «Вниз», розташована на даху кабіни і включає електропривід лебідки в зворотному обертанні (КпВниз).

Для керування кабіною ЛУ використовуються кнопки виклику на кожному поверсі, панель поверхових кнопок всередині кабіни ЛУ, а також необхідна індикація перевантаження кабіни ЛУ на внутрішній панелі:

- відправлення кабіни ЛУ на відповідний поверх з внутрішньої панелі або поверхової кнопки виклику (Кп1...Кп12);

- кнопка «Закрити двері» на внутрішній панелі (КпДвЗакр);

- кнопка «Відкрити двері» на внутрішній панелі (КпДвВідкр);

- сигнал «Перевантаження» на внутрішній панелі (Перевантаження).

Для автоматизації роботи ЛУ необхідно мати інформацію про стан системи, тому необхідно використовувати наступні сигнали:

- давач, що сигналізує про положення кабіни на відповідному поверсі (П1...П12);

- давач, що сигналізує про те, що двері кабіни ЛУ закриті (ДчДвЗакр);

- давач, що сигналізує про те, що двері кабіни ЛУ відкриті (ДчДвВідкр);

- пристрій, що сигналізує про перевантаження кабіни ЛУ (Перевантаження);

- сигнал з ЧП, що сигналізує про перешкоду в отворі дверей кабіни (Перешкода).

Також для визначення необхідного проходження відстані кабіни ЛУ будемо використовувати енкодер, який подаватиме необхідну кількість імпульсів на вхід блоку керування:

- імпульси вихідної фази А енкодера (А).

Для переведення системи в аварійний режим необхідно знати стан електроприводів дверей і лебідки:

- сигнал «Аварія електроприводу дверей» (АварПривДв);
- сигнал «Аварія електроприводу лебідки» (АварПривЛеб).

Сигнали та команди представлені в табличному вигляді в Додатках (див. Додаток Г, табл. Г.1).

Ключем SB1 подається живлення на всю систему ЛУ (див. рис. 4.9). Про наявність живлення буде сигналізувати індикаційна лампа «Живлення» HL1.

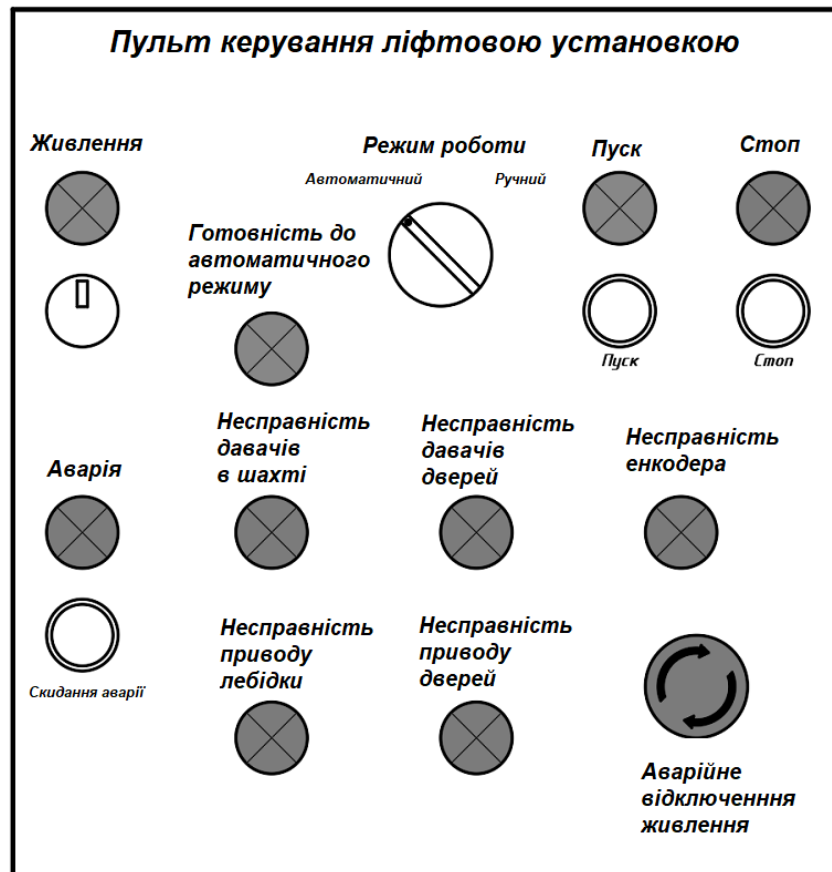


Рисунок 4.9 – Загальний вигляд пульта керування в машинному відділенні

Режим роботи вибирається перемикачем SA1 на два положення: режим «Автоматичний» і режим «Ручний». Дозвіл на роботу системи в автоматичному або ручному режимах подається кнопкою «Пуск» SB4 і знімається кнопкою «Стоп» SB5. Про наявність дозволу сигналізуватимуть відповідно індикаційні лампи «Пуск» HL2 і «Стоп» HL3. Готовність системи до роботи в автоматичному режимі буде тоді, коли відсутній режим «Аварія» і кабіна ЛУ

знаходиться на будь-якому поверсі (індикаційна лампа HL8).

При виникненні аварії будь-якого елемента системи ЛУ буде загорятися відповідна індикаційна лампа (HL5, HL6, HL7, HL9, HL10) і загальна індикаційна лампа «Аварія» (HL4). Кнопкою «Скидання» знімається режим «Аварія». При виникненні екстреної ситуації передбачено використання аварійна кнопка (SB2) для швидкого зняття живлення з усієї системи ЛУ [48-51].

4.3.2 Розроблення функціонального блоку автоматичного та ручного керування системи автоматизації ЛУ

Сигнали автоматичного та ручного керування умовно класифікуємо на групи:

- Проміжний сигнал готовності автоматичного режиму буде виникати при наявності сигналу «Автоматичний режим», і при наявності кабіни ЛУ на будь-якому поверсі і натиснутій кнопці «Пуск», і буде існувати до тих пір, поки не виникне режим «Аварія» або не буде натиснута кнопка «Стоп» [61-69]:

$$ГотАвт = Авт \cdot ((П1 + П2 + \dots + П12) \cdot Пуск + ГотАвт) \cdot \overline{Аварія} \cdot \overline{Стоп}.$$

- Проміжний сигнал готовності ручного режиму буде виникати при наявності сигналу «Режим Ревізія» і натиснутій кнопці «Пуск», і буде існувати до тих пір, поки не виникне режим «Аварія» або не буде натиснута кнопка «Стоп» [61-69]:

$$ГотРуч = Руч \cdot (Пуск + ГотРуч) \cdot \overline{Аварія} \cdot \overline{Стоп}.$$

- Сигнал *ДвВідкр* буде виникати за умови знаходження кабіни ЛУ на будь-якому поверсі і натиснутої відповідної кнопки поверху, або при

перевантаженні кабіни ЛУ, або при виникненні перешкоди в отворі дверей, або натиснутої кнопки «Відкрити двері», або після прибуття на поверх за умови, що кабіна ЛУ нікуди не рухається, і сигнал буде існувати до тих пір, поки двері повністю не відкриються, або натиснуто кнопку «Закрити двері», або відсутність сигналу готовності автоматичного режиму [61-69]:

$$\begin{aligned} ДвВідкр = & ((Kn1 \cdot П1 + Kn2 \cdot П2 + \dots + Kn12 \cdot П12) + Первантаж + Перешкода + \\ & + KnДвВідкр + \overline{M1}) \cdot (П1 + П2 + \dots + П12) \cdot \overline{Вверх} \cdot \overline{Вниз} + ДвВідкр) \cdot \\ & \cdot \overline{ДчДвВідкр} \cdot \overline{KnДвЗакр} \cdot ГотАвт. \end{aligned}$$

- Запишемо проміжне рівняння перемінної M1, необхідної для відкривання дверей кабіни ЛУ після прибуття на поверх один раз [61-69]:

$$M1 = (T1 \uparrow^{5c} + KnДвЗакр + M1) \cdot \overline{Вверх} \cdot \overline{Вниз}.$$

- Сигнал «ДвЗакр» буде виникати за умови спрацьовування таймера T1 через 5 с, або натиснутої кнопки «Закрити двері» за умови знаходження кабіни ЛУ на поверсі і відсутності руху кабіни ЛУ, або при відсутності сигналу «Готовності автоматичного режиму», і сигнал «ДвЗакр» буде існувати до тих пір, поки двері повністю не закриються, або натиснуто кнопку «Відкрити двері», або є перешкода в отворі дверей, або перевантаження кабіни ЛУ [61-69]:

$$\begin{aligned} ДвЗакр = & (T1 \uparrow^{5c} + (П1 + П2 + \dots + П12) \cdot \overline{Вверх} \cdot \overline{Вниз} \cdot KnДвЗакр + \\ & + \overline{ГотАвт} + ДвЗакр) \cdot \overline{ДчДвЗакр} \cdot \overline{KnДвВідкр} \cdot \overline{Перешкода} \cdot \overline{Перевантаження}. \end{aligned}$$

- Таймер T1 необхідний для того, щоб двері кабіни ЛУ автоматично закривалися через 5 секунд після відкриття [61-69]:

$$T1 = ((P1 + P2 + \dots P12) \cdot \overline{Вверх} \cdot \overline{Вниз} \cdot \overline{ДчДвВідкр} + T1) \cdot \overline{ДчДвЗакр} \times \overline{КнДвВідкр} \cdot \overline{Перешикода} \cdot \overline{Перевантаження}.$$

- Запишемо проміжні рівняння пам'яті кнопок відповідного поверху :

$$\text{Пам'ятьКп1} = (Кп1 + \text{Пам'ятьКп1}) \cdot \overline{П1} \cdot \overline{ГотАвт};$$

$$\text{Пам'ятьКп2} = (Кп2 + \text{Пам'ятьКп2}) \cdot \overline{П2} \cdot \overline{ВверхБлок2} \cdot \overline{ВнизБлок2} \cdot \overline{ГотАвт};$$

...

$$\text{Пам'ятьКп11} = (Кп11 + \text{Пам'ятьКп11}) \cdot \overline{П11} \cdot \overline{ВверхБлок11} \cdot \overline{ВнизБлок11} \cdot \overline{ГотАвт};$$

$$\text{Пам'ятьКп12} = (Кп12 + \text{Пам'ятьКп12}) \cdot \overline{П12} \cdot \overline{ГотАвт}.$$

- Запишемо проміжні рівняння пам'яті положення кабіни ЛУ між поверхами при русі вгору [61-69]:

$$П1П2 = (П1 \cdot \overline{Вверх} + П1П2) \cdot \overline{П2} \cdot \overline{ГотАвт};$$

$$П2П3 = (П2 \cdot \overline{Вверх} + П2П3) \cdot \overline{П2} \cdot \overline{ГотАвт};$$

...

$$П10П11 = (П10 \cdot \overline{Вверх} + П10П11) \cdot \overline{П11} \cdot \overline{ГотАвт};$$

$$П11П12 = (П11 \cdot \overline{Вверх} + П11П12) \cdot \overline{П12} \cdot \overline{ГотАвт}.$$

- Запишемо проміжні рівняння пам'яті положення кабіни ЛУ між поверхами при русі вниз [61-69]:

$$П2П1 = (П2 \cdot \overline{Вниз} + П2П1) \cdot \overline{П1} \cdot \overline{ГотАвт};$$

$$П3П2 = (П3 \cdot \overline{Вниз} + П3П2) \cdot \overline{П2} \cdot \overline{ГотАвт};$$

...

$$П11П10 = (П11 \cdot \overline{Вниз} + П11П10) \cdot \overline{П10} \cdot \overline{ГотАвт};$$

$$П12П11 = (П12 \cdot \overline{Вниз} + П12П11) \cdot \overline{П11} \cdot \overline{ГотАвт}.$$

