

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Модернізація системи керування ліфтом багатоповерхового будинку»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕПА-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

освітня програма «Електромеханічні системи
автоматизації та електропривод»

Іван ВІКУЛОВ

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«21» 11 2023 р.

Керівник к.т.н., доц. кафедри КЕМСК

Валентин ГРАБКО

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«21» 11 2023 р.

Рецензент к.т.н., доц. кафедри КЕМСК

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«11» 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри КЕМСК

Микола МОШНОРИЗ

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«28» 11 2023 р.

Вінниця – 2023 року

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

“ 24 ” 10 2021 року

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Вікулову Івану Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація системи керування ліфтом багатоповерхового будинку

керівник роботи Гرابко Валентин Володимирович, к.т.н., доц. каф. КЕМСК

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 18 ” 09 2021 року

№ 247

2. Строк подання студентом роботи 28.11.2021

3. Вихідні дані до роботи: використовуючи базу патентної інформації а також фахові наукові видання на основі аналізу обмежень, які притаманні існуючим системам керування багатоповерховими ліфтами, розробити математичну модель, структурні схеми та мікропроцесорну реалізацію пристрою, що дозволяє модернізувати систему керування багатоповерховим ліфтом

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Коротка характеристика виробничого механізму і режими його роботи; 2 Розрахунок потужності двигуна; 3 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода; 4 Вибір електродвигуна та його перевірка; 5 Розрахунок і вибір силових елементів перетворювального агрегату; 6 Розробка системи керування електропривода; 7 Розробка математичної моделі САЕП; 8 Розрахунок статичних характеристик; 9 Розрахунок динамічних режимів. Оцінка стійкості; 10 Економічна частина; 11 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Актуальність, предмет та об'єкт наукового дослідження; Зовнішній вигляд
кінематична схема та тахограма роботи; Техніко-економічне порівняння
варіантів вибору САЕП; Функціональна схема системи керування; Структурна
схема системи керування; Принципова схема системи керування
Математична модель електропривода. Результати моделювання; Схеми
електрична принципова САЕП

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к.т.н., доц. каф. КЕМСК Грабко В.В.	24.10.2023	27.11.2023
Економічна частина	к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ Шулле Ю.А.	24.10.2023	29.11.2023
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О.В.	24.10.2023	28.11.2023

7. Дата видачі завдання 24.10.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	03.10.2023	
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	27.11.2023	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	28.11.2023	
4	Виконання розділу «Економічна частина»	27.11.2023	
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	28.11.2023	
6	Попередній захист МКР	28.11.2023	
7	Нормоконтроль МКР	28.11.2023	
8	Рецензування МКР	17.12.2023	
9	Захист МКР	14.12.2023	

Студент


(підпис)

Вікулов І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту


(підпис)

Грабко В.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 62.83

Вікулов І.В. Модернізація системи керування ліфтом багатоповерхового будинку. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма - електрична інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2023. – 126 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 22 назв; рис.:23; табл.:17.

В даній магістерській кваліфікаційній роботі розраховано потужність приводного двигуна, вибрано електричну машину – асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором. Здійснено перевірки за перегрівом та перевантажувальною здатністю. Також здійснено техніко-економічний розрахунок системи електропривода, за результатами розрахунку вибрано систему перетворювач частоти – асинхронний двигун. Розраховано та побудовано механічні характеристики для номінального режиму роботи. Було розроблено електричну принципову схему електропривода. Здійснено розрахунок динамічних режимів, система була перевірена на стійкість.

Ключові слова: ліфт, асинхронний двигун, перетворювач частоти, кабіна.

ABSTRACT

Vikulov I.V. Modernization of the elevator control system of a multi-story building. Master's qualification thesis on specialty 141 – Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics, educational program - electrical engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023. – 126 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 22 titles; fig.: 23; tabl.: 17.

In this master's qualification work, the power of the drive motor is calculated, an electric machine is chosen - an asynchronous motor with a short-circuited rotor. Checks for overheating and overload capacity have been carried out. The technical and economic calculation of the electric drive system was also carried out, based on the results of the calculation, the frequency converter - asynchronous motor system was selected. The mechanical characteristics for the nominal mode of operation are calculated and constructed. An electrical schematic diagram of the electric drive was developed. Dynamic modes were calculated, the system was tested for stability.

Keywords: elevator, asynchronous motor, frequency converter, cabin.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОГО МЕХАНІЗМУ І РЕЖИМИ ЙОГО РОБОТИ.....	9
2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА	16
2.1 Розрахунок та побудова навантажувальних діаграми та тахограми навантажувального органу та механізму.....	16
2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна	25
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	33
4 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ЙОГО ПЕРЕВІРКА.....	38
4.1 Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання.....	38
4.2 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску.....	39
5 РОЗРАХУНОК І ВИБІР СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ	43
5.1 Розрахунок джерела живлення і силового фільтра	43
5.2 Вибір транзисторів і шунтуючих діодів	46
5.3 Захист транзисторів від перенапруг	49
6 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	51
7 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ САЕП	56
8 РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	61
8.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна	61
8.2 Побудова механічної характеристики.....	66
9 РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ. ОЦІНКА СТІЙКОСТІ... 70	70
10 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	79
10.1 Розрахунок капітальних вкладень	79
10.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	80
10.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань	80
10.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу	80

10.2.3 Розрахунок витрат на силову електроенергію	82
10.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання	83
10.2.5 Інші витрати.....	85
10.3 Визначення економічної ефективності проекту	87
11 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	88
11.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту	89
11.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць у приміщенні для ТО.....	89
11.1.2 Електробезпека	92
11.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	94
11.2.1 Мікроклімат	94
11.2.2 Склад повітря робочої зони.....	95
11.2.3 Виробниче освітлення	96
11.2.4 Виробничий шум.....	97
11.2.5 Виробнича вібрація	99
11.2.6 Психофізіологічні фактори	100
11.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи керування багатоповерховим ліфтом в умовах дії загрозливих чинників в надзвичайних ситуаціях.....	102
11.3.1 Дослідження стійкості роботи системи керування багатоповерховим ліфтом в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	103
11.3.2 Дослідження стійкості роботи системи керування багатоповерховим ліфтом в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	105
11.4 Розробка превентивних засобів по підвищенню стійкості роботи системи керування багатоповерховим ліфтом в умовах надзвичайних ситуацій.....	106
ВИСНОВКИ	108
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	110
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання	112
Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина.....	115

ВСТУП

Актуальність. Постійне збільшення міського населення зумовлює зростання кількості багатоповерхових будинків у містах, що в свою чергу зумовлює розвиток внутрішнього пасажирського та вантажопасажирського транспорту.

Так, ліфт – це стаціонарна підйомна машина періодичної дії, яка призначена для вертикального підйому або опускання вантажу та людей, яка рухається прямолінійно вздовж вертикальних направляючих. Основною силовою частиною більшості ліфтів являється електричний привод, який складається з електричного двигуна та системи керування цим двигуном.

Технічний розвиток, зокрема в галузі електроніки призвів до появи вдосконалених електричних двигунів та нових систем керування, які використовуються в приводній частині ліфта. Тому проводиться удосконалення всіх систем обладнання ліфта з метою зниження шуму та вібрацій у будинку при роботі ліфта, підвищення надійності та безпеки користування цим видом транспорту. На теперішній час, ліфти, виготовлені за сучасними передовими технологіями, характеризується досить тихою роботою, плавністю руху кабіни та комфортом користування пасажирями самим ліфтом. Тому сучасні вимоги надійної роботи електроприводу вантажопасажирського ліфта при інтенсивному навантаженні та тривалому режимі роботи зумовлює перехід від застарілої релейно-контакторної системи управління до безконтактної, яка може бути виконана на напівпровідникових тиристорах або транзисторах, що не потребує налагодження та експлуатаційних затрат в процесі роботи.

Система керування ліфтом повинна забезпечувати обслуговування потреб пасажирів (приказів з кабіни чи викликів з поверхових постів), вирішуючи при цьому ряд логічних задач, пов'язаних перш за все з правильним вибором напрямку руху в залежності від взаємного положення поверху знаходження кабіни і поверху виклику та із зупинкою кабіни на поверсі призначення, із відмінністю вимог виконання приказів і викликів, з

необхідністю забезпечення безпеки пасажирів при роботі ліфта, а також із особливостями роботи ліфта в різних режимах (в машинному приміщенні є перемикач режимів).

Використання мікропроцесорної техніки в системі керування ліфтом забезпечується формуванням інформаційних і керуючих сигналів в результаті виконання введеної в систему програми. Це зменшує кількість використаних елементів і спрощує електричну схему (правда, за рахунок використання більш складних елементів), а головне, збільшує функціональні можливості системи керування і робить її більш універсальною.

Вибирають електропривод в залежності від його умов функціонування, тривалості роботи, враховуючи масо-габаритні показники та вартість всього обладнання, яким здійснюється керування електроприводом. Важливим фактором є тип струму електропривода. Існують конструкції електроприводів ліфтів, які передбачають використання асинхронних двигунів або двигунів постійного струму.

Широке застосування сучасних засобів автоматики і мікропроцесорної техніки пред'являє підвищені вимоги до якості підготовки фахівців широкого профілю, здатних до безперервного вдосконалення своїх знань і творчого потенціалу в умовах динамічної галузі промисловості, що розвивається.

Запорукою успішного рішення що стоять перед ліфтобудівними, монтажними і експлуатуючими ліфти організаціями є наявність кваліфікованих кадрів, здатних йти в ногу з досягненнями науки і технології.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Виконана робота співпадає з науковим напрямком діяльності кафедри КЕМСК і напрямком електротехніки, електроенергетики та електромеханіки.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення точності керування ліфтом з можливістю контролю всіх вимірювальних параметрів.

Відповідно до вказаної мети необхідно розв'язати такі задачі:

– провести огляд існуючих методів і засобів керування системою електропривода;

- розробити математичні моделі для визначення оптимального налаштування системи керування електропривода;
- розробити структурні схеми пристроїв для керування ліфтом;
- за розробленими математичними моделями реалізувати засіб в мікропроцесорному виконанні.

Об'єкт дослідження – процес контролю керування системою електропривода.

Предмет дослідження – якість процесу керування.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач і аналізу прийнятих технічних та алгоритмічних рішень використані такі методи дослідження: теорії технічного діагностування, комп'ютерна математика та комп'ютерне моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

В роботі отримані наступні результати:

- Вдосконалено математичну модель для керування системою електропривода з можливістю її переналаштуванням під будь-які умови використання, що дозволяє використовувати її для більшої кількості систем керування.

- Створена методика для вимірювання та контролю даних, що дозволяє швидше ліквідувати недоліки системи та здійснювати моніторинг вимірних параметрів для відслідковування стану об'єкту контролю.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці за математичною моделлю структурних схем засобів для керування системою електропривода ліфтів з використанням промислової елементної бази.

Розроблена структура мікропроцесорного засобу для керування системою електропривода, що дозволяє гнучко її застосувати до умов використання.

Застосування запропонованих пристроїв дозволяє підвищити безпеку експлуатації електричних мереж, а також підвищити якість і надійність керування ліфтами.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується коректним застосуванням математичного апарату, за допомогою якого здійснювався розрахунок та налаштування системи керування електроприводом.

Особистий внесок здобувача. Основні результати формулювання відповідних висновків отримані автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи та її результати досліджень доповідались, обговорювались та схвалені на Регіональній науково-практичній Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 2024 р.

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано одні тези доповіді.

1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОГО МЕХАНІЗМУ І РЕЖИМИ ЙОГО РОБОТИ

Розвиток будь-якої галузі господарської діяльності людства за всіх часів визначався спонукальними причинами й досягнутим рівнем технології.

Перші згадування про ліфт є в працях римського архітектора Ветрувія, що повідомляє про те, що Архімед побудував підйомний апарат, імовірно, ще в 236 році до нашої ери. У літературних джерелах більш пізнього періоду згадується про підйомні пристрої з кабіною, підвішеною на канаті, що приводиться в рух вручну або з використанням сили тварин.

В 17 столітті прообрази ліфтів були в палацових будівлях Англії (Віндзорський замок) і Франції (літаючий стілець Велайєра в одному з паризьких палаців).

Відзначені вище факти одиничної появи ліфтів не відбивало якої-небудь стійкої тенденції розвитку техніки. Створення одиничних зразків підйомників для транспортування людей було продиктовано примхою заможних людей і творчою уявою винахідників.

Історія розвитку ліфтобудування реально почалася наприкінці 19 і початку 20 сторіччя у зв'язку з бурхливим розвитком техніки в Європі й Північній Америці.

Зосередження великих мас населення в містах і безупинно зростаюча вартість землі привело до будівництва будинків з великою кількістю поверхів, які не могли б задовільно функціонувати без надійної системи внутрішнього пасажирського й вантажного транспорту.

До цього часу, в інших галузях господарської діяльності, з'явилися досить компактні джерела механічної енергії: гідродвигуни, парові машини, двигуни внутрішнього згоряння й електричні машини.

Металургійна промисловість успішно освоювала виробництво сталевих прокату й сталевих канатів. Успішно розвивалася електротехнічна галузь, що освоїла виробництво компонентів систем телеграфного й телефонного зв'язку,

які могли послужити основою для створення релейно-контактної системи керування роботою ліфта.

Ліфтом називається стаціонарна підйомна машина періодичної дії, призначена для підйому і спуску людей чи вантажів в кабіні, яка рухається по жорстким прямолінійним направляючим, у яких кут нахилу до вертикалі не більший 15 градусів.

Ліфт є невід'ємною частиною інженерного обладнання житлових, адміністративних будівель і споруд.

Масове перевезення людей всіх вікових категорій зумовлює підвищені вимоги надійності і безпеки роботи ліфтів.

Існує багато різновидів ліфтів, які відрізняються між собою за призначенням і конструктивними особливостями.

За призначенням можна виділити наступні типи ліфтів: пасажирський – призначений для підйому і спуску людей; вантажопасажирський – призначений для транспортування пасажирів і вантажів, має збільшені розміри площі підлоги і дверного отвору; лікарняний – призначений для підйому і спуску хворих, в тому числі і на спеціальних транспортних засобах у супроводі медперсоналу; вантажний – призначений для підйому і спуску вантажів; вантажний малий – для підйому і спуску невеликих вантажів з розмірами кабінки, які виключають можливість транспортування людей; спеціальний (нестандартний) – призначений для особливих умов застосування і виготовляється за спеціально розробленими технічними умовами.