- Запишемо проміжні рівняння руху кабіни ЛУ вгору на певний поверх:

$$Вверх2 = ((П1 + П1П2) \cdot ПамятьКп2 + Вверх2) \cdot \overline{П2} \cdot ГотАвт;$$

$$Вверх3 = ((П1 + П2 + П2П3) \cdot ПамятьКп3 + Вверх3) \cdot \overline{П3} \cdot ГотАвт;$$

...

$$Вверх11 = (((П1 + П2 + \dots + П11) + П10П11) \cdot ПамятьКп11 + Вверх11) \cdot \overline{П11} \cdot ГотАвт;$$

$$Вверх12 = (((П1 + П2 + \dots + П12) + П11П12) \cdot ПамятьКп12 + Вверх12) \cdot \overline{П12} \cdot ГотАвт.$$

- Запишемо проміжні рівняння руху кабіни ЛУ вниз на певний поверх:

$$Вниз1 = ((П2 + П3 + \dots + П11 + П12) + П2П1) \cdot ПамятьКп1 + Вниз1) \cdot \overline{П1} \cdot ГотАвт;$$

$$Вниз2 = ((П3 + П4 + \dots + П11 + П12) + П3П2) \cdot ПамятьКп2 + Вниз2) \cdot \overline{П2} \cdot ГотАвт;$$

...

$$Вниз10 = ((П11 + П12 + П11П10) \cdot ПамятьКп10 + Вниз10) \cdot \overline{П10} \cdot ГотАвт;$$

$$Вниз11 = ((П12 + П12П11) \cdot ПамятьКп11 + Вниз11) \cdot \overline{П11} \cdot ГотАвт.$$

- Для переходу електроприводу лебідки на знижений рівень швидкості будемо використовувати фазу А енкодера, тому необхідно розрахувати кількість імпульсів, що подаються на лічильник типу CNT і починають відлік від будь-якого поверху [61-69]:

Шлях, що проходить на робочій швидкості ділянки між двома поверхами, буде рівним 4.2 [61-69]:

$$L_{уст} = L - L_{розг} - L_{гальм1} - L_{гальм2} - L_n; \quad (4.2)$$

$$L_{уст} = 3,2 - 0,32 - 0,3 - 0,002 - 0,2 = 2,36м.$$

Визначимо період часу на робочій швидкості згідно формули 4.3:

$$t_{уст} = \frac{L_{уст}}{v_{роб}}; \quad (4.3)$$

$$t_{уст} = \frac{2,36}{0,8} = 2,95с.$$

Визначимо кут повороту валу ЕД за час розгону згідно формули [61-69]:

$$\alpha_{розг} = \frac{(0 + \omega_{роб}) \cdot t_{розг}}{2}; \quad (4.4)$$

$$\alpha_{розг} = \frac{(0 + 49,23) \cdot 0,8}{2} = 19,7 рад.$$

Визначимо кут повороту валу ЕД за час усталеного режиму роботи за формулою 4.5 [61-69]:

$$\alpha_{уст} = \omega_{роб} \cdot t_{уст}; \quad (4.5)$$

$$\alpha_{уст} = 49,23 \cdot 2,95 = 145,23 рад.$$

Знайдемо сумарний кут повороту до переходу на знижений рівень швидкості після проходження поверхового давача згідно наступної формули 4.6:

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{розг} + \alpha_{уст}; \quad (4.6)$$

$$\alpha_{\Sigma} = 19,7 + 145,23 = 164,9 рад.$$

Будемо використовувати інкрементальний енкодер з роздільною здатністю 500 імпульсів/об. Тоді розрахуємо необхідну кількість імпульсів фази А енкодера для лічильника типу CNT згідно наступної формули 4.7 [61-69]:

$$N_{CNT} = \frac{\alpha \Sigma}{2\pi} \cdot N_{BQ}; \quad (4.7)$$

$$N_{CNT} = \frac{164,9}{2 \cdot 3,14} \cdot 500 = 13130 \text{ імпульсів.}$$

Лічильник CNT буде здійснювати підрахунок імпульсів після кожного пройденого поверху кабіною ЛУ [61-69]:

$$CNT = A^{13130 \text{ імпульсів}};$$

$$\text{Скидан CNT} = (П1 + П2 + \dots + П12) \cdot \overline{\text{ГотАвт.}}$$

Виклик на певний поверх кабіни ЛУ може виникнути після проходження місця переходу лебідки кабіни на знижений рівень швидкості, тому необхідно додати проміжні рівняння для кожного поверху з метою повернення кабіни ЛУ на певний поверх [61-69]:

Тоді необхідне блокування команд Пам'ятьКп2...Пам'ятьКп11 при русі вгору [61-69]:

$$\text{ВверхБлок2} = (\overline{\text{Вверх2}} \cdot CNT \cdot П1П2 + \text{ВверхБлок2}) \cdot \overline{\text{П2П3}} \cdot \text{ГотАвт};$$

$$\text{ВверхБлок3} = (\overline{\text{Вверх3}} \cdot CNT \cdot П2П3 + \text{ВверхБлок3}) \cdot \overline{\text{П3П4}} \cdot \text{ГотАвт};$$

...

$$\text{Вверх11} = (\overline{\text{Вверх11}} \cdot CNT \cdot П10П11 + \text{ВверхБлок11}) \cdot \overline{\text{П11П12}} \cdot \text{ГотАвт};$$

$$\text{Вверх12} = (\overline{\text{Вверх12}} \cdot CNT \cdot П11П12 + \text{ВверхБлок12}) \cdot \overline{\text{П11П12}} \cdot \text{ГотАвт.}$$

Аналогічно необхідно прописати блокування команд Пам'ятьКп2...Пам'ятьКп11 при русі кабіни ЛУ вниз [61-69]:

$$\begin{aligned} \overline{ВнизБлок2} &= (\overline{Вниз2} \cdot \overline{CNT} \cdot \overline{ПЗП2} + \overline{ВнизБлок2}) \cdot \overline{П2П1} \cdot \overline{ГотАвт}; \\ \overline{ВнизБлок3} &= (\overline{Вниз3} \cdot \overline{CNT} \cdot \overline{П4П3} + \overline{ВнизБлок3}) \cdot \overline{ПЗП2} \cdot \overline{ГотАвт}; \\ &\dots \\ \overline{ВнизБлок10} &= (\overline{Вниз10} \cdot \overline{CNT} \cdot \overline{П11П10} + \overline{ВнизБлок10}) \cdot \overline{П11П10} \cdot \overline{ГотАвт}; \\ \overline{ВнизБлок11} &= (\overline{Вниз11} \cdot \overline{CNT} \cdot \overline{П12П11} + \overline{ВнизБлок11}) \cdot \overline{П12П11} \cdot \overline{ГотАвт}. \end{aligned}$$

Запишемо ряд рівнянь для того, щоб кабіна ЛУ після руху вниз поверталася назад на вказаний поверх [61-69]:

$$\begin{aligned} \overline{ЩеВверх2} &= (\overline{Кп2} \cdot \overline{ВнизБлок2} + \overline{ЩеВверх2}) \cdot \overline{П2^{2имн}} \cdot \overline{ГотАвт}; \\ \overline{ЩеВверх3} &= (\overline{Кп3} \cdot \overline{ВнизБлок3} + \overline{ЩеВверх3}) \cdot \overline{П3^{2имн}} \cdot \overline{ГотАвт}; \\ &\dots \\ \overline{ЩеВверх11} &= (\overline{Кп11} \cdot \overline{ВнизБлок11} + \overline{ЩеВверх11}) \cdot \overline{П11^{2имн}} \cdot \overline{ГотАвт}; \\ \overline{ЩеВверх12} &= (\overline{Кп12} \cdot \overline{ВнизБлок12} + \overline{ЩеВверх12}) \cdot \overline{П12^{2имн}} \cdot \overline{ГотАвт}. \end{aligned}$$

Запишемо ряд рівнянь для того, щоб кабіна ЛУ після руху вгору поверталася назад на вказаний поверх [61-69]:

$$\begin{aligned} \overline{ЩеВниз2} &= (\overline{Кп2} \cdot \overline{ВверхБлок2} + \overline{ЩеВниз2}) \cdot \overline{П2^{2имн}} \cdot \overline{ГотАвт}; \\ \overline{ЩеВниз3} &= (\overline{Кп3} \cdot \overline{ВверхБлок3} + \overline{ЩеВниз3}) \cdot \overline{П3^{2имн}} \cdot \overline{ГотАвт}; \\ &\dots \\ \overline{ЩеВниз10} &= (\overline{Кп10} \cdot \overline{ВверхБлок10} + \overline{ЩеВниз10}) \cdot \overline{П10^{2имн}} \cdot \overline{ГотАвт}; \\ \overline{ЩеВниз11} &= (\overline{Кп11} \cdot \overline{ВверхБлок11} + \overline{ЩеВниз11}) \cdot \overline{П11^{2имн}} \cdot \overline{ГотАвт}. \end{aligned}$$

Сигнал *Вверх* буде виникати при наявності будь-якого сигналу

Вверх2...Вверх12, а також сигналів *ЩеВверх2...ЩеВверх11*, і за умови, що двері кабіни ЛУ будуть закриті, і не будуть відкриватися або закриватися, і не буде перевантаження. У режимі ручного керування рух кабіни ЛУ вгору буде здійснюватися кнопкою *Вверх*, розташованою на даху кабіни ЛУ, і буде заборонятися при наявності сигналу *Вниз* або при досягненні максимального поверху [61-69]:

$$\begin{aligned} \text{Вверх} = & ((\text{Вверх2} + \text{Вверх3} + \dots + \text{Вверх12}) + (\text{ЩеВверх2} + \text{ЩеВверх3} + \\ & + \dots + \text{ЩеВверх11})) \cdot \overline{\text{ДчДвЗакр}} \cdot \overline{\text{ДчДвВідкр}} \cdot \overline{\text{Перевантаж}} \cdot \overline{\text{ДвВідкр}} \times \\ & \times \overline{\text{ДвЗакр}} \cdot \overline{\text{М2}} \cdot (\overline{\text{П1}} \cdot \overline{\text{ПамЗуп1}} + \overline{\text{П2}} \cdot \overline{\text{ПамЗуп2}} + \dots + \overline{\text{П12}} \cdot \overline{\text{ПамЗуп12}}) \times \\ & \times \overline{\text{ГотАвт}} + \overline{\text{ГотРуч}} \cdot \overline{\text{КпВверх}} \cdot \overline{\text{Вниз}} \cdot \overline{\text{П12}}. \end{aligned}$$

Сигнал *Вниз* буде виникати при наявності будь-якого сигналу *Вниз1...Вниз11*, а також сигналів *ЩеВниз2...ЩеВниз11*, і за умови, що двері кабіни ЛУ будуть закриті, і не будуть відкриватися або закриватися, і не буде перевантаження. У режимі ручного керування рух кабіни ЛУ вниз буде здійснюватися кнопкою *Вниз*, розташованою на даху кабіни ЛУ, і буде заборонятися при наявності сигналу *Вверх* або досягненні першого поверху [61-69]:

$$\begin{aligned} \text{Вниз} = & ((\text{Вниз1} + \text{Вниз2} + \dots + \text{Вниз11}) + (\text{ЩеВниз2} + \text{ЩеВниз3} + \\ & + \dots + \text{ЩеВниз11})) \cdot \overline{\text{ДчДвЗакр}} \cdot \overline{\text{ДчДвВідкр}} \cdot \overline{\text{Перевантаж}} \cdot \overline{\text{ДвВідкр}} \times \\ & \times \overline{\text{ДвЗакр}} \cdot \overline{\text{М3}} \cdot (\overline{\text{П1}} \cdot \overline{\text{ПамЗуп1}} + \overline{\text{П2}} \cdot \overline{\text{ПамЗуп2}} + \dots + \overline{\text{П12}} \cdot \overline{\text{ПамЗуп12}}) \times \\ & \times \overline{\text{ГотАвт}} + \overline{\text{ГотРуч}} \cdot \overline{\text{КпВниз}} \cdot \overline{\text{Вверх}} \cdot \overline{\text{П1}}. \end{aligned}$$

При одночасному виникненні сигналів *Вверх* і *Вниз* необхідне застосування взаємного блокування, тобто, якщо сигнали *Вверх* з'являться швидше сигналів *Вниз*, то необхідно блокувати сигнал *Вниз*. В іншому випадку навпаки, тому введемо спеціальні проміжні рівняння перемінних М2 і М3 [61-

69]:

$$M2 = \overline{M3} \cdot ((V_{\text{низ}1} + V_{\text{низ}2} + \dots + V_{\text{низ}11}) + (\text{Ще}V_{\text{низ}2} + \text{Ще}V_{\text{низ}3} + \dots + \text{Ще}V_{\text{низ}11}));$$

$$M3 = \overline{M2} \cdot ((V_{\text{верх}1} + V_{\text{верх}2} + \dots + V_{\text{верх}11}) + (\text{Ще}V_{\text{верх}2} + \text{Ще}V_{\text{верх}3} + \dots + \text{Ще}V_{\text{верх}11})).$$

Кабіна ЛУ буде підніматися вгору і зупинятися на кожному поверсі, з якого надійшов виклик, при цьому ігноруючи сигнали виклику, що надходять з нижніх поверхів. Після того як сигнали виклику з верхніх поверхів щодо кабіни ЛУ всі зникнуть, кабіна ЛУ буде опускатися і зупинятися на кожному поверсі, на який надійшов виклик, ігноруючи сигнали викликів, що надходять з верхніх поверхів, і т.д.