За типом привода підйомного механізму: ліфти електричні з приводом від електродвигуна змінного чи постійного струму; ліфти гідравлічні з приводом у вигляді підйомного гідро циліндра чи лебідки з гідродвигуном обертового типу.

За конструкцією механізму передачі руху кабінки: ліфти канатні, кабінки яких переміщуються за допомогою тягових канатів лебідки; ліфти ланцюгові, рейкові і гвинтові, в яких рух кабінки здійснюється за допомогою тягових ланцюгів, системи гвинт – гайка чи приводної шестерно-зубчастої рейки.

За величиною швидкості підйому кабіни: ліфти тихохідні – при швидкості кабіни до 1 м/с; ліфти швидкохідні – при швидкості кабіни від 1,4 до 2 м/с; швидкісні – при швидкості руху кабіни 2 м/с і більше.

Схеми запасовки канатів, відповідно до прийнятої в ліфтобудуванні термінології, називається кінематичною схемою ліфта.

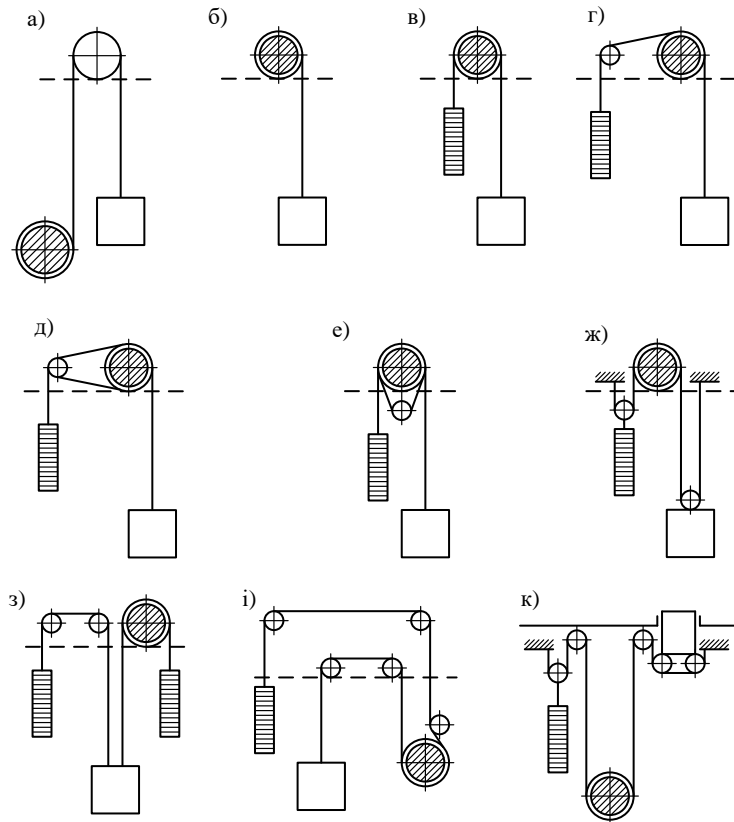


Рисунок 1.1 – Кінематичні схеми ліфтів

На кінематичних схемах прийняті наступні позначення: канатоведучий орган, зображується колом із заштрихованою середньою частиною, відхиляючі блоки і контршків – колом малого діаметра без штриховки, кабіна – великим прямокутником, протизвага – вузьким прямокутником з поперечною штриховкою, підйомні канати – прямою лінією незалежно від числа їх паралельних віток.

Різноманітність варіантів кінематичних схем відображає той факт, що кожна з них має специфічні переваги.

Схеми з барабанним канатоведучим органом (рисунок 1.1 а, б) використовуються при невеликій висоті підйому. Їх застосування доцільно в спеціальних ліфтах підвищеної вантажопідйомності при невеликій висоті підйому і в тих випадках, коли за умовами встановлення розміщення противаги ліфта практично неможливо.

Барабанний канатоведучий орган може використовуватись і при наявності противаги і підвіски на 1 чи 2 канатах (рисунок 1.1 в, г), однак якої-небудь переваги у порівнянні з КВШ не має.

Невід'ємною частиною більшості кінематичних схем ліфта є противага (рисунок 1.1 в – к).

Застосування противаги обумовлено двома основними причинами: економія енергії за рахунок зрівноваження сили ваги кабіни і частини маси вантажу і забезпечення достатніх сил зціплення канатів з ободом шківа в лебідках з КВШ.

Найкращими техніко-економічними показниками володіють ліфти з верхнім машинним приміщенням (рисунок 1.1 б – з).

Переваги верхнього машинного приміщення: зменшується навантаження від підйомних канатів на несучі конструкції будівлі (чи каркас шахти), зменшується необхідна довжина і збільшується довговічність канатів, збільшується ККД підйомного механізму, знижується вартість ліфта.

Схема з прямою підвіскою кабіни і противаги (рисунок 1.1 в) є найбільш простою і доцільною для ліфтів з верхнім машинним приміщенням. Вона забезпечує найбільш високий ККД підйомного механізму і довговічність канатів, так як виключається їх перегин на відхиляючих блоках.

При великих габаритах кабіни, для забезпечення свободи переміщення противаги, зі сторони противагової вітки канатів встановлюється відвідний блок (рисунок 1.1 г). Відвідний блок дозволяє встановлювати лебідку в ліфтах з різними поперечними розмірами кабіни. Наявність відвідного блоку дозволяє зменшити розміри і масу КВШ за допомогою деякого зменшення

кута обхвату КВШ канатом, що призводить до зниження його тягової можливості.

Для компенсації цього недоліку застосовується схема з контршківом, який забезпечує подвійний обхват КВШ канатами і одночасно виконує роль відвідного блоку (рисунок 1.1 д). Однак, додатковий перегин канатів на контршківові знижує їх довговічність.

Схема з контршківом, який розміщений під КВШ, застосовується при невеликих габаритах кабіни і підвищеній вантажопідйомності ліфта (рисунок 1.1 е).

Схема з поліпасовою підвіскою кабіни застосовується у тих випадках, коли одна і та ж лебідка використовується у ліфтах різної вантажопідйомності чи при необхідності збільшення вантажопідйомності ліфта (рисунок 1.1 ж).

Схема з кабіною і противагою (рисунок 1.1 з) застосовується в тих випадках, коли необхідно трохи зменшити потрібне зусилля КВШ і, тим самим, виключити можливість проковзування канатів.

Схема з нижнім машинним приміщенням (рисунок 1.1 і, к) полегшує експлуатацію, ремонт ліфтового обладнання і істотно знижує рівень структурного шуму в несучих конструкціях будівлі.

Місткість кабіни ліфта визначається в залежності від її вантажопідйомності:

$$E = \frac{Q}{Q_{\text{п}}}, \quad (1.1)$$

де Q – маса розрахованого вантажу кабіни, кг;

$Q_{\text{п}}$ – розрахункова маса пасажирів ($Q_{\text{п}}=80$ кг).

Номінальна швидкість кабіни є швидкістю встановленого руху кабіни в нормальних умовах експлуатації. Її величина призначається із стандартного ряду величин: 0,25; 0,5; 0,71; 1; 1,4; 1,6; 2; 2,8; 4; 5,6; 7; 8 м/с.

Сьогодні відзначається безперервний ріст парку ліфтів при стійкій тенденції пошуку нових конструктивних рішень, що відбивають вимоги ринку й науково-технічні досягнення в різних галузях промисловості.

Удосконалюються організаційні форми й технічні засоби служби експлуатації ліфтів. Серйозна увага приділяється питанням підвищення продуктивності і якості монтажних робіт.

Жорстка конкуренція на внутрішньому й світовому ринках, що розширюється спектр потреб замовників ліфтового устаткування, служать гарним стимулом пошуку більше ефективних технічних рішень.

Можна відзначити наступні основні тенденції розвитку ліфтобудування.

- застосування нових конструкційних і оздоблювальних матеріалів, включаючи композиційні;
- удосконалювання конструкцій і дизайну кабін і устаткування посадкових площадок;
- удосконалювання конструкції всіх систем устаткування ліфта з метою зниження рівня шуму й вібрації в будинку і в кабіні ліфта;
- розширення сфери застосування зовнішньої установки ліфтів у поглибленні зовнішніх стін житлових і адміністративних будинків баштового типу;
- підвищення надійності пристроїв, що забезпечують безпечно застосування ліфтів;
- удосконалювання систем привода й розширення області застосування привода змінного струму з тиристорним і амплітудно-частотним керуванням;
- удосконалювання систем керування на основі досягнень промислової електроніки й мікропроцесорної техніки;
- розширення масштабів застосування гідравлічних ліфтів плунжерного типу з канатними мультиплікаторами в будинках малої й середньої поверховості;

- широке використання методів уніфікації й стандартизації з метою підвищення якості виготовлення, зниження вартості масового виробництва й експлуатаційних витрат;

- розширення практики модернізації діючого ліфтового устаткування;

- підвищення ефективності системи технічного обслуговування ліфтів на основі застосування сучасних методів комп'ютерної обробки інформації й керування в сполученні із впровадженням мікропроцесорної системи самодіагностики ліфтового устаткування;

- удосконалювання методів проектування ліфтів на основі широкого застосування САПР;

- удосконалювання технології виготовлення ліфтового устаткування на основі роботизації виробничих процесів;

- підвищення ефективності і якості монтажу ліфтового устаткування на основі вдосконалювання технології й механізації трудомістких процесів.

Висновок: в системі електропривода ліфта раніше (часто і зараз) використовувалася контакторно-релейна система керування, але із появою мікроконтролерів з'явилася можливість використовувати більш надійні, дешевші та точніші системи керування електроприводом.

Щодо типу електропривода використовуваного в ліфтових системах, то використовують різні типи приводів в залежності від потреб системи.

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА

2.1 Розрахунок та побудова навантажувальних діаграми та тахограми навантажувального органу та механізму

Розрахунок вертикального транспорту використовує наступні додаткові поняття та визначення:

- круговий рейс – шлях кабіни ліфта від основної посадкової площадки до повернення на той же поверх;

- час кругового рейсу – час, затрачений кабіною на здійснення кругового рейсу з урахуванням витрат часу, пов'язаних з пуском ліфта, зупинками, відкриванням і закриттям дверей, входом і виходом пасажирів;

- інтервал – проміжок часу між послідовними підходами кабіни ліфта до площадки на поверсі при русі в необхідному напрямку;

- число можливих зупинок – число поверхових площадок, на яких ліфт може зупинитися;

- число імовірних зупинок – математичне очікування випадкової величини числа зупинок по командах і викликах пасажирів;

- імовірна висота підйому – математичне очікування випадкової величини висоти підйому по командах і викликах пасажирів.

Розрахунок приведених статичних моментів та тахограм робочого механізму

Розглянемо кінематичну схему пасажирського ліфта з однією кабіною і противагою при поліспастичному підвішенні їх на декількох канатах (рисунок 2.1)

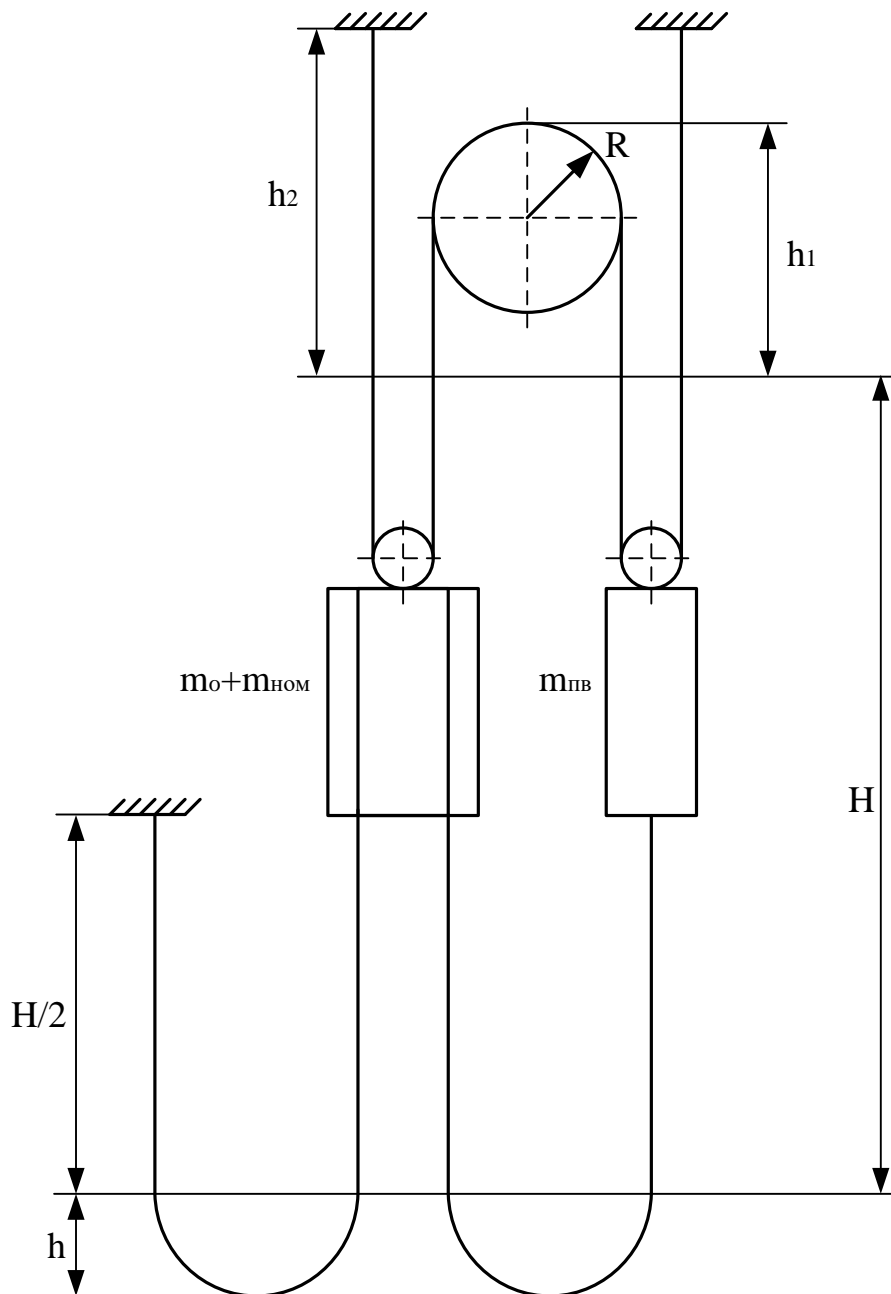


Рисунок 2.1 – Якісна кінематична схема ліфта

Час кругового рейсу кабіни:

$$T = \frac{2 \cdot H_B + h \cdot (N_{п} \cdot N_C + 1)}{V} + K_t \cdot [t_0 \cdot (N_{п} + N_C + 1) + t_{п}], \quad (2.1)$$

де H_B – імовірна висота підйому кабіни ліфта;

h – шлях руху кабіни з швидкістю, що ще не встановилася при розгоні та гальмуванні;

N_{Π}, N_C – число імовірних зупинок кабіни при підйомі та спуску;
 V – розрахункова швидкість встановленого руху кабіни;
 K_t – коефіцієнт враховуючий додаткові затрати часу;
 t_0 – затрати часу на прискорення, гальмування та пуск ліфта, на відкривання та закривання дверей ліфта;
 t_{Π} – затрати часу на вхід та вихід пасажирів.