При виникненні декількох сигналів $V_{\text{верх}2} \dots V_{\text{верх}12}$, а також сигналів $\text{Ще}V_{\text{верх}2} \dots \text{Ще}V_{\text{верх}11}$ або при виникненні декількох сигналів $V_{\text{низ}1} \dots V_{\text{низ}11}$, а також сигналів $\text{Ще}V_{\text{низ}2} \dots \text{Ще}V_{\text{низ}11}$ необхідно після прибуття кабіни ЛУ на необхідний поверх електропривід кабіни ЛУ зупинявся, тому введемо ще ряд рівнянь, які після прибуття на необхідний поверх скидали сигнал $V_{\text{верх}}$ і $V_{\text{низ}}$ [61-69].

$$ПамЗуп1 = (V_{\text{низ}1} \cdot П2П1 + ПамЗуп1) \cdot \overline{ДвВідкр} \cdot ГотАвт;$$

$$ПамЗуп2 = ((V_{\text{верх}2} + \text{Ще}V_{\text{верх}2}) \cdot П1П2 + (V_{\text{низ}2} + \text{Ще}V_{\text{низ}2}) \cdot П3П2 + ПамЗуп2) \times \overline{ДвВідкр} \cdot ГотАвт;$$

$$ПамЗуп3 = ((V_{\text{верх}3} + \text{Ще}V_{\text{верх}3}) \cdot П2П3 + (V_{\text{низ}3} + \text{Ще}V_{\text{низ}3}) \cdot П4П3 + ПамЗуп3) \times \overline{ДвВідкр} \cdot ГотАвт;$$

...

$$ПамЗуп11 = ((V_{\text{верх}11} + \text{Ще}V_{\text{верх}11}) \cdot П10П11 + (V_{\text{низ}11} + \text{Ще}V_{\text{низ}11}) \cdot П12П11 + ПамЗуп11) \cdot \overline{ДвВідкр} \cdot ГотАвт;$$

$$ПамЗуп12 = ((V_{\text{верх}12} \cdot П11П12 + ПамЗуп12) \cdot \overline{ДвВідкр} \cdot ГотАвт.$$

Запишемо проміжні рівняння для переходу електроприводу лебідки на знижений рівень швидкості при русі кабіни ЛУ вгору [61-69]:

$$\begin{aligned} V_{\text{верхПон}2} &= ((V_{\text{верх}2} + \text{Ще}V_{\text{верх}2}) \cdot П1П2) \cdot CNT \cdot ГотАвт; \\ V_{\text{верхПон}3} &= ((V_{\text{верх}3} + \text{Ще}V_{\text{верх}3}) \cdot П2П3) \cdot CNT \cdot ГотАвт; \\ &\dots \\ V_{\text{верхПон}11} &= ((V_{\text{верх}11} + \text{Ще}V_{\text{верх}11}) \cdot П10П11) \cdot CNT \cdot ГотАвт; \\ V_{\text{верхПон}12} &= (V_{\text{верх}12} \cdot П11П12) \cdot CNT \cdot ГотАвт. \end{aligned}$$

Запишемо проміжні рівняння для переходу електроприводу лебідки на знижений рівень швидкості при русі кабіни ЛУ вниз [61-69]:

$$\begin{aligned} V_{\text{внизПон}1} &= (V_{\text{вниз}1} \cdot П2П1) \cdot CNT \cdot ГотАвт; \\ V_{\text{внизПон}2} &= ((V_{\text{вниз}2} + \text{Ще}V_{\text{вниз}2}) \cdot П3П2) \cdot CNT \cdot ГотАвт; \\ V_{\text{внизПон}3} &= ((V_{\text{вниз}3} + \text{Ще}V_{\text{вниз}3}) \cdot П4П3) \cdot CNT \cdot ГотАвт; \\ &\dots \\ V_{\text{внизПон}10} &= ((V_{\text{вниз}10} + \text{Ще}V_{\text{вниз}10}) \cdot П11П10) \cdot CNT \cdot ГотАвт; \\ V_{\text{внизПон}11} &= ((V_{\text{вниз}11} + \text{Ще}V_{\text{вниз}11}) \cdot П12П11) \cdot CNT \cdot ГотАвт. \end{aligned}$$

Сигнал «Зниженого рівня швидкості» буде виникати в автоматичному режимі при будь-якому проміжному сигналі $V_{\text{верхПон}2} \dots V_{\text{верхПон}12}$ або $V_{\text{внизПон}1} \dots V_{\text{внизПон}11}$. У ручному режимі знижений рівень швидкості повинен при русі вгору або русі кабіни ЛУ вниз [61-69]:

$$\begin{aligned} \text{Пон} &= ((V_{\text{верхПон}2} + V_{\text{верхПон}3} + \dots + V_{\text{верхПон}12}) + (V_{\text{внизПон}1} + \\ &+ V_{\text{внизПон}2} + \dots + V_{\text{внизПон}11})) \cdot ГотАвт + ГотРуч \cdot (V_{\text{верх}} + V_{\text{вниз}}). \end{aligned}$$

Зняття електромагнітного гальма відбуватиметься при сигналах $V_{\text{верх}}$ або $V_{\text{вниз}}$ і готовності або автоматичного режиму, або ручного режиму [61-69]:

$$Гальмо = (Вверх + Вниз) \cdot (ГотАвт + ГотРуч).$$

4.3.3 Розроблення блоку керування «аварії»

Сигнали аварій умовно класифікуємо на декілька груп [48-51]:

Якщо рух від одного поверху до наступного поверху перевищує час проходження електроприводу лебідки відстані в один поверх, отже, давач наступного поверху вийшов з ладу [61-69]:

$$АварДвШах = T2 \uparrow^{7c};$$

$$T2 = (П1П2 + П2П3 + \dots + П11П12) + (П12П11 + П11 + П10 + \dots + П2П1).$$

Якщо сигнали на відкриття або закриття дверей кабіни ЛУ існують досить довго, отже, давач положення дверей вийшов з ладу [61-69]:

$$АварДчДв = ДвВідкр \uparrow^{1c} + ДвЗакр \uparrow^{1c}.$$

Якщо при русі вгору або вниз кабіни ЛУ з фази А енкодера не надходять імпульси, отже, енкодер вийшов з ладу [61-69]:

$$АварЕнк = T3 \uparrow^{1c};$$

$$T3 = (Вверх + Вниз) \cdot \bar{А}.$$

Режим аварії виникне при аварії давачів шахти, або давачів положення дверей, або енкодера, або електроприводу дверей, або електроприводу лебідки, або при натиснутій аварійній кнопці і буде існувати до тих пір, поки не буде натиснута кнопка скидання аварії [61-69]:

$$\begin{aligned} \text{Аварія} = & (\text{АварДчШах} + \text{АварДчДв} + \text{АварЕнк} + \text{АварПривДв} + \\ & + \text{АварПривЛеб} + \text{Аварія}) \cdot \overline{\text{СкидАвар}}. \end{aligned}$$

4.3.4 Розроблення блоку індикації

Існуючі сигнали індикацій умовно класифікуємо на наступні групи.

Лампа індикації «Пуск» буде працювати, поки є готовність автоматичного або ручного режиму роботи СК [61-69]:

$$\text{ІндПуск} = \text{ГотАвт} + \text{ГотРуч}.$$

Лампа індикації «Стоп» буде працювати, поки немає ні готовності автоматичного, ні готовності ручного режиму роботи СК [61-69]:

$$\text{ІндСтоп} = \overline{\text{ГотАвт}} + \overline{\text{ГотРуч}}.$$

Лампа індикації «Аварія» буде працювати лише при режимі «Аварія»:

$$\text{ІндАвар} = \text{Аварія}.$$

Лампа індикації «Несправність давачів у шахті» буде працювати при виході з ладу давачів у шахті і існувати до тих пір, поки не буде натиснута кнопка скидання аварії [61-69]:

$$\text{ІндДчШах} = (\text{АварДчШах} + \text{ІндДчШах}) \cdot \overline{\text{СкидАвар}}.$$

Лампа індикації «Несправність давачів положення дверей» буде працювати при виході з ладу давачів положення дверей і існувати до тих пір,

поки не буде натиснута кнопка скидання аварії [61-69]:

$$ИндДчДв = (АварДчДв + ИндДчДв) \cdot \overline{СкидАвар}.$$

Лампа індикації «Несправність енкодера» буде спрацьовувати при виході з ладу енкодера і існувати до тих пір, поки не буде натиснута кнопка скидання аварії [61-69]:

$$ИндЕнк = (АварЕнк + ИндЕнк) \cdot \overline{СкидАвар}.$$

Лампа індикації «Готовність до автоматичного режиму» буде спрацьовувати, коли кабіна ЛУ буде знаходитися на будь-якому поверсі не в режимі «Аварія» або при виникненні сигналу «Готовність автоматичного режиму» [61-69]:

$$ИндГотАвт = (П1 + П2 + \dots + П12) \cdot \overline{Аварія} + ГотАвт.$$

На основі наведених у п. 4.3 логічних рівнянь, а також з урахуванням підключення вхідних і вихідних ланцюгів до ПЛК, представленого на електричній принциповій схемі, налагодимо програму в інтегрованому середовищі розробки додатків для ПЛК фірми OVEN CODESYS [61-69].

4.4 Висновки до четвертого розділу

Для більш детального розуміння алгоритму автоматизації була складена блок-схема алгоритму автоматизації електроприводу ЛУ. Складено список сигналів і пульти керування в машинному відділенні, на даху і в кабіні.

Було проведено синтез функціональної схеми системи на основі

написаного алгоритму автоматизації. Далі для реалізації алгоритму автоматизації були обрані елементи автоматизації.

Було проведено синтез електричної принципової схеми на основі обраних елементів силової частини та ланцюга керування.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі магістра було спроектовано автоматизований електропривод для вантажного ліфта в 12-поверховому житловому будинку. Наведено короткий опис системи та її кінематичні зв'язки.

Під задані вимоги до електроприводу ЛУ було вирішено використовувати регульований асинхронний електропривід із законом керування $U/f = const$. Тому слідом було задано цикл роботи, за яким виконали необхідний розрахунок потужності АЕД із короткозамкненим ротором. Ним виявився ЕД краново-металургійної серії АМТК180МА12 потужністю 7,5 кВт для повторно-короткочасного режиму ($S3=100\%$), спеціально призначений для роботи в підйомних механізмах і в системі «ЧП-АЕД». Далі обрано до встановлення черв'ячний редуктор VF-150-20 і проведено приведення статичних моментів і моментів інерції до осей. За необхідним циклом роботи система пройшла попередню перевірку на продуктивність і нагрів.

Виходячи з потужності обраного ЕД був обраний ЧП від фірми-виробника Omron спеціальної ліфтової серії CIMRL7Z4011 потужністю 11 кВт. Слідом були обрані вхідний і вихідний дроселі моделі L7Z-PUZ4011-CE та IMF-11/25-4.

Було використано `hgKZAD.m` для розрахунку опорів АЕД із короткозамкненим ротором за всіма іншими технічними параметрами в середовищі MATLAB. Далі без зусиль були побудовані статичні та динамічні характеристики за допомогою також готових програм `haradkz.m` і `zipchad.m`.

Якщо динамічні характеристики відповідають вимогам, то в статичних характеристиках пускова сила струму і момент не збігаються з реальними, оскільки розрахунок вводився через Т-подібну схему заміщення, яка, швидше за все, не враховує ефект витіснення сили струму в роторі. Але необхідні точки на механічних характеристиках задовольняють встановленим вимогам, тобто характеристики пройшли через точки з робочим і пониженим рівнем швидкості при підйомі і спуску кабіни ЛУ.

За виведеним інтегральним показником з коду по побудові перехідних процесів були проведені останні перевірки обраного силового обладнання електроприводу ЛУ. Вибрані елементи успішно пройшли перевірку. У необхідності вибирати ЕД і ЧП із меншою потужністю не було потреби.

Виходячи зі словесного опису алгоритму автоматизації даної системи були складені списки необхідних сигналів і написані логічні рівняння, на мові програмування – східчасті діаграми.

В ході розробки системи автоматизації було прийнято рішення: для зменшення кількості використовуваних датчиків технологічної інформації в шахті ліфта для переходу електроприводу лебідки на знижений рівень швидкості використовувати інкрементальний енкодер, який здешевлює і спрощує всю систему автоматизації.

Була розроблена функціональна схема системи та підібрано необхідне обладнання для реалізації системи автоматизації електроприводу ЛУ.

Вибір припав на Овен ПЛК110-24.60. К-М з модулем дискретних входів MB110-224.16ДН, які на сьогоднішній день легкодоступні і відносно дешеві, також дане обладнання має швидкодіючі входи для реалізації системи автоматизації з інкрементальним енкодером.

Далі були обрані потрібні елементи системи автоматизації, а саме оптичний датчик типу OU N31P5-31N-24-LZ, інкрементальний енкодер E40S8-500-3-N-24, пристрій контролю завантаження кабіни ЛУ УКЗ-ВТ.1.0.3240. УЗ, привід дверей VFD-002DD, електромагнітне гальмо ТКГ-500 У2 і блок живлення RSP-75-24 для живлення всього ланцюга системи автоматизації. За обраною елементною базою проведено синтез електричної принципової схеми і розроблено програмне забезпечення в інтегрованому середовищі компанії Овен CODESYS.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ліфти : навч. посіб. / О. В. Григоров та ін. Харків : НТУ «ХП», 2016. 172 с.
2. Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів : НПАОП 0.00-1.02-08 : затв. 01.09.2008 № 190 / Держ. комітет України з пром. безпеки, охорони праці та гірн. нагляду. Харків : Вид-во «Індустрія», «Основа», 2008. 192 с. ISBN 978-966-2160-26-0; ISBN 978-966-699-416-8.
3. Методичні вказівки для виконання курсової, самостійної та практичних робіт з дисципліни «Безпека експлуатації ліфтів та спецтехніки» (для студентів 5 курсу денної форми навчання спец. 7.17020201, 8.17020201 «Охорона праці (за галузями)») / В. Х. Далека, В. М. Шавкун. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 61 с.
4. Janovsky L. Elevator Mechanical Design. U.S. : Elevator World, INS, 1999. (Reprint 2004).
5. Електричні машини і апарати : навчальний посібник / Ю. М. Куценко та ін. Київ : Аграрна освіта, 2013. 449 с. ISBN 978-966-2007-38-1
6. Електричні машини. Розділ: Асинхронні машини [Електронний ресурс] : методичні вказівки і контрольні задачі до практичних занять з дисципліни “Електричні машини” для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр” напряму підготовки 6.050702 “Електромеханіка” / Ю.М. Васьковський, О.А. Гераскін. Електронні текстові дані (1 файл: 1,49 Мбайт). Київ : НТУУ «КП», 2013. 38 с.
7. Загірняк М.В., Невзлін Б.І. Електричні машини : підручник 2-ге вид., переробл. і доповн. Київ : Знання, 2009. 399 с.
8. Електричні машини. Курс лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» спеціальності 141 Електроенергетика електротехніка та

електромеханіка. Електронні текстові дані (1 файл: 12,47 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 211 с.

9. Розводюк М.П. Електричні машини. Задачі для самостійного розв'язування [Електронний ресурс] : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2016. 65 с. URL: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4875>

10. Електричні машини та електропривод побутової техніки: Підручник / М.Г. Попович та ін. ; за ред. Д.Б. Головка, М.Г. Поповича. 2-ге вид., стереотип.. К.: Либідь, 2004. 352 с. ISBN 966-06-0336-3

11. Худяєв О.А., Обруч І.В., Асмолова Л.В. Частотне керування асинхронним електроприводом : навч. посібник / Харків : Право, 2023. 250 с.

12. Шавьолкін О.О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії [Електронний ресурс] : навчальний посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 403 с. URL: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4154>

13. Сенько В.І., Трубіцин К.В., Чибеліс В.І. Інвертори і перетворювачі частоти [Електронний ресурс] : монографія. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. 300 с.

14. Победаш К.К., Святненко В.А. Силові напівпровідникові прилади і перетворювачі електричної енергії [Електронний ресурс] : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 244 с.

15. Пуск, частотне керування і дослідження асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором: навч. посіб. / П.А. Болкот та ін. Львів: ТзОВ "Простір М", 2019. 168 с.: іл.

16. Бунь В.П., Баган Т.Г. Теорія автоматичного керування [Електронний ресурс] : підруч. для здобувачів ступеня бакалавра за спец. «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». У 2-х ч. Ч. 1. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2025. 160 с.

17. Штіфзон О.Й., Новіков П.В., Бунь В.П. Теорія автоматичного управління. Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»,

освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 144 с.

18. Штіфзон О.Й., Новіков П.В. Теорія автоматичного управління. Нелінійні та дискретні системи. Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 98 с.

19. Трипутень М.М., Воскобойник Є. К. Теорія автоматичного управління. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни для студентів напряму підготовки 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Ч. 1. Дніпро : НТУ «ДП», 2018. 93 с.

20. Навчальний посібник з дисципліни "Теорія автоматичного керування" [Електронний ресурс] : електрон. вид. комбін. використання на DVD-ROM. у 2 ч. Ч. 1. / Гуров А.П., Ольшевський С.І., Черно О.О., Бугрім Л.І. Миколаїв : НУК, 2018.

21. Корпань Я. В. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного управління» для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології денної форми навчання [Електронний ресурс]. Черкаси : ЧДТУ, 2019. 124 с.

22. Дідух Л.Д. Механіка: Підручник. Тернопіль : Підручники і посібники, 2016. 428 с. ISBN 978-966-07-2990-2

23. Павловський М.А. Теоретична механіка : Підручник для студентів вищих навчальних закладів. К. : Техніка, 2002. 512 с. ISBN 966-575-184-0

24. Прикладна механіка: Підручник / В.М. Булгаков та ін. Київ: ЦУЛ, 2021. 906 с. ISBN 978-611-01-2134-7

25. Філімоніхін Г.Б., Пирогов В.В., Олійніченко Л.С. Технічна механіка. Кінематика : навч.-метод. посібник / Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 31 с.

26. Мисник Л.Д., Капітан Р.Б. Технічна механіка [Електронний ресурс] : конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» з усіх технічних спеціальностей усіх форм навчання. Черкаси: ЧДТУ, 2021. 170 с. URL: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4770>

27. Правила улаштування електроустановок [Електронний ресурс] : офіційне видання. - К.: Міненерговугілля України, 2017. 617 с. URL: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4178>

28. Виробництво Eldin з виробництва електричних двигунів АМТК. URL: [https://elteh.com.ua/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B8-%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5-%D0%B0%D0%BC%D1%82%D0%BA/?page=5](https://elteh.com.ua/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B8/eldin/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B8-%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5-%D0%B0%D0%BC%D1%82%D0%BA/?page=5) (дата звернення: 12.10.2025)

29. V. Kharzhevskiy, G. Kalda. Methods of design and calculation of machines and mechanisms. Wydawnictwo: POLITECHNIKA RZESZOWSKA, 2025. 305 p. ISBN: 978-83-7934-759-9

30. Редуктор черв'ячний одноступеневий RV 150 20. URL: <https://prk.com.ua/reduktor-cher-v-yachnyj-odnostupenevyj-rv-150-20/> (дата звернення: 12.10.2025)

31. YASKAWA CIMR-L7Z4011 VARISPEED L7. URL: https://www.rgbautomatyka.pl/en/yaskawa-cimr-l7z4011-varispeed-l7-20009985_20009985.html?srsltid=AfmBOorNm2r9rWEAtDSAjIgDAUG34o-pfoJsL_Wm0l9_uFG7aSCeQ1DQ (дата звернення: 12.10.2025)

32. OMRON у світі та в Україні. URL: <https://omron-ukraine.com.ua/uk/> (дата звернення: 12.10.2025)

33. Дроселі для частотних перетворювачів. URL: <https://Electrodvigatel.org> (дата звернення: 12.10.2025)

34. Гоблик Н. М., Гоблик В. В. MATLAB в інженерних розрахунках. Комп'ютерний практикум: навчальний посібник, 2-ге видання, доповнене. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 130 с. ISBN 978-617-607-130-3

35. Гоблик Н.М., Кунинець А.В., Пелех Я.М. MATLAB в курсі вищої математики: навчальний посібник. Львів: СПОЛОМ, 2024. 243 с. ISBN 978-617-8450-26-7

36. Коржик М.В. Моделювання об'єктів та систем керування засобами MatLab [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 174 с.

37. Оптимізація технологічних процесів в середовищі MATLAB [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавр за освітньою програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології» спеціальності 174 (151) «Автоматизація, комп'ютерно- інтегровані технології та робототехніка» / Жученко А. І., Ладієва Л. Р., Дубік Р. М, Тюріна Є. О. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2024. 161 с.

38. Трасковецька Л., Боровик Л., Боровик О.. Програмування в середовищі MATLAB Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт: Навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2023. 103 с.