Розрахунок складових величин формули (2.1) виконується наступним чином.

Величина імовірної висоти підйому:

$$H_B = (0.7 \div 0.9) \cdot H, \quad (2.2)$$

де більше значення відповідає випадку рівномірного заселення поверхів, тому:

$$H_B = 0.9 \cdot 43.2 = 38.88(\text{м}).$$

Величина шляху розгону, гальмування кабіни і технічних затрат часу залежить від вантажопідйомності і швидкості руху кабіни: для пасажирського ліфта вантажопідйомністю 320-1000 кг при швидкості 1.4-2 м/с $h=3 \div 3.5(\text{м}); t_0=12 \div 14(\text{с})$, оскільки вантажопідйомність ліфта 600 кг, а номінальна швидкість руху 2 м/с, то розраховуємо, і отримуємо такі данні: $h=3.2(\text{м}); t_0=13(\text{с})$.

Час на вхід та вихід пасажирів при русі вверх та вниз:

$$t_{\Pi} = 2 \cdot E \cdot t_1 \cdot (\gamma_{\Pi} + \gamma_C), \quad (2.3)$$

де E – місткість кабіни;

t_1 – час входу і виходу одного пасажирів, що залежить від ширини дверей (менше значення відповідає ширині 1 м і більше, а більше, відповідно менше 1 м) ($t_1 = 0.8 \div 2\text{с}$);

γ_{Π} – коефіцієнт заповнення кабіни при русі ввєрх ($\gamma_{\Pi} = 0.66 \div 0.8$);

γ_{C} – коефіцієнт заповнення кабіни при русі вниз ($\gamma_{\text{C}} = 0.34 \div 0.5$).

Отже підставивши розраховані данні в (2.3) маємо:

$$t_{\Pi} = 2 \cdot 6 \cdot 0.8 \cdot (0.8 + 0.4) = 11.52(\text{с}).$$

Коефіцієнт враховуючий додаткові затрати часу при роботі ліфта визначається в залежності від призначення будівлі, оскільки в нашому випадку це житловий будинок, то $K_1 = 1.08$.

Число імовірних зупинок кабіни при підйомі та спуску:

$$N_{\Pi} = N - N \cdot \left(\frac{N-1}{N} \right)^{\gamma_{\Pi} E}, \quad (2.4)$$

$$N_{\text{C}} = N - N \cdot \left(\frac{N-1}{N} \right)^{\gamma_{\text{C}} E}, \quad (2.5)$$

де N – число імовірних зупинок ліфта на етажєх ($N=9$).

Підставивши данні в (2.4) і (2.5) отримаємо:

$$N_{\Pi} = 9 - 9 \cdot \left(\frac{9-1}{9} \right)^{0.8 \cdot 6} \approx 4,$$

$$N_{\text{C}} = 9 - 9 \cdot \left(\frac{9-1}{9} \right)^{0.46} \approx 2.$$

І тепєр маючи усі дані розрахуємо час кругового рейсу кабіни:

$$T = \frac{2 \cdot 38.88 + 3.2 \cdot (4 + 2 + 1)}{2} + 1.08 \cdot [13 \cdot (4 + 2 + 1) + 11.52] = 160.802(\text{с}).$$

Продуктивність ліфта:

$$P = \frac{3600 \cdot E \cdot (\gamma_{\Pi} + \gamma_{\text{C}})}{T}, \quad (2.6)$$

$$P = \frac{3600 \cdot 6 \cdot (0.8 + 0.4)}{160.802} \approx 161(\text{чол./год}).$$

Маса противаги:

$$m_{\text{пв}} = m_0 + \alpha \cdot m_{\text{ном}}, \quad (2.7)$$

де $m_{\text{ном}}$ – номінальний вантаж ($m_{\text{ном}} = 600 \text{ кг}$);

α – коефіцієнт урівноваження ($\alpha = 0.5$);

m_0 – маса кабіни ($m_0 = 1000 \text{ кг}$).

$$m_{\text{пв}} = 1000 + 0.5 \cdot 600 = 1300 (\text{кг}).$$

Розрахункові довжини канатів:

- підйомного

$$L_{\text{під}} = H + 2 \cdot (h_1 + h_2), \quad (2.8)$$

де $h_1 = 3 \text{ (м)}$, $h_2 = 1.5 \text{ (м)}$ (відповідно до інженерного облаштування механічно-технічної частини ліфта).

$$L_{\text{під}} = 43.2 + 2 \cdot (3 + 1.5) = 52.2 \text{ (м)};$$

- врівноважуючого

$$L_{\text{вр}} = H + 2 \cdot h_1, \quad (2.9)$$

$$L_{\text{вр}} = 43.2 + 2 \cdot 3 = 49.2 \text{ (м)};$$

- кабелю

$$L_{\text{каб}} = H + h_1, \quad (2.10)$$

$$L_{\text{каб}} = 43.2 + 3 = 46.2 \text{ (м)}.$$

Розрахуємо маси канатів:

Для зручності розрахуємо спочатку масу 1 м канату.

- підйомного

$$q_{\text{під}} = n_1 \cdot m_{1\text{кат}}, \quad (2.11)$$

де n_1 – кількість паралельних канатів підйомного канату;

$m_{1\text{кат}}$ – каталожна маса одного метра канату (для даного випадку $m_{1\text{кат}} = 0.164$ (кг/м)).

Для пасажирських ліфтів з вантажопідйомністю від 500 до 2000 кг застосовують від 4 до 6 канатів. Вантажопідйомність розраховуваного ліфту 600 кг, тому приймаємо число канатів 4.

$$q_{\text{під}} = 4 \cdot 0.164 = 0.656(\text{кг});$$

- врівноважуючого

Врівноважуючий канат виготовлений з аналогічного матеріалу, а також складається з аналогічної кількості паралельних канатів, тому маса 1 м врівноважуючого канату рівна $q_{\text{під}} = 0.656$ (кг);

- кабелю

$$q_{\text{каб}} = n_2 \cdot m_{2\text{каб}}, \quad (2.12)$$

$$q_{\text{каб}} = 2 \cdot 0.369 = 0.738(\text{кг}).$$

Маса всіх канатів:

$$m_{\text{заг}} = m_{\text{під}} + m_{\text{вр}} + m_{\text{каб}}, \quad (2.13)$$

де $m_{\text{під}}$ – маса всього підйомного канату;

$m_{\text{вр}}$ – маса всього врівноважуючого канату;

$m_{\text{каб}}$ – маса всього кабелю.

$$m_{\text{під}} = L_{\text{під}} \cdot q_{\text{під}}, \quad (2.14)$$

$$m_{\text{під}} = 52.2 \cdot 0.656 = 34.243(\text{кг}).$$

$$m_{\text{вр}} = L_{\text{вр}} \cdot q_{\text{під}}, \quad (2.15)$$

$$m_{вр} = 49.2 \cdot 0.656 = 32.275(\text{кг}).$$

$$m_{каб} = L_{каб} \cdot q_{каб}, \quad (2.16)$$

$$m_{каб} = 46.2 \cdot 0.738 = 34.096(\text{кг}).$$

Отже підставимо розраховані дані:

$$m_{заг} = 34.243 + 32.275 + 34.096 = 100.614(\text{кг}).$$

Визначимо приведену масу підйомника:

$$m_{п-ка} = \frac{m_{в} + m_{н}}{i_{пл}} + m_{пр}, \quad (2.17)$$

де $m_{в}$, $m_{н}$ – маса рухомих частин (відповідно), що піднімаються та опускаються поступально;

$i_{пл}$ – кратність поліспасти ($i_{пл} = 1$);

$m_{пр}$ – частини конструкції що здійснюють обертовий рух.

Маси, що здійснюють поступальний рух:

$$m_{в} = m_{ном} + m_0 + m_{вр} + m_{каб} + m_{під} \cdot i_{пл}, \quad (2.18)$$

$$m_{в} = 600 + 1000 + 32.275 + 34.096 + 34.243 \cdot 1 = 1700.614(\text{кг});$$

$$m_{н} = m_0 + \psi \cdot m_{пв} + m_{вр} + m_{під} \cdot i_{пл}, \quad (2.19)$$

де ψ – коефіцієнт, що враховує вагу противаги, яка врівноважує корисний вантаж ($\psi = 0.5$).

$$m_{н} = 1000 + 0.5 \cdot 1300 + 32.275 + 34.243 \cdot 1 = 1716.518(\text{кг}).$$

До мас, що здійснюють обертовий рух, відносяться: канатоведучий шків, редуктор, з'єднувальна муфта з гальмівним ободом, ротор двигуна. Ці маси приводяться до маси канатоведучого шківа:

$$m_{\text{пр}} = 1.1 \cdot \frac{(G_i \cdot D^2)_{\text{ГМ}} + (G_i \cdot D^2)_{\text{рл}}}{D_{\text{ш}}^2} \cdot i_p^2, \quad (2.20)$$

де $(G_i \cdot D^2)_{\text{ГМ}}, (G_i \cdot D^2)_{\text{рл}}$ – махові моменти гальмівної муфти і ротора двигуна ($(G_i \cdot D^2)_{\text{ГМ}} = 5.2(\text{Н} \cdot \text{м}), (G_i \cdot D^2)_{\text{рл}} = 9.2(\text{Н} \cdot \text{м})$);

$D_{\text{ш}}$ – діаметр шківів ($D_{\text{ш}} = 0.52(\text{м})$);

i_p – передаточне число редуктора ($i_p = 25$).

$$m_{\text{пр}} = 1.1 \cdot \frac{5.2 + 9.2}{0.25^2} \cdot 25^2 = 1464.497 \text{ (кг)}.$$

Приведена маса підйомника:

$$m_{\text{п-ка}} = \frac{1700.614 + 1716.518}{1} + 1464.497 = 4881.629 \text{ (кг)}.$$

Тепер розрахуємо приведений момент опору:

$$M_c = \frac{F_{\text{мех}} \cdot D_{\text{ш}} / 2}{\eta}, \quad (2.21)$$

де $F_{\text{мех}}$ – сила опору механізму;

η – коефіцієнт корисної дії механізму ($\eta = 0.8$).

$$F_{\text{мех}} \approx G = m_{\text{п-ка}} \cdot g, \quad (2.22)$$

$$F_{\text{мех}} \approx G = 4881.629 \cdot 9.8 = 47839.969 \text{ (Н)};$$

$$M_c = \frac{47839.969 \cdot 0.52 / 2}{0.8} = 15547.99 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Тахограма робочого механізму є симетричною триперіодною, яка складається з наступних періодів: t_1 – тривалість розгону, t_2 – рівномірний рух, t_3 – тривалість зупинки, t_p – тривалість руху.

На тахограмі позначено ділянки де механізм здійснює не прямолінійний рух – прискорений (розгін « t_1 ») та сповільнений (зменшення швидкості при гальмуванні « t_3 »).

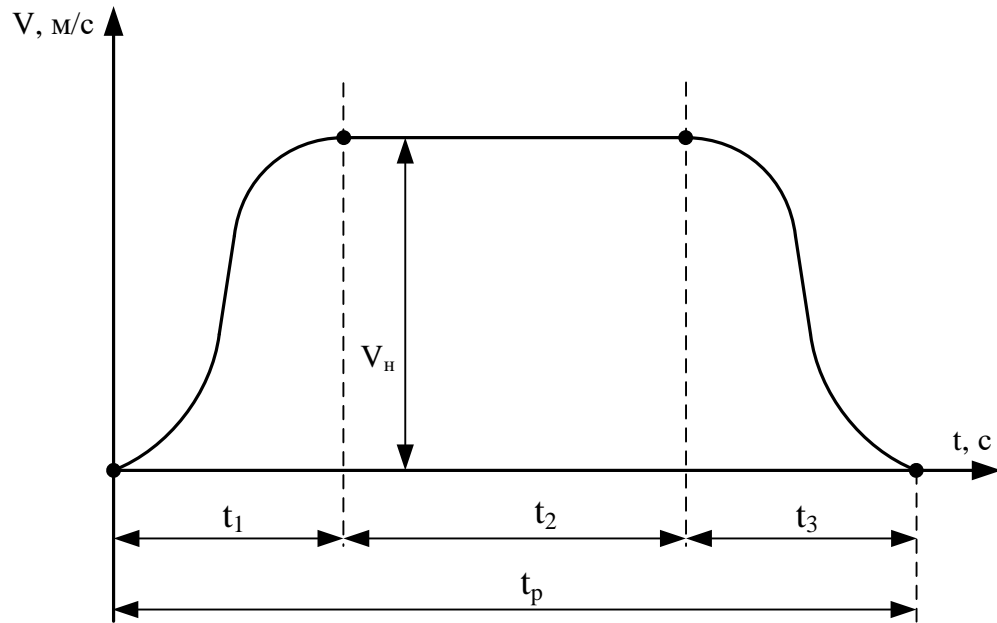


Рисунок 2.2 – Якісна тахограма робочого механізму

2.2 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна

Потужність електродвигуна повинна бути рівною, або більшою потужності навантаження, тому вибираємо двигун орієнтуючись на сумарну потужність навантаження.