39. Контрольно-вимірювальні пристрої та засоби автоматизації АКУТЕК. URL: <https://aqteck.ua/> (дата звернення: 15.11.2025)

40. КАТАЛОГ 2019. URL: <https://e-matreshka.com/upload/Catalogues/pdf/%D0%9E%D0%B2%D0%B5%D0%BD/%D0%9E%D0%92%D0%95%D0%9D.pdf> (дата звернення: 15.11.2025)

41. Модуль введення дискретних сигналів MB110-224.16ДН. URL: <https://ddbі.com.ua/modul-vvedennia-dyskretnykh-syhnaliv-mv110-224.16dn/> (дата звернення: 15.11.2025)

42. Щілинний оптичний датчик 30-50 мм NPN. URL: <https://avr.in.ua/ua/p518455050-schelevoj-opticheskij-datchik.html> (дата звернення: 15.11.2025)

43. E40S8-5000-3-T-24 Енкодер, 24 В. URL: https://svaltera.in.ua/e40s8-5000-3-t-24-encoder-24-b/?srsltid=AfmBOopj1QNpP4iX9YJiNhR9mUpFGjpiqXo1DZ9PW1lNdqAzY-_puoGT (дата звернення: 15.11.2025)

44. Load weighing devices. URL: <https://vtlift.com/en/catalog/load-weighing-devices/> (дата звернення: 15.11.2025):

45. Перетворювач частоти для дверей ліфтів, 1х230 В, 0,4 кВт, підтримка синхронних і асинхронних двигунів, вбудований РЧ-фільтр, гальмівний ключ, гальмівний резистор, VFD004DD21AB. URL: <https://deltaww.com.ua/vfd004dd21ab-preobrazovatel-chastoty-dlya-dverey-liftov-1h230-v-04-kvt-podderzhka-sinhronnyh-i-asinhronnyh-dvigatoley-vstroennyu-rch-filtr-tormoznoy-klyuch-tormoznoy-rezistor-vfd004dd21ab?dsort=added&dorder=DESC> (дата звернення: 15.11.2025)

46. Гальмо колодкове ТКГ ТКГ-160, 200, 300, 400, 500 та рама до гальма ТКГ. URL: <https://elektrologistik.com.ua/ua/p1218788193-tormoz-kolodochnyj-tkg.html> (дата звернення: 15.11.2025)

47. Блок живлення RSP-75-24 Mean Well. URL: <https://ledprom.com.ua/catalog/bloki-pitaniya-24-volta/blok-pitaniya-rsp-75-24-mean-well.html> (дата звернення: 15.11.2025)

48. Проць Я.І., Данилюк О.А., Лобур Т.Б. Автоматизація неперервних технологічних процесів : навч. посібн. для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Тернопіль : ТДТУ ім. І.Пулюя, 2008. 239 с.

49. Савків В.Б., Шкодзінський О.К. Автоматизація виробничих процесів : Навчальний посібник / за ред. І.Я. Проця. Тернопіль: ТНТУ, 2011. 344 с. ISBN 978-966-305-038-6

50. І. М. Голінко Технічні засоби автоматизації [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійною

програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 63 с.

51. В.В. Шевченко, Г.С. Тимчик. Основи автоматизації технологічних процесів. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» за спеціальностями 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 111 с.

52. Інтелектуальні системи автоматизації (монографія) / О. Г. Аврунін та ін. Кременчук : НОВАБУК, 2021. 322 с. ISBN 978-617-639-347-4.

53. Автоматизація виробничих процесів. Технічні засоби автоматизації : навчальний посібник / В. Тичков та ін. Черкаси : ЧДТУ, 2020. 321 с.

54. Технічні засоби автоматизації : навчально-методичний посібник / ред. А. Бабіченко. Харків : Мадрид, 2021. 217 с.

55. Любицький С., Новіков П. Основи побудови комп'ютерно-інтегрованих систем : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 77 с.

56. Дудюк Д., Мазепа С. Гнучке автоматизоване виробництво і роботизовані комплекси : навчальний посібник. Київ : Ліра, 2019. 278 с.

57. Пупена О. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI : навчальний посібник. Київ : Ліра-К, 2020. 594 с.

58. Верба І. І., Даниленко О. В., Самойленко О. В. Обладнання автоматизованого виробництва. Сучасні тенденції розвитку систем автоматизації : Начальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 260 с.

59. Складанний Д., Тюріна Є. Промислові комп'ютерні мережі: навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 54 с.

60. Абракітов В. Е. Конспект лекцій з курсу «Автоматизація технологічних процесів» (для студентів 1 курсу денної форми навчання освітнього рівня

«бакалавр» галузі знань 26 – Цивільна безпека спеціальності 263 – Цивільна безпека. Охорона праці). Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 80 с.

61. Програмно-технічне забезпечення комп'ютерно-інтегрованих систем. Мови програмування стандарту ІЕС 61131-3 : практикум та курсова робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / уклад. М. В. Коржик ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл 1 МБайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 72 с.

62. Галкін П. В., Ключник І. І. Програмування ПЛК в CODESYS : навчальний посібник. Харків : ФОП Панов А. М., 2019. 92 с. ISBN 978-617-7722-62-4

63. Hugh J. Automating Manufacturing Systems with PLCs, GNU Free Documentation, 2008. 868 p.

64. Iustinus Tim Avery Codesys Cel Publishing, 2012. 96 p.

65. ДСТУ EN 61131-3:2022 Програмовані контролери. Частина 3. Мови програмування (EN 61131-3:2013, IDT; ІЕС 61131-3:2013, IDT). Вид. ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2022.

66. Тігарєв А. М. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи “Програмування ПЛК. Вивчення мови релейних діаграм (LD)” / А. М. Тігарєв. Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2016. 20с.

67. Hanssen H. Dag. Programmable Logic Controllers: A Practical Approach to ІЕС 61131-3 using CoDeSys, Wiley, 2015. 408 p.

68. ІЕС 61131-3. Programmable controllers. Part 3. Programming languages. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2003. 226 p.

69. Parr E. A. Programmable Controllers : An Engineer's Guide. Oxford : Newnes, 2014. 336 p.

70. Мартинюк В.В., Корецька Л.О., Федула М.В., Савенко О.С.. Кваліфікаційна робота : метод. рек. і настанови до виконання кваліфікаційної

роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти за спец. 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Хмельницький : ХНУ, 2024. 25 с.

ДОДАТОК А

СТАТТЯ В ЖУРНАЛІ ВИМІРЮВАЛЬНА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА
ТЕХНІКА В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

УДК 681.5:629.3

DOI:

МОВЧАН Ю.В.

Студент АКІТРМ-24-1

МАЙДАН П.С.<https://orcid.org/0000-0003-3319-8730>maidanps@gmail.com**МАКАРИШКІН Д.А.**<https://orcid.org/0000-0003-3447-811X>makaryshkide@khmnu.edu.ua**СОКОЛАН Ю.С.**<https://orcid.org/0000-0002-0273-5719>sokolan.julia@gmail.com

Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВАНТАЖНОЇ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ

Ліфтова установка розглядається в якості єдиної електромеханічної системи, яка, в свою чергу, поділяється на механічну (кабіна, противага, кінематичні зв'язки та редуктор) та електричну (електродвигун і статичний перетворювач) підсистеми. Режим роботи електроприводу ліфтової установки залежить від призначення підйомника і умов використання. Так, для вантажних ліфтових установок характерний більш рівномірний графік навантаження із певною циклічністю через транспортування вантажів. У нерегульованому електроприводі ЛУ зі швидкістю руху до 2 м/с електричною підсистемою є одно- або двошвидкісний асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором. В даний час все більше переходять на використання в будівлях частотно-регульованого асинхронний електродвигун, так як таке рішення дозволяє поліпшити зручність пересування та точність зупинки кабіни, а також має певний енергозберігаючий ефект.

В роботі виконано дослідження характеристик асинхронного електродвигуна для автоматизованою електроприводу вантажної ліфтової установки. Представлено класифікацію електроприводів ліфтових установок з поясненням переваг та недоліків. Природні механічні та електромеханічні характеристики були побудовані за допомогою спеціалізованої програми, що працює в програмному комплексі MATLAB. Оскільки фірми-виробники асинхронних електродвигунів найчастіше не вказують реального опору асинхронних електродвигунів із короткозамкненим ротором, опір даного електродвигуна був розрахований в програмному комплексі MATLAB. Перехідні процеси електроприводу ліфтової установки також було побудовано за допомогою програми перехідних процесів в системі частотний перетворювач – асинхронний електродвигун із задавачем інтенсивності на базі Т-подібної схеми заміщення в програмному середовищі MATLAB.

Ключові слова: електропривод, асинхронний двигун, частотний перетворювач, ліфтова установка, MATLAB.

MOVCHAN Yuriy, MAIDAN Pavlo,**MAKARYSHKIN Denys, SOKOLAN Iuliia**

Khmelnitskyi National University

**MODELING THE OPERATION OF THE ELECTRIC DRIVE OF A FREIGHT ELEVATOR
INSTALLATION**

An elevator installation is considered as a single electromechanical system, which, in turn, is divided into mechanical (cabin, counterweight, kinematic links, and gearbox) and electrical (electric motor and static converter) subsystems. The operating mode of the elevator's electric drive depends on the purpose of the elevator and the conditions of use. For example, freight elevators are characterized by a more uniform load schedule with a certain cyclicity due to the transportation of goods. In an unregulated electric drive with a speed of up to 2 m/s, the electrical subsystem is a single- or two-speed asynchronous electric motor with a squirrel-cage rotor. Currently, there is a

growing trend towards the use of frequency-controlled asynchronous electric motors in buildings, as this solution improves the convenience of movement and the accuracy of the car's stopping, and also has a certain energy-saving effect.

The paper presents a study of the characteristics of an asynchronous electric motor for an automated electric drive of a freight elevator. A classification of electric drives for elevator installations is presented, with an explanation of their advantages and disadvantages. The natural mechanical and electromechanical characteristics were constructed using a specialized program running in the MATLAB software complex. Since manufacturers of asynchronous electric motors often do not indicate the actual resistance of asynchronous electric motors with a squirrel-cage rotor, the resistance of this electric motor was calculated in the MATLAB software package. The transient processes of the electric drive of the elevator installation were also constructed using the transient processes program in the frequency converter-asynchronous electric motor system with an intensity controller based on a T-shaped equivalent circuit in the MATLAB software environment.

Keywords: electric drive, asynchronous motor, frequency converter, elevator installation, MATLAB.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ

ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОКІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Загально відомо, що ліфтова установка (ЛУ) розглядається в якості єдиної електромеханічної системи, яка, в свою чергу, поділяється на механічну (кабіна, противага, кінематичні зв'язки та редуктор) та електричну (електродвигун (ЕД) і статичний перетворювач) підсистеми. Кабіни ЛУ є у виробництві - різних габаритних розмірів залежно від вантажопідйомності, розмірів вантажів, що перевозяться, оснащені однією або двома дверима (так звані наскрізні кабіни). Вантажні ЛУ, як відомо, виготовляються не лише різної вантажопідйомності, а і розраховані на дві чи більше зупинок і можуть бути виконані для роботи з провідником або без нього.

Переміщення кабіни ЛУ виконується спеціальним підйомним канатом, що забезпечує передачу зусиль від приводного ЕД кабіни [1, 2].

У нерегульованому електроприводі ЛУ зі швидкістю руху до 2 м/с електричною підсистемою є одно- або двошвидкісний асинхронний електродвигун (АЕД) із короткозамкненим ротором. В даний час все більше переходять на використання в будівлях частотно-регульованого АЕД, так як таке рішення дозволяє поліпшити зручність пересування та точність зупинки кабіни, а також має певний енергозберігаючий ефект [3, 4].

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Як відомо, ліфт – підйомний механізм, призначений для транспортування людей або вантажу по вертикальному напрямку, тому буде розглянуто лише конструкцію вантажного ліфту 12-поверхового житлового будинку. Відомо, що все обладнання ЛУ знаходиться в шахті і машинному відділенні, яке може розташовуватися в залежності від особливостей виконуваної роботи. Підйом кабіни ЛУ здійснюється за допомогою ЕД, який з'єднаний безпосередньо з підйомним механізмом або через редуктор [1, 2].

Найчастіше використовують до встановлення кінематичні схеми з верхнім розташуванням приводного механізму, так як дане розташування приводу підвищує ККД ЛУ за рахунок зниження числа перегинів каната підйомного механізму.

При наявності встановленої противаги система буде врівноважена, оскільки сила тяжіння противаги буде рівною силі тяжіння кабіни ЛУ із вантажем, отже, ЕД необхідно буде лише збільшувати крутний момент, який буде компенсувати силу тертя в механічній передачі. В іншому випадку ЕД необхідно буде розвивати додатковий електромагнітний момент через силу тяжіння кабіни ЛУ, що призводить до збільшення потужності, габаритів, вартості встановленого ЕД [1, 2].