Розрахуємо приведені інерційні маси та моменти

Приведення моментів інерції до однієї вісі обертання базується на тому, що сумарний запас кінетичної енергії частин приводу, що рухаються, віднесений до однієї вісі, залишається незмінним.

При наявності частин, що обертаються і володіють моментами інерції J_d , J_1 , J_n і кутовими швидкостями ω_d , ω_1 , ω_n , можна замінити їх динамічну дію дією одного моменту інерції, приведенного до швидкості вала двигуна. В такому випадку можна записати:

$$J \frac{\omega_d^2}{2} = J_d \frac{\omega_d^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + \dots + J_n \frac{\omega_n^2}{2}, \quad (2.23)$$

де J_d – момент інерції ротора двигуна.

З попереднього рівняння виразимо результуючий або сумарний момент інерції, приведений до валу двигуна:

$$J = J_d + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_d} \right)^2 + \dots + J_n \left(\frac{\omega_n}{\omega_d} \right)^2, \quad (2.24)$$

Приведення мас, що виконують поступальний рух, здійснюється також на основі закону кінетичної енергії:

$$\frac{m \cdot V^2}{2} = J \frac{\omega_d^2}{2}. \quad (2.25)$$

Звідки момент інерції, приведенний до валу двигуна:

$$J = m \cdot \left(\frac{V}{\omega_d} \right)^2. \quad (2.26)$$

Оскільки в нашому випадку механізм має елементи, що виконують обертовий і поступальний рух, то сумарний приведений до валу двигуна момент інерції буде мати вигляд:

$$J = J_m + J_p \frac{1}{i^2} + J_{ш} \frac{1}{i^2} + m_{п-ка} \cdot \left(\frac{V}{\omega_d} \right)^2, \quad (2.27)$$

де J_m – момент інерції муфти;

$J_{ш}$ – момент інерції канатоведучого шківа;

J_p – момент інерції редуктора;

i – передаточне число редуктора.

Знайдемо кожен із невідомих складових формули (2.27):

- момент інерції муфти:

$$J_m = \frac{GD_m^2}{4}, \quad (2.28)$$

де GD_m^2 – маховий момент муфти ($GD_m^2 = 1.2(\text{Н} \cdot \text{м})$);

$$J_m = \frac{1.2}{4} = 0.3(\text{кг}/\text{м}^2).$$

- момент інерції редуктора:

$$J_p = \frac{GD_p^2}{4}, \quad (2.29)$$

де GD_p^2 – маховий момент редуктора ($GD_p^2 = 11.25(\text{Н} \cdot \text{м})$).

$$J_p = \frac{11.25}{4} = 2.813(\text{кг}/\text{м}^2).$$

- момент інерції шківів:

$$J_{ш} = \frac{m_{ш} \cdot g \cdot D^2}{4}, \quad (2.30)$$

де $m_{ш}$ – маса шківів ($m_{ш} = 10(\text{кг})$).

$$J_{ш} = \frac{10 \cdot 9.8 \cdot 0.52^2}{4} = 6.625 (\text{кг} \cdot \text{м}^2).$$

- кутова швидкість обертання двигуна:

$$\omega_d = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{ном}}{60}, \quad (2.31)$$

$$\omega_d = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 950}{60} = 99.484 (\text{рад/с}).$$

Маючи усі дані розрахуємо приведений момент інерції:

$$J = 0.3 + 2.813 \frac{1}{25^2} + 6.625 \frac{1}{25^2} + 4881.629 \cdot \left(\frac{2}{99.484} \right)^2 = 2.288 (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$$

Знайдемо сили, що діють на кожній із ділянок тахограми:

При пуску:

- на початку пуску

$$F_1' = (1 - \psi + \xi) \cdot m_{ном} - (q_{вр} - q_{під}) \cdot H_B + m_{п-ка} \cdot a_1, \quad (2.32)$$

де ξ – коефіцієнт, що враховує шкідливі опори в відсотках корисного вантажу ($\xi = 0.02$).

$$F_1' = (1 - 0.5 + 0.02) \cdot 600 - (0.656 - 0.656) \cdot 38.88 + 4881.629 \cdot 1.5 = 7634.444 (\text{Н}).$$

- в кінці пуску

$$F_1'' = (1 - \psi + \xi) \cdot m_{ном} - (q_{вр} - q_{під}) \cdot (H_B - 2 \cdot h_1) + m_{каб} \cdot h_1 / 2 + m_{п-ка} \cdot a_1 \quad (2.33)$$

$$F_1' = (1 - 0.5 + 0.02) \cdot 600 - (0.656 - 0.656) \cdot (38.88 - 2 \cdot 3.2) + \\ + 34.096 \cdot 3.2 / 2 + 4881.629 \cdot 1.5 = 7688.997(\text{H}).$$

Ділянка рівномірного руху:

- на початку періоду

$$F_2^i = (1 - \psi + \xi) \cdot m_{\text{ном}} - (q_{\text{вр}} - q_{\text{під}}) \cdot (H_{\text{в}} - 2 \cdot h_1) + m_{\text{каб}} \cdot h_1 / 2, \quad (2.34)$$

$$F_1'' = (1 - 0.5 + 0.02) \cdot 600 - (0.656 - 0.656) \times \\ \times (38.88 - 2 \cdot 3.2) + 34.096 \cdot 3.2 / 2 = 366.553(\text{H}).$$

- в кінці періоду

$$F_2'' = (1 - \psi + \xi) \cdot m_{\text{ном}} - (q_{\text{вр}} - q_{\text{під}}) \cdot (H_{\text{в}} - 2 \cdot h_1 - 2 \cdot h_2) + m_{\text{каб}} \cdot \frac{h_1 + h_2}{2}, \quad (2.35)$$

$$F_2'' = (1 - 0.5 + 0.02) \cdot 600 - (0.656 - 0.656) \cdot (38.88 - 2 \cdot 3.2 - 2 \cdot 37.2) + \\ + 34.096 \cdot \frac{3.2 + 37.2}{2} = 1000.731(\text{H}).$$

На початку сповільнення:

- на початку періоду

$$F_3^i = (1 - \psi + \xi) \cdot m_{\text{ном}} - (q_{\text{вр}} - q_{\text{під}}) \cdot (H_{\text{в}} - 2 \cdot h_1 - 2 \cdot h_2) + \\ + m_{\text{каб}} \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} - m_{\text{п-ка}} \cdot a_3, \quad (2.36)$$

$$F_3^i = (1 - 0.5 + 0.02) \cdot 600 - (0.656 - 0.656) \cdot (38.88 - 2 \cdot 3.2 - 2 \cdot 37.2) + \\ + 34.096 \cdot \frac{3.2 + 37.2}{2} - 4881.629 \cdot 1.5 = -6321.713(\text{H}).$$

- в кінці періоду

$$F_3'' = (1 - \psi + \xi) \cdot m_{\text{ном}} - (q_{\text{вр}} - q_{\text{під}}) \cdot (H_{\text{в}} - 2 \cdot h_1 - 2 \cdot h_2 - 2 \cdot h_3) + \\ + m_{\text{каб}} \cdot \frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} - m_{\text{п-ка}} \cdot a_3, \quad (2.37)$$

$$F_3' = (1 - 0.5 + 0.02) \cdot 600 - (0.656 - 0.656) \cdot (38.88 - 2 \cdot 3.2 - 2 \cdot 37.2 - 2 \cdot 1.8) + \\ + 34.096 \cdot \frac{3.2 + 37.2 + 1.8}{2} - 4881.629 \cdot 1.5 = -6291.027 (\text{H}).$$

Рівномірний рух з пониженою швидкістю:

- на початку періоду

$$F_4' = (1 - \psi + \xi) \cdot m_{\text{ном}} - (q_{\text{вр}} - q_{\text{під}}) \cdot (H_{\text{в}} - 2 \cdot h_1 - 2 \cdot h_2 - 2 \cdot h_3) + \\ + m_{\text{каб}} \cdot \frac{h_1 + h_2 + h_3}{2}, \quad (2.38)$$

$$F_4' = (1 - 0.5 + 0.02) \cdot 600 - (0.656 - 0.656) \cdot (38.88 - 2 \cdot 3.2 - 2 \cdot 37.2 - 2 \cdot 1.8) + \\ + 34.096 \cdot \frac{3.2 + 37.2 + 1.8}{2} = 1031.417 (\text{H}).$$

- в кінці періоду

$$F_4'' = (1 - \psi + \xi) \cdot m_{\text{ном}} - (q_{\text{вр}} - q_{\text{під}}) \cdot (H_{\text{в}} - 2 \cdot h_1 - 2 \cdot h_2 - 2 \cdot h_3 - 2 \cdot h_4) + \\ + m_{\text{каб}} \cdot \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{2}, \quad (2.39)$$

$$F_4'' = (1 - 0.5 + 0.02) \cdot 600 - (0.656 - 0.656) \cdot (38.88 - 2 \cdot 3.2 - 2 \cdot 37.2 - 2 \cdot 1.8 - 2 \cdot 1.1) + \\ + 34.096 \cdot \frac{3.2 + 37.2 + 1.8 + 1.1}{2} = 1050.17 (\text{H}).$$

Процес гальмування:

- на початку періоду

$$F_5' = (1 - \psi + \xi) \cdot m_{\text{ном}} - (q_{\text{вр}} - q_{\text{під}}) \cdot (H_{\text{в}} - 2 \cdot h_5) + \\ + m_{\text{каб}} \cdot \frac{H_{\text{в}} - h_5}{2} - m_{\text{п-ка}} \cdot a_{\text{р}}, \quad (2.40)$$

$$F_5' = (1 - 0.5 + 0.02) \cdot 600 - (0.656 - 0.656) \cdot (38.88 - 2 \cdot 0.3) + \\ + 34.096 \cdot \frac{38.88 - 0.3}{2} = -4253.639 (\text{H}).$$

- в кінці періоду

$$F_5'' = (1 - \psi + \xi) \cdot m_{\text{НОМ}} - (q_{\text{вп}} - q_{\text{під}}) \cdot H_{\text{в}} + m_{\text{каб}} \cdot \frac{H_{\text{в}}}{2} - m_{\text{п-ка}} \cdot a_{\text{п}}, \quad (2.41)$$

$$F_5'' = (1 - 0.5 + 0.02) \cdot 600 - (0.656 - 0.656) \cdot 38.88 + 34.096 \cdot \frac{38.88}{2} = -4248.525(\text{Н}).$$

Знаходимо середнє значення на кожному інтервалі:

$$F_{\text{ср}i} = \frac{F_i' + F_i''}{2}, \quad (2.42)$$

$$F_{\text{ср}1} = \frac{7634.444 + 7688.997}{2} = 7661.721(\text{Н}),$$

$$F_{\text{ср}2} = \frac{366.553 + 1000.731}{2} = 683.642(\text{Н}),$$

$$F_{\text{ср}3} = \frac{-6321.713 - 6291.027}{2} = -6306.37(\text{Н}),$$

$$F_{\text{ср}4} = \frac{1031.417 + 1050.17}{2} = 1040.793(\text{Н}),$$

$$F_{\text{ср}5} = \frac{-4253.639 - 4248.525}{2} = -4251.082(\text{Н}).$$

Еквівалентна сила навантаження:

$$F_e = \sqrt{\frac{\sum_i F_i^2 \cdot t_i}{\sum_i t_i}}, \quad (2.43)$$

$$F_e = \sqrt{\frac{7661.721^2 \cdot 3.2 + 683.642^2 \cdot 37.2 + (-6306.37)^2 \cdot 1.8 + 1040.793^2 \cdot 1.1 + (-4251.082)^2 \cdot 0.3}{3.2 + 37.2 + 1.8 + 1.1 + 0.3}} = 2549.653(\text{Н}).$$

Еквівалентний момент:

$$M_e = \frac{F_e \cdot V_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{д}} \cdot \eta \cdot i_{\text{п}}}, \quad (2.44)$$

$$M_e = \frac{2549.653 \cdot 2}{99.484 \cdot 0.8 \cdot 25} = 25.63 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Еквівалентна потужність двигуна:

$$P_e = M_e \cdot \omega_d, \quad (2.45)$$

$$P_e = 25.63 \cdot 99.484 = 2549.769 (\text{Вт})$$

Відносна тривалість вмикання двигуна (ТВ):

$$ТВ = \frac{T - \left(t_3 + 2 \cdot t_{\text{п}} + \frac{V_{\text{min}}^2}{2 \cdot a_1} \cdot (N_{\text{п}} + N_c + 1) \right)}{T} \cdot 100\%, \quad (2.46)$$

$$ТВ = \frac{160.802 - \left(3.6 + 2 \cdot 11.52 + \frac{0.5^2}{2 \cdot a_1} \cdot (4 + 2 + 1) \right)}{160.802} \cdot 100\% = 81\%.$$

Приводимо отриману потужність до відносної тривалості вмикання:

$$P' = P_e \cdot \sqrt{\frac{ТВ}{ТВ_{\text{ст}}}}, \quad (2.47)$$

$$P' = 2549.769 \cdot \sqrt{\frac{81}{100}} = 2294.792 (\text{Вт}).$$

Необхідна потужність двигуна з врахуванням коефіцієнту запасу K_3 ($K_3 = 1.3$):

$$P = P' \cdot K_3, \quad (2.48)$$

$$P = 2294.792 \cdot 1.3 = 2983.23 (\text{Вт}).$$

Висновок: в даному розділі було розраховано приведені статичні моменти двигуна, розраховано та побудовано тахограми робочого механізму швидкості, прискорення та сумарного моменту. Також в даному розділі була

попередньо розрахована потужність двигуна, при врахуванні коефіцієнту запасу, отримано значення, орієнтуючись по якому можна вибрати двигун.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Як уже зазначалося в першому розділі для приводу пасажирського підйомника можна використати такі системи: РКС-Д, РКС-АД з ФР, ТП-Д, ТРН-АД та ПЧ-АД.

ТП-Д передбачає використання двигунів постійного струму. Основною перевагою яких, перед АД, є високий пусковий момент. Головними ж недоліками ДПС є наявність колектора, що зменшує надійність даної машини та підвищує витрати на обслуговування, висока ціна зумовлена значними витратами міді.

Контактно-релейна система, яка використовується як система керування для АД з ФР, дозволяє ступінчато змінювати швидкість обертання вала, але дана система має низький ККД і до того ж є застарілою, тому не рекомендується для використання в сучасному пасажирському ліфтобудуванні. Окрім того наявність контактних кілець в АД з ФР призводить до зменшення загальної надійності машини.

ТРН-АД та ПЧ-АД виготовляються із напівпровідникових елементів (тиристорів, транзисторів) тому мають високий ККД (зумовлено малими струмами комутації), також напівпровідникові елементи мають високу надійність. За допомогою ТРН-АД та ПЧ-АД можна плавно змінювати напругу та частоту відповідно, що є основною перевагою цих систем перед іншими.

Отже для реалізації поставленого завдання найкраще підходять ТРН-АД та ПЧ-АД.

Визначимо приведенні затрати для системи електропривода ТРН-АД.

Приведені затрати визначаються за формулою:

$$Z_i = E_n \cdot K_i + C_i, \quad (3.1)$$

де i – кількість розглянутих варіантів ($i=2, \dots, n$);

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (приймається 0.17 для всіх галузей промисловості);

K_i – капітальні затрати, грн;

C_i – загальні відрахування, грн.

Капітальні затрати визначаються як сума вартостей двигуна Д (4253 грн.) та системи керування СК (7655 грн.):

$$K_i = D_i + SK_i, \quad (3.2)$$

$$K_i = 4253 + 7655 = 11908(\text{грн}).$$

Річні капітальні затрати є добутком нормативного коефіцієнта економічної ефективності E_n та капітальних затрат:

$$K_{\text{річні}_i} = E_n \cdot K_i, \quad (3.3)$$

$$K_{\text{річні}_i} = 0.17 \cdot 11908 = 2024.36(\text{грн}).$$

Загальні додаткові відрахування включають в себе такі складові:

$$C_i = C_{A_i} + C_{P_i} + C_{D_i} + C_{O_i}, \quad (3.4)$$

де C_{A_i} – амортизаційні відрахування, грн/рік;

C_{P_i} – відрахування на ремонт, грн/рік;

C_{D_i} – додаткові відрахування, грн/рік;

C_{O_i} – відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому приймається 10% від капітальних затрат:

$$C_{A_i} = 0.1 \cdot K_i, \quad (3.5)$$

$$C_{A_i} = 0.1 \cdot 11908 = 1190.8(\text{грн/рік}).$$

Відрахування на ремонт електрообладнання приймають в розрахунку 2% від капітальних затрат:

$$C_{P_i} = 0.02 \cdot K_i, \quad (3.6)$$

$$C_{P_i} = 0.02 \cdot 11908 = 238.16 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування враховують втрати енергії в стаціонарних та перехідних режимах роботи:

$$C_{Д_i} = \Delta P_{\Sigma} \cdot c, \quad (3.7)$$

де ΔP_{Σ} – сумарні втрати потужності в стаціонарних та перехідних режимах роботи, кВт·год/рік;

c – вартість для промисловості одного кіловата потужності за годину, ($c = 6.07$ грн/кВт·год).

Сумарні втрати потужності в стаціонарних та перехідних режимах роботи:

$$\Delta P_{\Sigma} = (\Delta P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{перех.}}) \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (3.8)$$

де $\Delta P_{\text{ном}}$ – втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{\text{перех.}}$ – додаткові втрати потужності в перехідних режимах роботи, кВт;
;

k_3 – коефіцієнт завантаження по потужності (приймають рівним 0.8);

Φ – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (3.9)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність електричного двигуна;

$\eta_{\text{ном}}$ – номінальний ККД двигуна ($\eta_{\text{ном}} = 0.81$).

$$\Delta P_{\text{ном}} = 3 \cdot \frac{1 - 0.81}{0.81} = 0.704 (\text{кВт}).$$

Додаткові втрати потужності в перехідних режимах роботи приймають рівними 10% від номінальних:

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0.1 \cdot \Delta P_{\text{ном}}, \quad (3.10)$$

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0.1 \cdot 0.704 = 0.070 (\text{кВт}).$$

Дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік:

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (3.11)$$

де ε – відносна тривалість ввімкнення згідно тахограми ($\varepsilon = 0.81$);

$Z_{\text{р.д.}}$ – кількість робочих днів за рік, ($Z_{\text{р.д.}} = 365 / \text{рік}$);

$Z_{\text{р.з.}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{р.з.}} = 1$);

$t_{\text{р.з.}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{р.з.}} = 24 \text{ год}$).

$$\Phi = 0.81 \cdot 365 \cdot 1 \cdot 24 = 7095.6 (\text{год/рік}).$$

$$\Delta P_{\Sigma} = (0.704 + 0.070) \cdot 0.8 \cdot 7095.6 = 4394.016 (\text{кВт} \cdot \text{год/рік}).$$

$$C_{\text{Ді}} = 4394.016 \cdot 6.07 = 26671.68 (\text{грн}).$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання приймають рівним 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових затрат:

$$C_{\text{Оі}} = 0.05 \cdot (C_{\text{Аі}} + C_{\text{Ді}} + C_{\text{Рі}}), \quad (3.12)$$

$$C_{\text{Оі}} = 0.05 \cdot (1190.8 + 26671.68 + 238.16) = 1405.03 (\text{грн}).$$

$$C_{\text{і}} = 1190.8 + 26671.68 + 238.16 + 1405.03 = 29505.67 (\text{грн}).$$

$$З_{\text{і}} = 0.17 \cdot 11908 + 29505.67 = 31530.03 (\text{грн}).$$

Результати розрахунків зводимо в порівняльну таблицю.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця

Показник	Система електричного привода				
	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ТП-Д	ТРН-АД	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн.	47243	8495	47243	4253	4253
Вартість системи керування СК, грн.	18897	4672	22676	7655	8506
Капітальні затрати К, грн.	66140	13167	69919	11908	12759
Річні капітальні затрати $K_{річн}$, грн./рік	11243,8	2238,39	11886,23	2024,36	2169,03
Амортизаційні відрахування C_A , грн./рік	6614	1316,7	6991,9	1190,8	1275,9
Відрахування на ремонт C_P , грн./рік	1322,8	263,34	1398,38	238,16	255,18
Додаткові відрахування C_D , грн./рік	26671,68	26671,68	26671,68	26671,68	26671,68
Відрахування на обслуговування C_O , грн./рік	1730,42	1412,59	1753,10	1405,03	1410,14
Загальні відрахування С, грн./рік	36338,90	29664,31	36815,06	29505,67	29612,90
Приведені затрати З, грн./рік	47582,70	31902,70	48701,29	31530,03	31781,93

Висновок: в даному розділі було проведено техніко-економічний розрахунок різних систем електропривода. Найбільш економічно вигідною є система ТРН-АД, але система ПЧ-АД (хоч і коштує дорожче та має ускладнене регулювання) має вагому перевагу перед ТРН-АД, а саме точність регулювання. Тому система ПЧ-АД буде використана в якості системи керування АД.

4 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ЙОГО ПЕРЕВІРКА

4.1 Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання

За результатами техніко-економічного обґрунтування, в якості приводного двигуна слід використати асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.

У відповідності з попереднім розрахунком двигуна, було з'ясовано, що потужність приводного двигуна має становити 2295 Вт, а з врахуванням коефіцієнту запасу, який рівний 1.3:

$$P = P' \cdot K_3, \quad (4.1)$$

$$P = 2295 \cdot 1.3 = 2983.5 \text{ (Вт)}.$$

Порівнявши отримане значення 2983.5 Вт з стандартним рядом потужностей вибираємо двигун з паспортною потужністю 3000 Вт. Паспортні данні вибраної асинхронної машини з короткозамкнутим ротором серії АИРМ112 (тип двигуна АИРМ112МА6), приведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Паспортні дані асинхронного двигуна

Назва величини	Числове значення
Частота мережі живлення, Гц	50
Номінальна потужність, кВт	3.0
Частота обертання ротора, об/хв	950
Номінальна напруга живлення, В	380
Номінальний струм, А	7.4
Кратність пускового струму	5.5
Кратність пускового моменту	2.1
Кратність максимального моменту	2.4
Коефіцієнт корисної дії, %	81
Коефіцієнт потужності	0.76

4.2 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску

При механічних перевантаженнях двигун перевіряємо для найбільш важкого випадку – рушання з нижнього поверху при номінальному навантаженні.

При цьому тягове зусилля, пропорційно якому буде протікати струм в двигуні, складає:

$$F_T = F_{cp} + \Delta F, \quad (4.2)$$

де F_{cp} – середнє навантаження;

ΔF – втрати навантаження.

$$F_{cp} = \frac{\sum F_{cpi}}{i}, \quad (4.3)$$

$$F_{cp} = \frac{7661.721 + 683.642 + 6306.37 + 1040.793 + 4251.082}{25} = 3988.722 \text{ (Н)}.$$

Втрати навантаження:

$$\Delta F = F_{cp} \cdot (1 - \eta), \quad (4.4)$$

$$\Delta F = 3988.722 \cdot (1 - 0.81) = 757.857 \text{ (Н)}.$$

$$F_r = 3988.722 + 757.857 = 4746.579 \text{ (Н)}.$$

Необхідний статичний момент:

$$M_{ст} = \frac{F_r \cdot V_{НОМ}}{\omega_d \cdot \eta \cdot i_p}, \quad (4.5)$$

$$M_{ст} = \frac{4746.579 \cdot 2}{99.484 \cdot 0.81 \cdot 25} = 4.712 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Необхідний надлишковий момент:

$$M_{надл} = \left(\frac{\Sigma G \cdot n_1}{38.3 \cdot t_{п}} + \frac{0.975 \cdot g \cdot \Sigma m \cdot V_{НОМ}^2}{\eta \cdot t_{п} \cdot n_1} \right) \cdot \frac{1}{i_p}, \quad (4.6)$$

де ΣG – сума махових моментів обертаючих частин;

n_1 – частота обертання вала в обертах за хвилину;

$t_{п}$ – час пуску;

Σm – сумарний маховий момент обертових частин.

Сумарний маховий момент обертових частин:

$$\Sigma G = GD_m^2 + GD_p^2 + GD_{ш}^2, \quad (4.7)$$

$$\Sigma G = 1.2 + 11.25 + 26.499 = 38.949 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Неврівноважена маса рухомих частин:

$$\Sigma m = \frac{F_{max}}{g}, \quad (4.8)$$

де F_{max} – максимальна сила натягу канатів з врахуванням загального ККД системи.

$$F_{\max} = \frac{F_1}{\eta_{\text{сист}}}, \quad (4.9)$$

де F_1 – сумарна сила натягу канатів при повній кабіні внизу шахти.

$\eta_{\text{сист}}$ – ККД системи.

Знайдемо сумарну силу натягу канатів при повній кабіні внизу шахти:

$$F_1 = (m_{\text{ном}} + m_0 - m_{\text{пв}} + m_{\text{каб}}) \cdot g, \quad (4.10)$$

$$F_1 = (600 + 1000 - 1300 + 34.096) \cdot 9.8 = 3274.141(\text{Н}).$$

$$F_{\max} = \frac{3274.141}{0.8} = 4092.676(\text{Н}).$$

$$\sum m = \frac{4092.676}{9.8} = 417.620(\text{кг}).$$

$$M_{\text{надл}} = \left(\frac{38.949 \cdot 950}{38.3 \cdot 11.52} + \frac{0.975 \cdot 9.8 \cdot 417.620 \cdot 2^2}{0.8 \cdot 11.52 \cdot 950} \right) \cdot \frac{1}{25} = 3.427 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Тоді перевантаження двигуна:

$$k = \frac{M_{\text{ст}} + M_{\text{надл}}}{M_{\text{ном}}}, \quad (4.11)$$

$$k = \frac{4.712 + 3.427}{30.158} = 0.27.$$

Згідно діючих стандартів при рушанні з місця допускається $k = 3$, тобто по перевантаженню двигун вибраний правильно.

Перевірку двигуна по тепловому перевантаженню проводимо, використовуючи діаграму навантаження та отриманий еквівалентний момент M_e , який приводимо до відносної тривалості вмикання двигуна:

$$M_{\text{пер}} = M_e \cdot \sqrt{\frac{T_B}{T_{B_{\text{ст}}}} + \alpha \cdot \left(\frac{T_B}{T_{B_{\text{ст}}}} - 1 \right)}, \quad (4.12)$$

$$M_{\text{пер}} = 25.63 \cdot \sqrt{\frac{81}{100} + 0.5 \cdot \left(\frac{81}{100} - 1\right)} = 21.672 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Таким чином, $M_{\text{ном}} = 30.158 (\text{Н} \cdot \text{м}) > M_{\text{пер}} = 21.672 (\text{Н} \cdot \text{м})$, тобто і по тепловому перевантаженню двигун вибраний правильно.

Висновок: в даному розділі було здійснено вибір силового асинхронного двигуна. Як свідчить кінцевий результат розрахунку, асинхронний двигун вибраний вірно, тобто за нагрівом та перевантаженням він задовольняє умовам роботи ліфта в надійних безаварійних режимах. Вибраний двигун придатний та доцільний до експлуатації в даній системі електроприводу пасажирського ліфта.

5 РОЗРАХУНОК І ВИБІР СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ

5.1 Розрахунок джерела живлення і силового фільтра

Для розрахунків попередньо приймається, що значення випрямленої напруги U_d дорівнює номінальній напрузі двигуна U_H , значення випрямленого струму I_d – номінальному струму двигуна I_H , а значення випрямленої потужності $P_d = P_H$, тобто:

$$U_d = U_H, \quad (5.1)$$

$$I_d = I_H, \quad (5.2)$$

$$P_d = P_H. \quad (5.3)$$

Типова потужність трансформатора:

$$S_T = k_s \cdot P_d, \quad (5.4)$$

де k_s – коефіцієнт схеми випрямлення за потужністю ($k_s=1.35$).

$$S_T = 1.35 \cdot 3700 = 4995 \text{ (В} \cdot \text{А)}.$$

Вибираємо трансформатор за типовою потужністю S_T , орієнтуючись на випрямлену напругу U_d (напругу двигуна U_H). В якості трансформатора для живлення силової частини електропривода було вибрано електричну машину типу ТСЗП-16/0.7 УХЛ4 параметри якого зводимо у таблицю 5.1.