Через нерівномірність навантаження системи ЛУ використання противаги хоч і не повністю, але знижує величину навантаження на встановлений ЕД. Також знижуються масо-габаритні характеристики і величини моментів, які прикладаються до електромагнітного гальма при вимкненому ЕД.

Режим роботи електроприводу ЛУ залежить від призначення підйомника і умов використання. Так, для вантажних ЛУ характерний більш рівномірний графік навантаження із певною циклічністю через транспортування вантажів [1, 2].

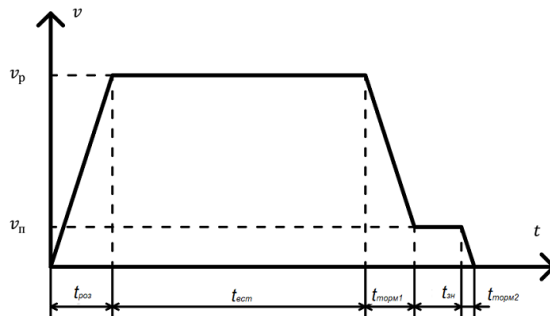


Рис. 1. Циклограма роботи вантажної ліфтової установки

Можна класифікувати наступні часові етапи руху вантажної ЛУ (рис. 1) [1, 2]:

- розгін до встановленого рівня швидкості ($t_{розг}$);
- рух з встановленим рівнем швидкості ($t_{вст}$);
- перехід на знижений рівень швидкості ($t_{торм1}$);
- рух на зниженому рівні швидкості ($t_{зн}$);
- гальмування з необхідною точністю ($t_{торм2}$).

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою роботи є: дослідження характеристик асинхронного електродвигуна для автоматизованого електроприводу вантажної ліфтової установки.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Загально відомо, основні технічні характеристики системи керування (СК) ЛУ:

- вантажопідйомність - максимальна маса вантажу, яку здатна підняти ЛУ;
- швидкість руху кабіни - визначається зі стандартного ряду величин. Знижений рівень швидкості призначено для точної зупинки кабіни ЛУ. Також для ревізії обладнання шахти ЛУ передбачено ревізійний рівень швидкості до 0,36 м/с [1, 2];
- висота підйому кабіни - залежить від архітектурних рішень конструкції будівлі.

Електропривід ЛУ повинен відповідати наступним вимогам [3, 4]:

- забезпечення плавності вертикального руху кабіни ЛУ без будь-яких ривків;
- можливість роботи на реверс;
- можливість розгону і гальмування (для ЛУ характерна велика кількість пусків і зупинок);
- вказана точність зупинки;
- забезпечення мінімального часу перехідних процесів з урахуванням обмеження по допустимому рівню прискорення;
- наявність зворотного зв'язку (забезпечує контроль положення і рівня швидкості, а також досягається зручність пересування і необхідна точність зупинки).

Точність зупинки кабіни ЛУ повністю залежить від рівня швидкості руху кабіни, гальмівного моменту і інерції кабіни із розташованим вантажем, тому при великих рівнях швидкостей потрібно знижувати рівень швидкості перед повною зупинкою для забезпечення більш точної зупинки кабіни ЛУ в встановленому

діапазоні меж. Діапазон регулювання рівнів швидкості електроприводу зазвичай більше десятка значень. Лише використання замкнутих СК електроприводом дозволяє здійснити вказану продуктивність [1, 2].

Класифікація варіантів електроприводів, що використовуються для ЛУ представлена на рисунку 2.

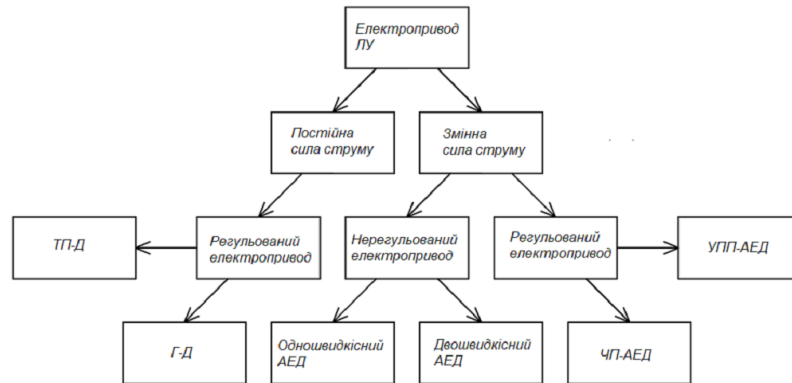


Рис.2. Загальний вигляд класифікації електроприводів ліфтових установок

Нерегульований електропривід ЛУ змінної сили струму (рис. 2) - найпростіша система електроприводу ЛУ має в складі АЕД із короткозамкнутим ротором, який виконується з відносно великим значенням пускового моменту при невеликому значенні пускової сили струму і має підвищене ковзання. Пуск даного АЕД здійснюється безпосередньо подачею номінального рівня напруги на обмотку статора, а гальмування відбувається зняттям рівня напруги з обмотки статора і накладенням механічного гальма, що в свою чергу призводить до зносу колодок гальма. Також до недоліків даної системи електроприводу можна додати недостатньо високу точність зупинки, оскільки при різному завантаженні кабіни це призводить до різних величин гальмівного шляху. Тому дану систему використовують, зазвичай, в тихохідних ліфтах (швидкість руху до 0,5 м/с) при невеликій інтенсивності роботи і достатньо низькій висоті підйому [1, 2].

Найбільш поширена система електроприводу для ЛУ із двошвидкісним АЕД (рис. 2), який оснащено на статорі двома обмотками з різними значеннями пар полюсів, що дозволяє при подачі номінального рівня напруги на відповідну обмотку забезпечити необхідний рівень швидкості руху ЛУ (робочий або знижений) [3, 4].

Регульований електропривід ЛУ постійної сили струму (рис. 2) - в електроприводі постійної сили струму використовують, зазвичай, дві системи, а саме тиристорний перетворювач - електродвигун (ТП-ЕД) чи генератор - електродвигун (Г-ЕД), причому перша система електроприводу більш поширена, ніж друга. Це обумовлено малою інерційністю ТП в порівнянні з Г постійної сили струму, більш високим значенням ККД системи ТП-ЕД, ніж у системи Г-ЕД, меншим шумом і вібрацією за рахунок відсутності додаткового обертового перетворювача [3, 4].

Однак система електроприводу ТП-ЕД володіє цілим рядом недоліків: за рахунок наявності напівпровідникових ключів знижується коефіцієнт потужності системи електроприводу, виникають вищі гармонічні складові, отже, використання даної системи електроприводу при слабкій мережі живлення неактуально [1, 2].

Також через односторонню провідність напівпровідникових ключів для використання реверсу ЕД необхідно ускладнювати схему керування електроприводом. У такому випадку використовують реверсний перетворювач, що оснащено двома комплектами напівпровідникових мостів.

ТП забезпечує плавну зміну рівня напруги на якорі ЕД постійної сили струму, отже, плавну зміну рівня швидкості. Електропривод постійної сили струму володіє хорошими регульовальними характеристиками і може забезпечити оптимальну діаграму руху з високою точністю зупинки кабіни ЛУ [1, 2].

Регульований електропривід ЛУ змінної сили струму (рис. 2) - широке використання отримали регульовані асинхронні електроприводи ЛУ (із рівнями швидкості руху в діапазоні від 1 до 2 м/с), оскільки дані системи дозволяють підтримувати величину прискорення в перехідних процесах на рівні, близькому до допустимого, і практично виключити розкид діаграм руху при зміні навантаження кабіни. Таким чином, зменшуючи час переміщення кабіни і підвищуючи продуктивність ЛУ [1, 2].

Перевагою ЧП є відсутність стрибків сили струму в перехідних режимах, що дає збільшення терміну служби ЕД і апаратури комутації за рахунок зниження динамічного навантаження на механічні частини електроприводу ЛУ [3, 4].

Регулювання координат здійснюється за допомогою зміни величин частоти і рівня напруги за наступним законом $U/f = const$ таким чином механічна характеристика ЕД при збереженні величини критичного моменту переміщається вздовж осі ординат. Для отримання необхідної величини частоти використовується широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), де імпульси рівнів напруги мають однакову амплітуду, а ширина змінюється з метою зміни середнього значення рівня напруги, отже, для отримання близького до синусоїдального значення рівня напруги необхідно спочатку створювати короткі, потім широкі і потім знову короткі імпульси. Оскільки частота ШІМ достатньо висока (приблизно 6 кГц), то АЕД внаслідок своєї інерційності не буде реагувати на швидко зміну рівня напруги [5, 6].

Дану СК виконують замкнутою з метою отримання високих динамічних властивостей, близьких до характеристик регульованого електроприводу постійної сили струму (рис. 2) [5, 6].

Для електроприводу вантажної ЛУ в 12-поверховому житловому будинку задано умовно «середній» цикл роботи для розрахунку і вибору оптимального ЕД. Ним виявився АЕД із короткозамкненим ротором, для заданого типу механізму розрахований і обраний АЕД з короткозамкненим ротором серії АМТК з повторно-короткочасним режимом роботи ($S_3=100\%$). Даний вид АЕД спеціально призначений для роботи з частотним перетворювачем.

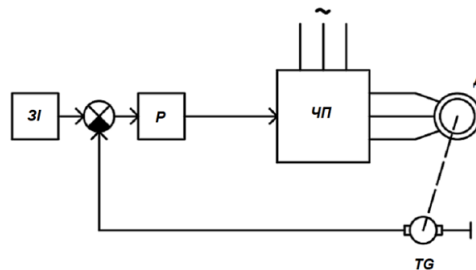


Рис. 3. Загальний вигляд замкнутої система керування асинхронним електроприводом ЛУ:
ЗІ – задавач інтенсивності; Р – П-регулятор; ЧП – частотний перетворювач; Д – АЕД; ТГ – давач рівня швидкості (тахогенератор)

Метою проведення розрахунку характеристик електроприводу ЛУ є забезпечення технологічних завдань, закладених у вимоги до вибраного електроприводу: технологічні швидкості робочого та зворотного ходу в усталеному режимі повинні бути забезпечені із вказаним ступенем точності [5, 6].

За допомогою природної характеристики оцінюють можливості АЕД при його роботі в механічній системі [1, 2]:

- витримувати граничні значення сили струму (чи моменту), які АЕД може розвивати короткочасно;
- забезпечувати переведення АЕД в генераторний режим та ін.

Природні механічні та електромеханічні характеристики були побудовані за допомогою спеціалізованої програми, що працює в програмному комплексі MATLAB (рис. 4). Оскільки фірми-виробники АЕД найчастіше не вказують реального опору АЕД з короткозамкненим ротором, опір даного АЕД був розрахований в програмному комплексі MATLAB [7, 8].

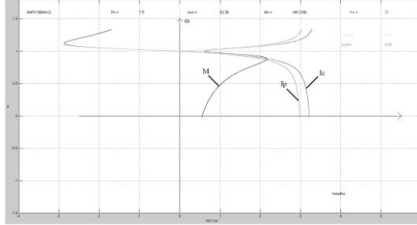


Рис. 4. Графічні залежності природних механічної та електромеханічної характеристик АЕД

Розрахунок перехідних процесів потрібно виконати для наступних характеристик [9, 10]:

- оцінки механічних і електричних перевантажень;
- визначення характеру і часу протікання;
- правильного вибору потужності АЕД, ЧП і апаратури СК;
- оцінки відповідності потужностей вимогам технологічного процесу робочого органу.

Для формування необхідного закону зміни рівня напруги керування на вході СК підключається спеціальний задавач інтенсивності (ЗІ), який здатний змінювати стрибок рівня напруги керування за лінійним законом. При досягненні необхідного рівня напруги керування вихід ЗІ припиняє наростання рівня напруги керування, таким чином на ЧП подається необхідний закон зміни рівня напруги, де в свою чергу значення рівня напруги керування визначає встановлену швидкість руху АЕД.