В таблиці 5.1 прийнято наступні позначення:

S_H – номінальна потужність трансформатора;

U_{2H} – номінальна напруга вторинної обмотки;

$U_{k\%}$ – напруга короткого замикання, виражена у відсотках від номінальної фазної напруги первинної обмотки;

$I_{0\%}$ – струм холостого ходу, виражений у відсотках;

P_0 – потужність короткого замикання.

Таблиця 5.1 – Параметри трансформатора типу ТСЗП-16/0.7 УХЛ4

S_n , кВА	$U_{1н}$, В	$U_{2н}$, В	$U_{к\%}$, %	$I_{0\%}$, %	P_0 , Вт	P_k , Вт
14.6	380	410	5.2	10	915	550

Максимальна амплітудна напруга на діоді:

$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot k_{зн} \cdot U_{л}, \quad (5.5)$$

де $k_{зн}$ – коефіцієнт запасу по напрузі ($k_{зн} = 1.3 \dots 1.5$);

$U_{л}$ – лінійна напруга вторинної обмотки трансформатора.

$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot 1.3 \cdot 410 = 753.776(\text{В}).$$

Середній струм через діод для трифазної мостової схеми:

$$I_{\text{cp}} = \frac{\lambda \cdot I_n}{3}, \quad (5.6)$$

де I_n – номінальний струм якоря двигуна, А;

λ – коефіцієнт допустимого перевантаження двигуна за струмом ($\lambda = 1.25 \dots 1.5$).

$$I_{\text{cp}} = \frac{1.25 \cdot 12.5}{3} = 5.208(\text{А}).$$

Середній струм, приведений до класифікаційних параметрів діода:

$$I_{\text{пр}} = k_{зи} \cdot I_{\text{cp}}, \quad (5.7)$$

де $k_{зи}$ – коефіцієнт запасу по струму ($k_{зи} = 1.5 \dots 2$).

$$I_{\text{пр}} = 1.5 \cdot 5.208 = 7.813(\text{A}).$$

Далі з довідників вибираємо діод так, щоб були виконані умови:

$$\begin{cases} U_{\text{звmax}} \geq U_{\text{max}}, \\ I_{\text{прmax}} \geq I_{\text{пр}}. \end{cases} \quad (5.8)$$

Вибираємо діод типу Д212-10, в якого $U_{\text{звmax}} = 1600(\text{В})$ і $I_{\text{прmax}} = 15(\text{А})$.

$$\begin{cases} 1600 \geq 753.776, \\ 15 \geq 10.938. \end{cases}$$

Нехтуючи втратами у фільтрі, приблизно можна визначити коефіцієнт згладжування по формулі:

$$k_{\text{зг}} = \frac{U'_{(1)\text{m}}}{U_{(1)\text{m}}}, \quad (5.9)$$

де $U'_{(1)\text{m}}$ – амплітуда основної гармоніки напруги на вході фільтру
($U'_{(1)\text{m}} = 400(\text{В})$);

$U_{(1)\text{m}}$ – амплітуда основної гармоніки напруги на виході фільтру.

Амплітуда основної гармоніки напруги на виході фільтру:

$$U_{(1)\text{m}} = \frac{I_{\text{д}}}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_{\text{ф}}}, \quad (5.10)$$

де ω_0 – кутова частота напруги живлення ($\omega_0 = 314 (\text{с}^{-1})$);

$I_{\text{д}}$ – номінальний струм якоря двигуна;

$C_{\text{ф}}$ – ємність конденсатора фільтру.

Задаючись коефіцієнтом пульсацій 5...10% ($k_{\text{п}} = 0.05...0.1$), отримаємо ємність конденсатора фільтру:

$$C_{\phi} = \frac{I_d}{2 \cdot U_d \cdot k_{\pi} \cdot \omega_0}, \quad (5.11)$$

$$C_{\phi} = \frac{12.5}{2 \cdot 400 \cdot 0.05 \cdot 314} = 995.223 \cdot 10^{-6},$$

$$U_{(1)m} = \frac{12.5}{2 \cdot 314 \cdot 995.223 \cdot 10^{-6}} = 20,$$

$$k_{зг} = \frac{400}{20} = 20.$$

5.2 Вибір транзисторів і шунтуючих діодів

Максимальний допустимий струм якоря з умов комутації:

$$I_{\text{доп}} = \lambda \cdot I_{\text{н}}, \quad (5.12)$$

$$I_{\text{доп}} = 1.25 \cdot 12.5 = 15.625(\text{A}).$$

Максимальний струм якоря, приведений до класифікаційних параметрів транзистора:

$$I_{\text{max}} = k_{зi} \cdot k_{охл} \cdot I_{\text{доп}}, \quad (5.13)$$

де $k_{зi}$ – коефіцієнт запасу по струму ($k_{зi} = 1.5 \dots 2$);

$k_{охл}$ – коефіцієнт, що враховує умови охолодження ($k_{охл} = 1.1 \dots 2.5$).

$$I_{\text{max}} = 1.5 \cdot 1.1 \cdot 15.625 = 25.781(\text{A}).$$

Максимальна напруга, яка прикладається до транзистора під час його замикання:

$$U_{\text{max}} = \sqrt{2} \cdot k_{зн} \cdot U_{\text{н}}, \quad (5.14)$$

де $k_{зн}$ – коефіцієнт, що враховує перенапруги ($k_{зн} = 1.3$).

$$U_{\text{max}} = \sqrt{2} \cdot 1.3 \cdot 400 = 735.391(\text{В}).$$

Вибираємо з довідників транзистори за умовами:

$$\begin{aligned} I_{\text{кmax}} &> I_{\text{max}}, \\ U_{\text{кеmax}} &> U_{\text{max}}. \end{aligned} \quad (5.15)$$

Вибираємо транзистор типу BSM50GB120DN2, в якого $I_{\text{кmax}} = 35(\text{A})$ і $U_{\text{кеmax}} = 1200(\text{В})$.

$$\begin{aligned} 35 &> 25.781, \\ 1200 &> 735.391. \end{aligned}$$

По розрахованих параметрах максимального струму і напруги з довідників вибирають шунтуючі діоди, що задовольняють умовам:

$$\begin{cases} U_{\text{звmax}} \geq U_{\text{max}}, \\ I_{\text{прmax}} \geq I_{\text{пр}}. \end{cases}, \quad (5.16)$$

Вибираємо діод типу Д212-10, в якого $U_{\text{звmax}} = 1600(\text{В})$ і $I_{\text{прmax}} = 15(\text{А})$.

$$\begin{cases} 1600 \geq 753.776, \\ 15 \geq 10.938. \end{cases}$$

Для транзисторного електроприводу з ПЧ важливим параметром є оптимальна частота комутації, яка може бути обчислена за формулою:

$$f_{\text{опт}} = k_f \cdot \sqrt[3]{\frac{\beta \cdot R_c^2}{L_c^2 \cdot (t_n + t_c)}}, \quad (5.17)$$

де k_f – коефіцієнт пропорційності ($k_f = 0.332$);

t_n, t_c – час наростання і спаду колекторного струму транзистора;

β – коефіцієнт навантаження;

R_c – опір кола статора;

L_c – індуктивність кола статора.

$$t_h = t_c = \frac{U_H}{I_H \cdot R_H}, \quad (5.18)$$

$$t_h = t_c = \frac{400}{12.5 \cdot 2.848} = 11.236(\text{с}).$$

$$\beta = \frac{\Delta p_{\text{пост}}}{\Delta p_{\text{зм}}}, \quad (5.19)$$

де $\Delta p_{\text{пост}}$ – постійні втрати;

$\Delta p_{\text{зм}}$ – змінні втрати.

$$\Delta p_{\text{пост}} = \Delta p_{\Sigma} - \Delta p_{\text{зм}}, \quad (5.20)$$

де Δp_{Σ} – сумарні втрати.

$$\Delta p_{\Sigma} = \frac{P_H}{\eta_i}, \quad (5.21)$$

де P_H – номінальна потужність;

η_i – коефіцієнт корисної дії ($\eta_i = 0.91$).

$$\Delta p_{\Sigma} = \frac{3700}{0.91} = 4065.934 \text{ (Вт)}.$$

Змінні втрати можна знайти за формулою:

$$\Delta p_{\text{зм}} = I_H^2 \cdot R_c, \quad (5.22)$$

де I_H – номінальний струм;

R_c – опір кола статора.

$$\Delta p_{\text{зм}} = 12.5^2 \cdot 2.848 = 445 \text{ (Вт)},$$

$$\Delta p_{\text{пост}} = 4065.934 - 445 = 3620.934 \text{ (Вт)},$$

$$\beta = \frac{3620.934}{445} = 8.137,$$

$$f_{\text{опт}} = 0.332 \cdot \sqrt[3]{\frac{8.137 \cdot 2.848^2}{0.074^2 \cdot (2 \cdot 11.236)}} = 2.697 \text{ (Гц)}.$$

5.3 Захист транзисторів від перенапруг

Граничне значення похідної напруги при включенні силового транзистора визначається таким чином:

$$\left(\frac{dU}{dt}\right)_{\text{max}} = \frac{U_{\text{кемакс}}}{t_{\text{н}}}, \quad (5.23)$$

$$\left(\frac{dU}{dt}\right)_{\text{max}} = \frac{1200}{11.236} = 106.8.$$

Оцінку мінімального значення ємкості конденсатора, що здійснює обмеження максимальної величини похідною наростання напруги при замиканні транзистора, можна виконувати по виразу:

$$C_{\text{min}} = \frac{I_{\text{кмакс}}}{\left(\frac{dU}{dt}\right)_{\text{max}}}, \quad (5.24)$$

$$C_{\text{min}} = \frac{35}{106.8} = 0.328 \text{ (Ф)}.$$

Використовуючи проведені розрахунки, по вибору тиристорів і діодів, та нижче зазначені умови, визначимо потужність, якій має відповідати перетворювача частоти для коректної роботи системи:

$$P_{\text{п}} \geq P_{\text{с}} = M_{\text{ном}} \cdot \omega_{\text{ном}}. \quad (5.25)$$

$$P_{\text{п. макс}} \geq P_{\text{макс}} = M_{\text{макс}} \cdot \omega_{\text{ном}}, \quad (5.26)$$

$$P_{\text{макс}} = 72.379 \cdot 99.484 = 7200.552 \text{ (Вт)}.$$

$$I_{\text{п}} \geq \frac{M_{\text{макс}} \cdot I_{\text{ном}}}{M_{\text{ном}} \cdot \lambda_1}, \quad (5.27)$$

$$I_n = \frac{72.379 \cdot 7.4}{30.158 \cdot 1.2} = 14.8(\text{A}).$$

Вибираємо продукт фірми Веспер. Перетворювач частоти ЕЗ-8100 модель 010Н являється базовою моделлю і має наступні паспортні дані:

Таблиця 5.2 – Паспортні дані перетворювача частоти

Назва величини	Значення
Номінальна потужність, кВт	5.5
Номінальний струм, А	18
Номінальна вхідна напруга, В	380
Діапазон зміни напруги, В	0-380
Діапазон напруги роботи аналогових входів, В	0...10
Діапазон струму роботи аналогових входів, мА	0...20
Робота при перевантаженні в 150% від номінального значення, с	60
Допустимі відхилення напруги живлення, %	-15...+10

Висновок: в даному розділі було вибрано перетворювальний пристрій – перетворювач частоти, який є найкращим, доцільним варіантом регулювання швидкості обертання ротора асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором.

6 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором використовують для приводу механізмів, навантаження яких може змінюватись в широких межах. Як відомо, робота двигуна з недовантаженням погіршує його енергетичні показники, тому одним із шляхів їх покращання є зміна напруги живлення пропорційно до зміни навантаження, що можна здійснити за допомогою перетворювача частоти (ПЧ). Їх використання в асинхронних електроприводах дає змогу змінювати напругу та частоту живлення обмотки статора двигуна, що дозволяє регулювати швидкість руху електроприводу в великих межах, а також формувати його статичні та динамічні характеристики.

Застосування регульованих асинхронних електроприводів дає змогу в деяких випадках не тільки забезпечити необхідний перебіг технологічного процесу, але й покращити енергетичні показники.

Перетворювач частоти за допомогою імпульсно-фазового керування транзисторами дозволяє порівняно просто реалізувати різні режими керування електроприводом. Основними елементами перетворювача частоти є транзистори, які виконують функції швидкодіючих перемикачів, за допомогою яких можна змінювати середнє значення прикладеної до обмотки статора напруги, а також частоту цієї напруги.

Отже для керування електроприводом вибираємо систему ПЧ-АД, функціональна схема якої показана на рисунку 6.1:

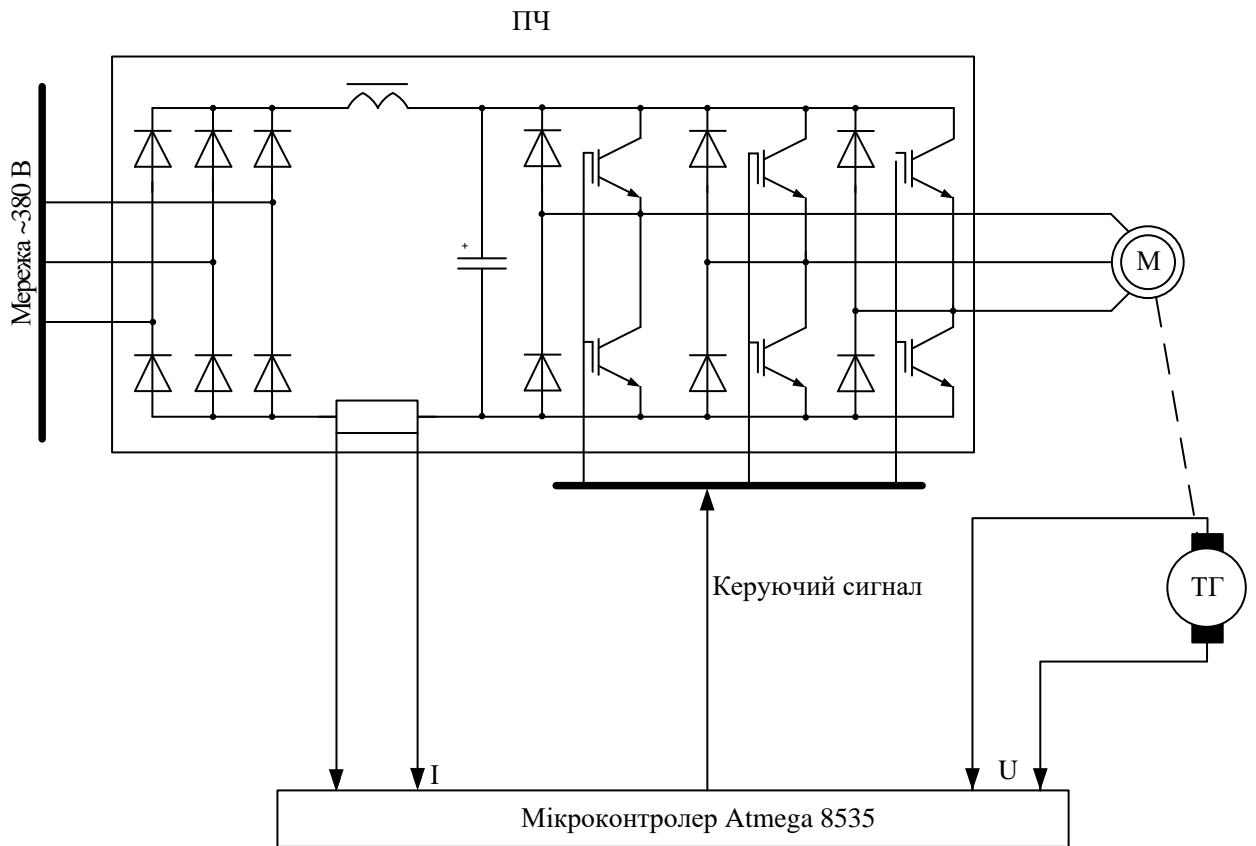


Рисунок 6.1 – Функціональна схема ПЧ-АД

Нижче на рисунку 6.2 зображено електричну принципову схему перетворювач частоти – асинхронний двигун.

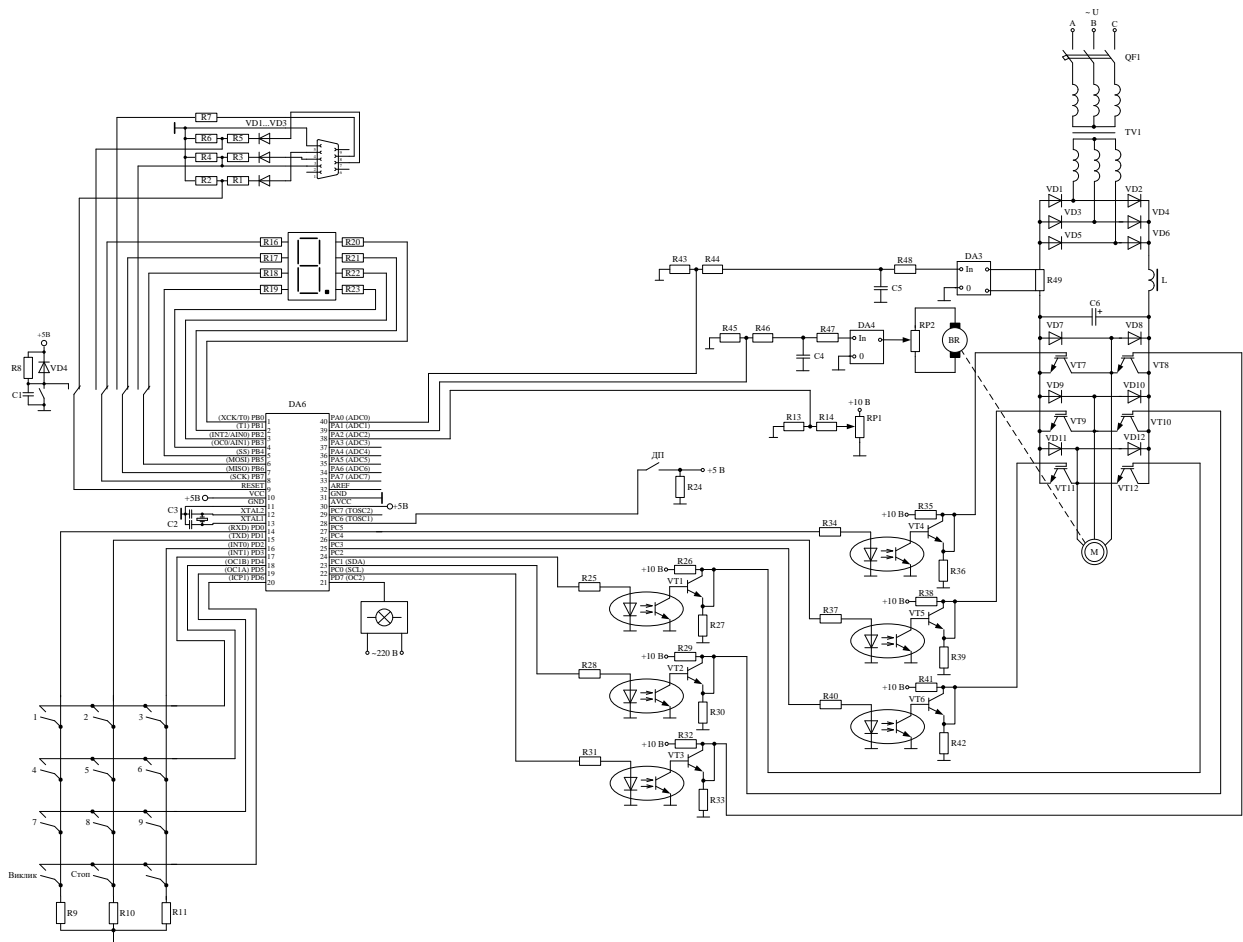


Рисунок 6.2 – Електрична принципова схема ПЧ-АД

Для наочності та кращого розуміння принципу роботи системи було розроблено алгоритм роботи ліфтової установки. На рисунку 6.3 приведено спрощений алгоритм роботи системи.

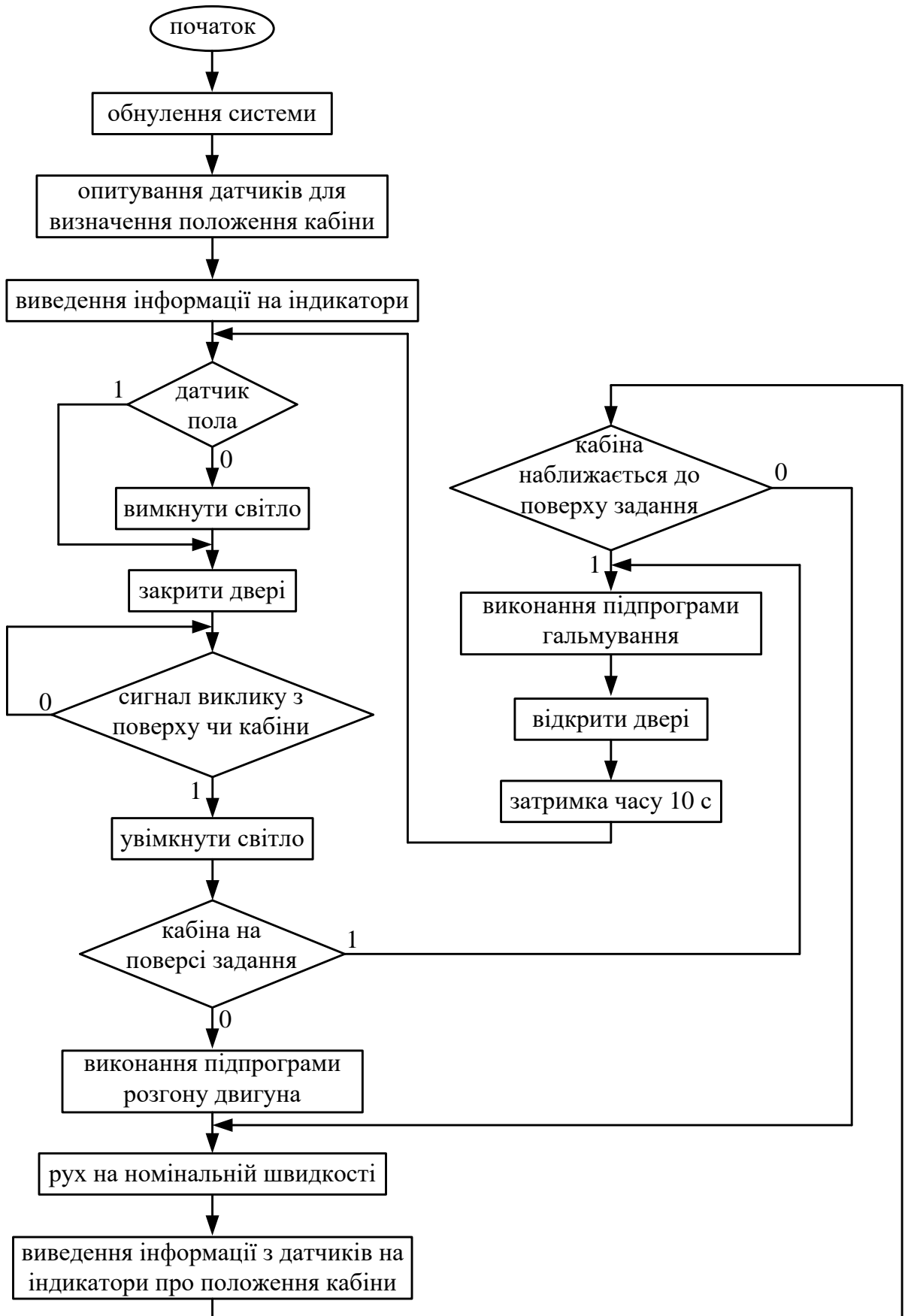


Рисунок 6.3 – Спрощений алгоритм роботи ліфтової установки

Висновок: в даному розділі було розроблено систему керування електроприводом. Зворотні зв'язки за струмом і швидкістю (в якості сенсорів яких виступає шунт та тахогенератор відповідно) дають змогу отримувати інформацію про стан двигуна і регулювати напругу статора у відповідності до технологічних потреб. Також було розроблено спрощений алгоритм роботи ліфтової установки на базі мікроконтролера.

7 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ САЕП

Для побудови графіків перехідних процесів використовуємо математичну модель АД з короткозамкненим ротором в пакеті прикладних програм MATLAB.

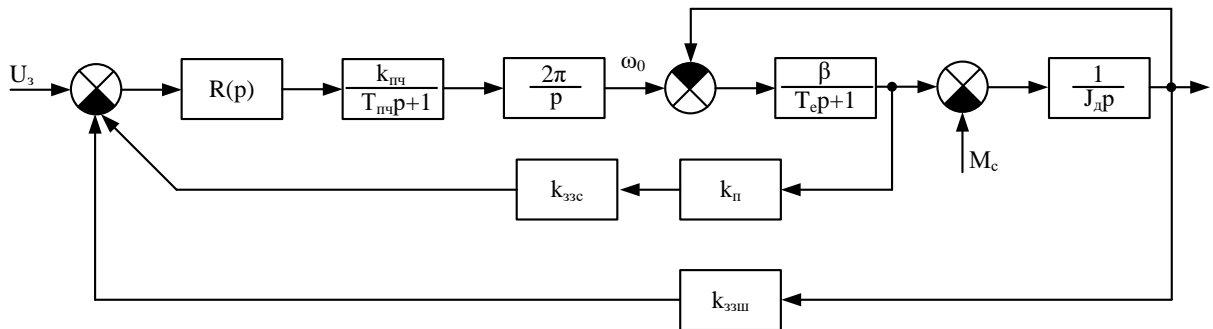


Рисунок 7.1 – Структурна схема ПЧ-АД

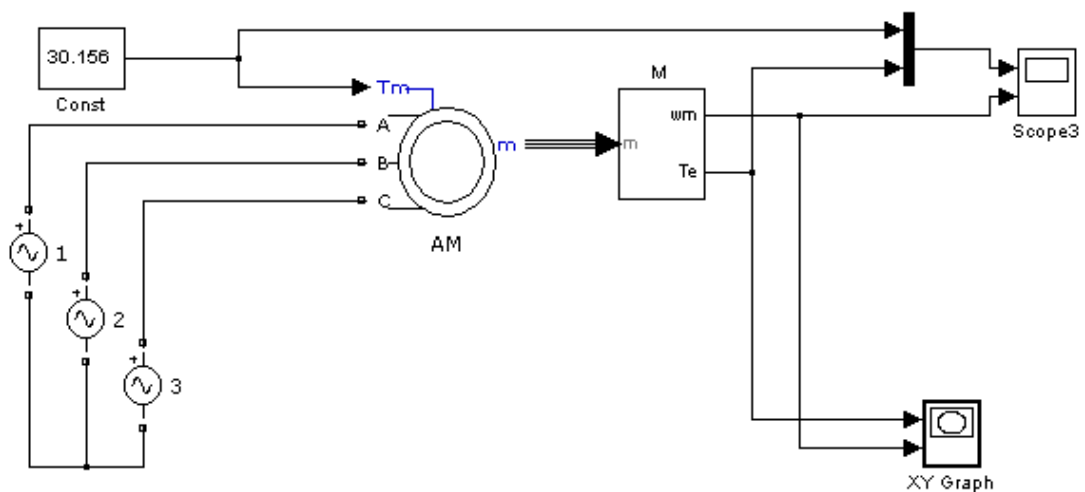


Рисунок 7.2 – Модель асинхронного двигуна в ППП MATLAB

Для моделювання, в модель асинхронного двигуна потрібно ввести наступні дані, які не є паспортними:

Величина механічних втрат:

$$P_{\text{мех}} = 0.05 \cdot P_{\text{ном}}, \quad (7.1)$$

$$P_{\text{мех}} = 0.05 \cdot 3000 = 150(\text{Вт}).$$

Активний опір ротора:

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{НОМ}} + P_{\text{мех}}}{I_{\text{НОМ}}^2 \cdot \frac{1 - s_{\text{НОМ}}}{s_{\text{НОМ}}}}, \quad (7.2)$$