Стала часу ЗІ (рис. 3) не залежить від навантаження, оскільки при спуску порожньої кабіни ЛУ механічна стала часу і динамічний момент будуть змінюватись пропорційно моменту інерції самого електроприводу [9, 10].

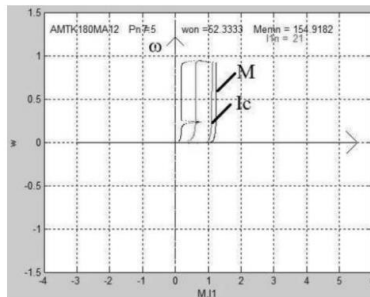


Рис. 5. Графічна залежність динамічних механічної та електромеханічної характеристик при русі кабіни ЛУ вгору

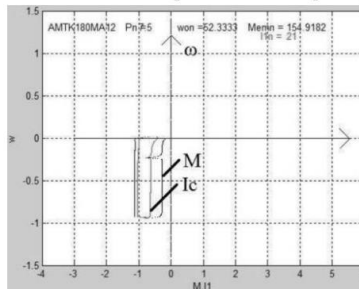


Рис. 6. Графічна залежність динамічних механічної та електромеханічної характеристик при русі кабіни ЛУ вниз

Перехідні процеси електроприводу ЛУ побудуємо за допомогою програми перехідних процесів в системі ЧП-АЕД із ЗІ на базі Т-подібної схеми заміщення в програмному середовищі MATLAB (рис. 5 та 6) [7, 8].

Відповідно, за графічними залежностями обох перехідних процесів видно (рис. 5 та 6), що перевантаження за моментом приблизно в $1,25M_{ном}$, що менше критичного моменту, за силою струму приблизно $1,1I_{ном}$.

В ході побудови графічних залежностей перехідних процесів з'ясувалося, що під час розгону АЕД не вистачає пускового моменту, тому використовувалося форсування рівня напруги при пуску АЕД, рівне 5%.

Також інтегральні показники були розбиті на ділянки при русі кабіни ЛУ вгору та вниз [9, 10]:

- розгін до робочого рівня швидкості і рух на робочому рівні швидкості (7,75 с);
- перехід на знижений рівень швидкості і рух на зниженому рівні швидкості (1,6 с);
- гальмування до повної зупинки (0,2 с).

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

За допомогою спеціалізованих програм в програмному середовищі MATLAB були обчислені обмоткові дані обраного АЕД з короткозамкненим ротором, побудовані природні та штучні механічні та електромеханічні характеристики, побудовані перехідні процеси в системі ЧП-АЕД із ЗІ на базі Т-подібної схеми заміщення.

У побудові статичних характеристик через задані точки використовувався метод регулювання $U/f = const$. Отримані характеристики проходять через необхідні координати.

Були побудовані перехідні процеси електроприводу ЛУ за необхідними навантажувальними діаграмами рівнів швидкості і моменту і розраховані інтегральні показники заданого циклу роботи. Виконана необхідна перевірка на перевантажувальну здатність, продуктивність, нагрів АЕД і ЧП.

References

1. Lifty : navch. posibnyk / O. V. Hryhorov [ta in.] ; Nats. tekhn. un-t "Kharkiv. politekhn. in-t". – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – 172 s.
2. Pravyla budovy i bezpechnoi ekspluatatsii liftiv : NPAOP 0.00-1.02-08: Zatv. 01.09.2008 №190 / Derzhavnyi komitet Ukrainy z promyslovoi bezpeky, okhorony pratsi ta hirnychoho nahliadu – Kh. : Vyd-vo «Industriia», «Osнова», 2008. – 192 s.
3. Elektrichni mashyny. Kurs leksii [Elektronnyi resurs] : navchalnyi posibnyk dlia zdobuvachiv stupenia bakalavra za osvithnoi prohramoiu «Elektromekhanichni systemy avtomatyzatsii, elektropryvod ta elektromobilnist» spetsialnosti 141 Elektroenerhetyka elektrotekhnika ta elektromekhanika / Yu. A. Haidenko ; KPI im. Ihoria Sikorskoho. – Elektronni tekstovi dani (1 fail: 12,47 Mbait). – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2024. – 211 s. – Nazva z ekrana.
4. Elektrichni mashyny i aparaty: navchalnyi posibnyk / Yu.M. Kutsenko, V.F. Yakovliev ta in. – K.: Ahrarna osvita, 2013. – 449 s. ISBN 978-966-2007-38-1.
5. Shavolkin O. O. Sylovi napivprovodnykovi peretvoriuvachi enerhii [Elektronnyi resurs] : navchalnyi posibnyk / O. O. Shavolkin ; Kharkiv. nats. un-t. misk. hosp-va im. O. M. Beketova. – Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2015. – 403 s. – rezhym dostupu: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4154>
6. Senko, V. I. Invertory i peretvoriuvachi chastoty [Elektronnyi resurs] : monohrafiia / Senko V. I., Trubitsyn K. V., Chybelis V. I. ; Vydavnytstvo Lira-K. – Elektronni tekstovi dani (1 fail: 4.27 Mbait). – Kyiv : Vydavnytstvo Lira-K, 2020. – 300 s. – Nazva z ekrana.
7. MATLAB v kursy vyshchoi matematyky: navchalnyi posibnyk / N. M. Hoblyk, A. V. Kunynets, Ya. M. Pelekh; Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, Natsionalnyi universytet "Lvivska politekhnika". — Lviv: SPOLOM, 2024. — 243 storinky: iliustratsii, tablytsi, hrafiky; 24,5 sm. — ISBN 978-617-8450-26-7.
8. Optymizatsiia tekhnolohichnykh protsesiv v sere dovys hchi MATLAB [Elektronnyi resurs] : navch. posib.

dlia zdobuvachiv stupenia bakalavr za osvitoiu prohramoiu «Avtomatyziatsiia, kompiuterno-intehrovani tekhnolohii» spetsialnosti 174 (151) «Avtomatyziatsiia, kompiuterno- intehrovani tekhnolohii ta robototekhnika» / A. I. Zhuchenko, L. R. Ladiieva, R. M. Dubik, Ye. O. Tiurina ; KPI im. Ihoria Sikorskoho. – Elektronni tekstovi dani (1 fail: 4,08 Mbait). – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho. – 2024. – 161 s. – Nazva z ekrana.

9. Bun, V. P. Teoriia avtomatychnoho keruvannia [Elektronnyi resurs] : pidruch. dlia zdobuvachiv stupenia bakalavra za spets. «Avtomatyziatsiia, kompiuterno-intehrovani tekhnolohii ta robototekhnika». U 2-kh ch. Ch. 1 / V. P. Bun, T. H. Bahan ; KPI im. Ihoria Sikorskoho. – Elektronni tekstovi dani (1 fail: 2,23 Mbait). – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, Vyd-vo «Politekhnik», 2025. – 160 s. – Nazva z ekrana.

10. Teoriia avtomatychnoho upravlinnia. Navchalnyi posibnyk [Elektronnyi resurs] : navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 151 «Avtomatyziatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii», osvitno-profesiina prohrama «Avtomatyziatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii kiber-enerhetychnykh system» ; KPI im. Ihoria Sikorskoho ; uklad.: O. Y. Shtifzon, P. V. Novikov, V. P. Bun. – Elektronni tekstovi dani (1 fail: 2,25 Mbait). – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2020. – 144 s. – Nazva z ekrana.

Надійшла / Paper received : заповнюється редакцією

Надрукована/Printed : заповнюється редакцією

ДОДАТОК Б

ТЕХНІЧНІ ДАНІ ОБЛАДНАННЯ

Таблиця Б.1 – Технічні дані АЕД типу АМТК180МА12 при ТВ=100%

Назва параметру	Значення
Номінальна потужність на валу, кВт	7,5
Номінальна напруга, В	380
Номінальна частота обертання, об/хв	480
Номінальна сила струму статора, А	21
Номінальний крутний момент, Нм	149
Коефіцієнт потужності в номінальному режимі	0,65
ККД, %	82
Пускова сила струму статора, А	126
Максимальний (критичний) момент, Нм	328
Пусковий момент, Нм	300
Момент інерції двигуна, кгм ²	0,204

Таблиця Б.2 - Характеристики редуктора VF-150-20

Назва параметру	Значення
Тип передачі	черв'ячний
Кількість ступенів передачі	одноступеневий
Розташування осей	Перехресне
Передаточне відношення	20
Номінальний крутний момент, Нм	1900
Сумарна міжосьова відстань, мм	150
Маса, кг	60
ККД, %	80
Максимальна частота обертання вхідного валу, об/хв	500

Таблиця Б.3 – Технічні характеристики ЧП типу CIMRL7Z4011

Характеристика	Значення
Максимально допустима вихідна потужність ЕД, кВт	11
Номінальна вихідна потужність, кВА	22
Номінальна вихідна сила струму, А	27
Максимальна вихідна напруга, В	3-фазна - 380, 400, 415, 440, 460, 480 - пропорційна вхідній напрузі
Діапазон регулювання частоти, Гц	0,01-120
Номінальна напруга, В	3-фазна - 380, 400, 415, 440, 460, 480
Номінальна частота, Гц	50/60
Номінальна вхідна сила струму, А	32
Допустиме відхилення напруги, %	+10, мінус 15
Допустиме відхилення частоти, %	±5
Максимальна сила струму, А	$1,5I_{ном}$ протягом 30 сек

Таблиця Б.4 – Технічні характеристики дроселя для ЕД тип IMF-11/25-4

Характеристика	Значення
Номінальна потужність, кВт	11
Номінальна сила струму, А	25
Номінальна напруга, В	400
Діапазон робочої частоти, Гц	0...60
Максимальна сила струму, А	$1,5I_{ном}$
Діапазон робочих температур, °	Мінус 10 ... +40
Ступінь захисту	IP00
Спосіб охолодження	Природне повітряне

Таблиця Б.5 - Опір асинхронного електродвигуна АМТК180МА12

Показник	Значення
I_{μ}	12,8496 А
x_{μ}	15,4946 Ом
x_1	1,6265 Ом
x_2'	1,6265 Ом
r_1	0,5554 Ом
r_2'	0,5806 Ом

Таблиця Б.6 – Розрахункові параметри для роботи в заданих точках

Розрахункові параметри		Підйом		Спуск	
		Діл. 2	Діл. 4	Діл. 7	Діл. 9
Швидкість АЕД	рад/с	49,23	12,31	-49,23	-12,31
	від. од.	0,941	0,235	-0,941	-0,235
Статичний момент	Нм	114,57	114,57	-114,57	-114,57
	від. од.	0,769	0,769	-0,769	-0,769
Задана частота	Гц	48,558	13,281	-48,558	-13,281
	від. од.	0,971	0,266	-0,971	-0,266
Задана напруга	В	213,654	58,436	-213,654	-58,436
	від. од.	0,971	0,266	-0,971	-0,266

Таблиця Б.7 - Коефіцієнт погіршення тепловіддачі

Параметр	Значення в залежності від швидкості ЕД		
	$\omega \leq 0,2 \cdot \omega_{ном}$	$0,2 \cdot \omega_{ном} \leq \omega \leq 0,8 \cdot \omega_{ном}$	$\omega \geq 0,8 \cdot \omega_{ном}$
β_i	$\beta_1 = \beta_0 = 0,95$	$\beta_2 = \frac{1 + \beta_0}{2} = 0,975$	$\beta_3 = 1$
t	$(0,2 + 1,2) \cdot 14 = 19,6c$	$(0,45 + 0,45) \cdot 14 = 12,6c$	$133,7 - 19,6 - 12,6 = 101,5c$

Таблиця Б.8 – Інтегральні показники перехідних процесів

Показник	Вверх			Вниз		
	Діл. 1-2	Діл. 3-4	Діл. 5	Діл. 6-7	Діл. 8-9	Діл. 10
Час перехідного процесу, с	7,75	1,6	0,2	7,75	1,6	0,2
Мех. енергія на валу, Вт*с	39254	1746	53	38963	2030	66
Ел. енергія на статорі, Вт*с	46839	2765	120	46371	3074	138
Втрати в перетворювачі, Вт*с	14751	2948	355	14656	2963	361
Активна енергія з мережі, Вт*с	61590	5714	476	61027	6037	499
Реактивна енергія із мережі, ВАр*с	20244	1878	156	20059	1984	164
Середньоквадратична сила струму, А	17,41	15,3	12,44	17,2	15,43	12,59
Кут повороту валу АЕД, рад	359,85	31,19	1,41	-360,13	-31,04	-1,35
Момент, Н*м	110,26			-110,26		
ККД	0,65					
Коефіцієнт потужності	0,95					
Сила струму статора, А	16,61			-16,61		
Рівень робочої швидкості, рад/с	49,23			-49,23		

ДОДАТОК В

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Таблиця В.1 - Технічні характеристики ПЛК110-24.60.К-М

Назва параметру	Значення
Напруга живлення, В	12/24DC
Споживана потужність, Вт	31
Сила струму живлення, мА	630
Кількість входів (швидкодіючі)	36 (4)
Мінімальна тривалість імпульсу, що сприймається дискретним входом:	
– для звичайних входів, мс	1,6
– для швидкодіючих (енкодер), мкс	5 (до 100 кГц)
Час перемикання транзисторного виходу зі стану «лог. 1» у стан «лог. 0», не більше	
– для швидкодіючих, мс	0,002 (виходи DO1...DO4)
– для звичайних, мс	5 (виходи DO5...DO24)
Температурний діапазон використання, °С	мінус 40°...+55°
Середній час напрацювання на відмову, год	60000

Таблиця В.2 – Режими роботи входів ПЛК110-24.60.К-М

Тип	Виходи енкодерів	Входи
Підключення двох інкрементальних енкодерів	A1 та B1	DI1-DI2
	A2 та B2	DI3-DI4
Підключення одного інкрементального енкодера з показчиком нульової позначки (ABZ енкодер)	A та B	DI1-DI2
	Показчик нульової позначки (Z)	DI3

Таблиця В.3 – Технічні характеристики MB110-224.16ДН

Назва параметру	Значення
Напруга живлення (номінальна)	
- перемінної сили струму, В	від 90 до 264 (номінальна 230), частота 47 до 63 Гц
- постійної сили струму, В	від 18 до 30 (номінальна 24)
Кількість дискретних входів	16
Час затримки дискретного входу при зміні сигналу з «0» до «1» і назад, не більше, мс	15
Інтерфейс зв'язку з Майстром мережі	RS-485
Середній час напрацювання на відмову, год	60000

Таблиця В.4 - Технічні характеристики оптичного датчика OU N31P5-31N-24-LZ

Назва параметру	Значення
Схема підключення	NPN - Замикаючий
Зона чутливості, мм	24
Максимальна робоча сила струму, мА	100
Діапазон робочих напруг, В	10...37 DC
Світлова індикація	є
Ступінь захисту	IP65
Захист від виникнення КЗ	є
Захист від переполюсовання	є
Діапазон робочих температур, °С	мінус 15°...+65°
Спектр випромінювання	інфрачервоний

Таблиця В.5 – Технічні характеристики енкодера E40S8-500-3-N-24

Назва параметру	Значення
Максимальна частота відклику, кГц	300
Максимально допустима частота обертання, об/хв	5000
Роздільна здатність, імп/об	500
Вихідні фази	A, B, Z
Керуючий вихід	NPN з відкритим колектором
Напруга живлення, В	12-24
Сила струму навантаження, не більше, мА	30
Ступінь захисту	IP50
Температура навколишнього середовища, °С	мінус 10°...+70°

Таблиця В.6 – Технічні характеристики УКЗ-ВТ.1.0.3240.У

Назва параметру	Значення
Напруга живлення, В	230 AC
Номінальна частота, Гц	50
Параметри релейного виходу:	
- тип виходу	«сухий контакт»
- кількість релейних виходів	3
- комутаційна напруга релейного виходу, В	24
- комутаційна сила струму релейного виходу, не більше, А	1
Максимальне значення навантаження на тензодатчики, кг	3200
Кількість тензодатчиків	4

Таблиця В.7 – Технічні характеристики електроприводу дверей VFD-002DD

Назва параметру	Значення
Максимальна потужність ЕД, Вт	200
Номінальна вихідна потужність, кВА	0,6
Номінальна вихідна сила струму, при постійному моменті, А	1,5
Максимальна вихідна напруга, В	Пропорційна вхідній напрузі
Вихідна частота, Гц	0-120
Несуча частота, кГц	10
Номінальна споживана сила струму, А	4,9
Діапазон напруги живлення, В	160...264
Діапазон частоти живлення, Гц	50/60 (47...63)
Спосіб охолодження	природне
Робоча температура, °С	мінус 10°...+40°

Таблиця В.8 – Технічні характеристики електродвигуна дверей ЕСМДВ9120GMS

Назва параметру	Значення
Номінальна потужність, Вт	70
Номінальна напруга, В	220
Номінальний момент, Н*м	1,9
Номінальна швидкість, об/хв	350
Номінальна сила струму, А	0,84
Максимальний момент утримання, Н*м	1,9
Максимальний момент, Н*м	3
Максимальна швидкість, об/хв	750
Робоча температура, °С	+5°...+45°
Клас захисту	IP20

Таблиця В.9 – Технічні характеристики гальма ТКГ-500 У2

Назва параметру	Значення
Розрахунковий гальмівний момент, Н*м	1500
Діаметр гальмівного шківця, мм	500
Тип гідроштовхача	ТЕ-80
Номінальна напруга, В	3800
Частота, Гц	50
Номінальне зусилля на штоці гідроштовхача, не менше, Н	800
Хід штоку гідроштовхача, не менше, мм	60
Час накладання колодок, с	0,4

Таблиця В.10 – Технічні характеристики джерела живлення RSP-75-24

Назва параметру	Значення
Тип	RSP-75-24
Діапазон вхідних напруг, В:	
- змінної сили струму	85...264
- постійної сили струму	120...370
Номинальна вихідна напруга, В	24
Максимальна вихідна сила струму, А	3,2
Максимальна вихідна потужність, Вт	76,8
Відхилення вихідної напруги, %	±1
Діапазон регулювання вихідної напруги, В	22,8...26,4
ККД, %	87
Наявні захисти	від КЗ, від перенапруги, від перевантаження, від перегріву
Сила струму споживання, А	0,9 при 115 В 0,5 при 230 В
Габарити, мм	159x97x30
Маса, гр	440

ДОДАТОК Г

СИГНАЛИ ТА КОМАНДИ ДЛЯ ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ

Таблиця Г.1 - Сигнали та команди, що використовуються в системі автоматизації

Перемінні	Позначення	Назва	Прийняте значення (одиниця)
Вхідні сигнали пульта керування, розташованого в машинному відділенні	ІндЖивл	Лампа індикації «Живлення»	+
	ІндПуск	Лампа індикації «Пуск»	+
	ІндСтоп	Лампа індикації «Стоп»	+
	ІндАвар	Лампа індикації «Аварія»	+
	ІндДчШах	Лампа індикації «Несправність давача в шахті»	+
	ІндДчДв	Лампа індикації «Несправність давача в двері»	+
	ІндЕнк	Лампа індикації «Несправність енкодеру»	+
	АварПривЛеб	Лампа індикації «Несправність приводу лебідки»	+
	АварПривДв	Лампа індикації «Несправність приводу двері»	+
ІндГотАвт	Лампа індикації «Готовність до автоматичного режиму»	+	
Вихідні сигнали пульта керування, розташованого в машинному	КлЖивл	Ключ «Живлення»	Ключ повернуто
	КпАвар	Кнопка «Аварія»	Натиснута 1 раз

Відділенні	Авт	Перемикач «Автоматичний/ручний режим»	Повернуто вліво
	Руч	Перемикач «Автоматичний/ручний режим»	Повернуто вправо
	СкидАвар	Кнопка «скидання аварії»	Натиснута 1 раз
	Пуск	Кнопка «Пуск»	Натиснута 1 раз
	Стоп	Кнопка «Стоп»	Натиснута 1 раз
Вихідні сигнали пульту керування, розташованого на даху кабіни ЛУ	КпВверх	Кнопка «Вверх»	натиснута
	КпВниз	Кнопка «Вниз»	натиснута
Вихідні сигнали кнопок виклику та панелі поверхових кнопок	Кп1...Кп12	Кнопки відправлення кабіни ЛУ на відповідний поверх	Натиснута 1 раз
	КпДвВікр	Кнопка «Відкрити двері»	Натиснута 1 раз
	КпДвЗакр	Кнопка «Закрити двері»	Натиснута 1 раз
Вхідні сигнали пульту керування в кабіні ЛУ	Перевантаж	Лампа індикації «Перевантаження»	+
Вхідні сигнали контролера	П1...П12	Давач положення кабіни на відповідному поверсі	+
	ДчДвВідкр	Давач відкритих дверей	+
	ДчДвЗакр	Давач закритих дверей	+
	Перевантаж	Давач перевантаження кабіни	+

	Перешкоди	Сигнал перешкоди дверей	+
	A	Вихідний сигнал фази A енкодера	Імпульси
Вихідні сигнали контролера	Вверх	Рух кабіни ЛУ ввверх	+
	Вниз	Рух кабіни ЛУ вниз	+
	Зниж	Перехід приводу лебідки на знижену швидкість	+
	Гальмо	Зняття гальма	+
	ДвЗакр	Закривання дверей кабіни ЛУ	+
	ДвВідкр	Відкривання дверей кабіни ЛУ	+

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Мовчан Юрій Володимирович

Тема: Метод керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 100

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є задачі проєктування автоматизованого електроприводу вантажної ліфтової установки
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі описано проблематику переміщення вантажу із використанням ліфтових установок та проведено постановку завдань досліджень. У другому розділі виконано моделювання роботи автоматизованого електроприводу ліфтової установки, розраховано навантажувальні діаграми швидкості руху та моментів кабіни ЛУ, потужності електродвигуна для приводу ліфтової установки, обрано тип електродвигуна та редуктора для приводу ліфтової установки. У третьому розділі проведено підбір основних елементів автоматизованого електроприводу ліфтової установки, а саме виконано підбір частотного перетворювача для автоматизованого електроприводу, вхідних і вихідних дроселів для системи. У четвертому розділі наведено дослідження системи автоматизації електроприводу ліфтової установки та розроблено алгоритм автоматизації керування ліфтовою установкою
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи, визначено приведені статичні і моменти інерції до валу електродвигуна, проведено розрахунок електродвигуна на нагрівання та продуктивність, проведено розрахунок статичних характеристик та перехідних процесів з інтегральними показниками роботи електроприводу ліфтової установки

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється аналізу існуючих технічних рішень

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

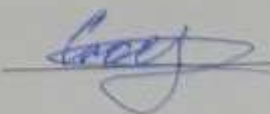
7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (75 / C)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Соколан Юлія Сергіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри БтаЦБ

" 16 " 12 2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
канд. техн.наук, доценту Корецька Л.О.

Мовчан Юрій Володимирович

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТРм-24-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

05.12.2025

дата



підпис

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Юрій МОВЧАН

Співавтор:

Назва: Мовчан_на_плагіат

Експерт: Денис МАКАРИШКІН

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1:6.7%

Коефіцієнт подібності 2:0.8%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 106

Інтервали: 0

Білі знаки: 2

Дата створення звіту: 2025-12-16 09:04:05.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-12-16

Доцент Микола Федула

Дата



експерт

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод керування автоматизованим електроприводом ліфтової установки

Автор: Мовчан Юрій Володимирович

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Науковий керівник: Макаришкін Денис Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 6,7% і адресується до 72 джерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Людмила КОРЕЦЬКА

Валерій МАРТИНЮК

Денис МАКАРИШКІН