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{3000 + 150}{7.4^2 \cdot \frac{1 - 0.05}{0.05}} = 1.009(\text{Ом}).$$

Активний опір статора:

$$R_s = \frac{U_{\phi} \cdot \cos(\varphi) \cdot (1 - \eta)}{I_{\text{НОМ}}} - C^2 \cdot R_r - \frac{P_{\text{мех}}}{3 \cdot I_{\text{НОМ}}^2}, \quad (7.3)$$

де C – розрахунковий коефіцієнт.

$$R_s = \frac{220 \cdot 0.76 \cdot (1 - 0.81)}{7.4} - 1.05^2 \cdot 0.971 - \frac{150}{3 \cdot 7.4^2} = 2.255(\text{Ом}).$$

Реактивний опір статора:

$$L_s = \frac{U_{\phi}}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot I_{\text{НОМ}} \cdot \sqrt{1 - \cos^2(\varphi)} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot M_k \cdot \frac{s_{\text{НОМ}}}{s_k}}{p \cdot U_{\phi}}}, \quad (7.4)$$

$$L_s = \frac{220}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 7.4 \cdot \sqrt{1 - 0.76^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 72.374 \cdot 0.05}{3 \cdot 220} \cdot 0.229} = 0.146(\text{Гн}).$$

Приведена індуктивність розсіювання статора і ротора:

$$L_{\text{sp}} = L_{\text{sr}} = \frac{U_{\phi}}{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (1 + C^2) \cdot \lambda_{\text{п}} \cdot I_{\text{НОМ}}}, \quad (7.5)$$

$$L_{\text{sp}} = L_{\text{sr}} = \frac{220}{4 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot (1 + 1.05^2) \cdot 2.1 \cdot 7.4} = 0.0041(\text{Гн}).$$

Індуктивність кола намагнічування:

$$L_m = L_s - L_{sp}, \quad (7.6)$$

$$L_m = 0.146 - 0.0041 = 0.142(\text{Гн}).$$

Промодельовавши модель показану на рисунку 7.2, було одержано наступні графіки:

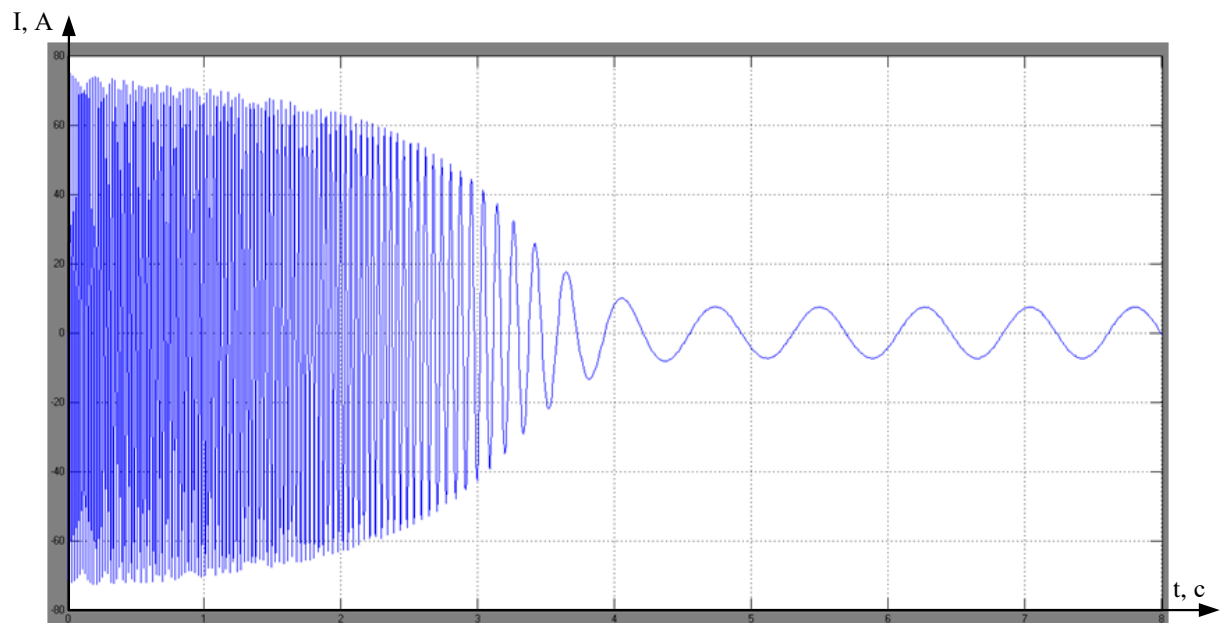


Рисунок 7.3 – Графік переходного процесу струму статора

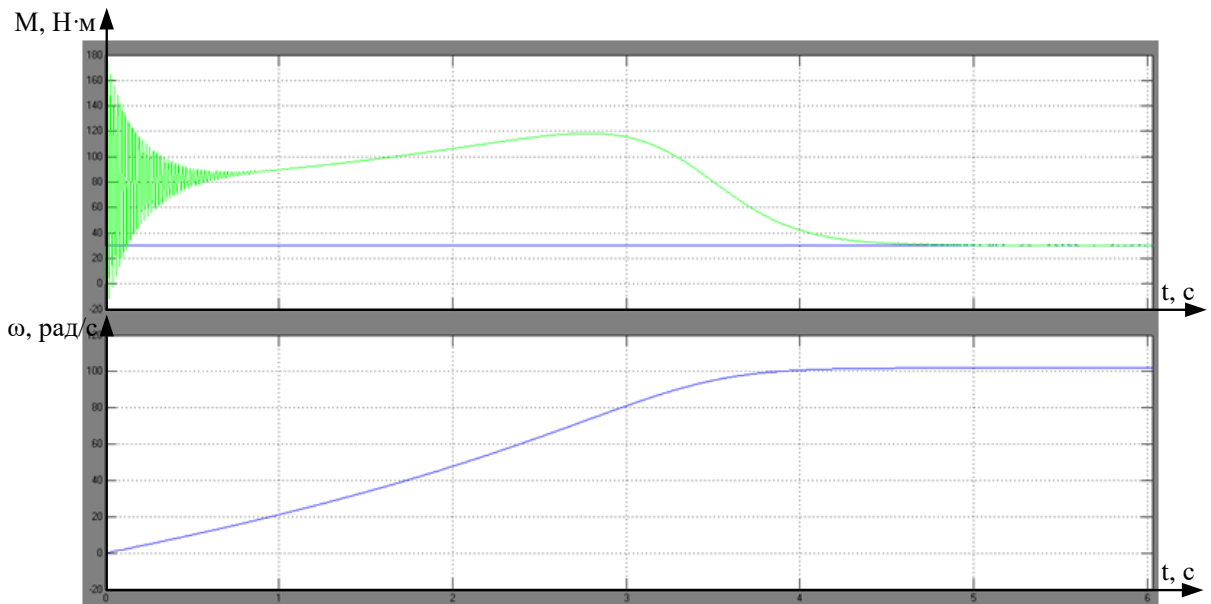


Рисунок 7.4 – Графік перехідних процесів моменту опору, моменту двигуна та швидкості обертання ротора

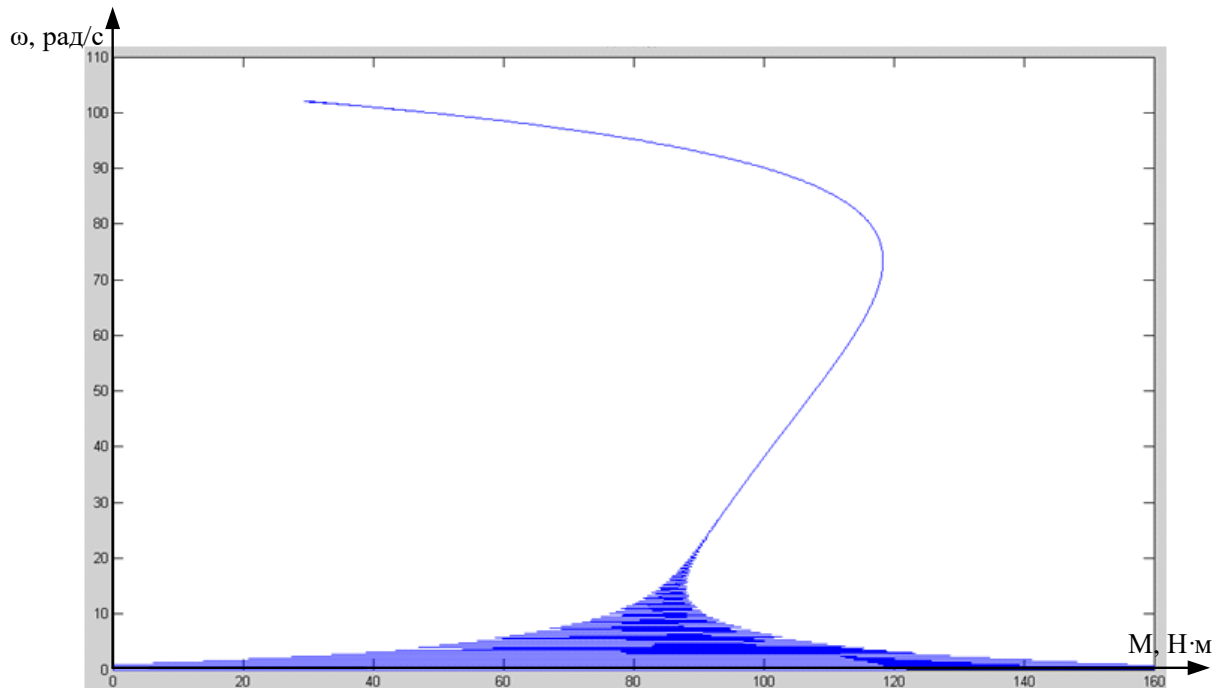


Рисунок 7.5 – Графік механічної характеристики

Висновок: перехідні процеси в асинхронному електроприводі в загальному випадку супроводжується значними по амплітуді піками

перехідного електромагнітного моменту, що призводить до додаткових динамічних навантажень в механічній частині електроприводу і може викликати навіть поломку його елементів.

8 РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

8.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна

Зважаючи на специфіку розрахунку параметрів асинхронного двигуна, застосовують Т - подібну схему заміщення, в якій нехтують активним опором кола намагнічування.

Одними з основних параметрів, що характеризують номінальний режим асинхронного двигуна, є номінальні значення приведенного струму ротора $\Gamma_{2.\text{ном}}$ і намагнічувального струму $I_{\mu\text{ном}}$. Враховуючи те, що при переході від ідеального холостого ходу ($s=0$) до номінального режиму ($s=s_n$) магнітний потік практично не змінюється, приймаємо $I_{\mu\text{ном}}$ рівним струму холостого ходу $I_{\mu\text{х}}$, зміряному при роботі двигуна без навантаження на валу.

Визначимо значення $\Gamma_{2.\text{ном}}$, $I_{\mu\text{ном}}$, використовуючи розрахункові дані номінального струму статора $I_{1\text{ном}}$, кратності максимального моменту λ_1 і номінального коефіцієнта потужності $\cos\varphi_{\text{ном}}$, а також рівняння для критичного ковзання та основні співвідношення АД.

Номінальне значення ковзання:

$$s_n = \frac{n_0 - n_1}{n_0}, \quad (8.1)$$

$$s_n = \frac{1000 - 950}{1000} = 0.05.$$

Номінальне значення критичного ковзання:

$$s_k = s_n \cdot \left(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1} \right), \quad (8.2)$$

де s_n – номінальне ковзання АД;

λ_m – кратність максимального моменту.

$$s_k = 0.05 \cdot \left(2.4 + \sqrt{2.4^2 - 1} \right) = 0.229.$$

Номинальний струм статора $I_{1\text{НОМ}}$:

$$I_{1\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{3 \cdot U_{1\text{НОМ}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}, \quad (8.3)$$

$$I_{1\text{НОМ}} = \frac{3000}{3 \cdot 380 \cdot 0.81 \cdot 0.76} = 4.275 \text{ (A)}.$$

Визначення номінального значення приведенного струму ротора:

$$I'_{2\text{НОМ}} \approx I_{1\text{НОМ}} \cdot \cos(\varphi) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda_M}{\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1}}}, \quad (8.4)$$

$$I'_{2\text{НОМ}} \approx 4.275 \cdot 0.76 \sqrt{\frac{2 \cdot 2.4}{2.4 + \sqrt{2.4^2}}} = 3.325 \text{ (A)}.$$

Визначення струму намагнічування:

$$I_{\mu\text{НОМ}} = I_{1\text{НОМ}} \left(\sin(\varphi) - \cos(\varphi) \cdot \frac{s_H}{s_k} \right), \quad (8.5)$$

$$I_{\mu\text{НОМ}} = 4.275 \cdot \left(0.54 - 0.76 \cdot \frac{0.05}{0.229} \right) = 1.599 \text{ (A)}.$$

Визначимо невідомі параметри Т-подібної схеми заміщення.

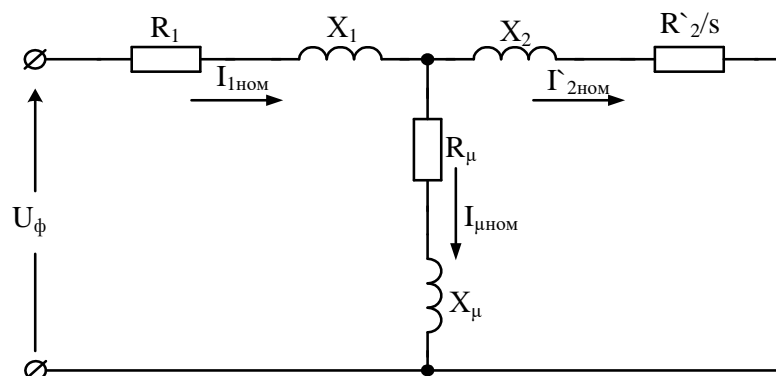


Рисунок 8.1 – Т-подібна схема заміщення АД

Тоді з достатнім ступенем точності можна прийняти активний опір статора рівним:

$$R_1 = \frac{U_{\text{НОМ}}^2 \cdot (1 - s_{\text{НОМ}})}{2 \cdot c_1 \cdot (P_{\text{НОМ}} + \Delta P_{\text{мех}}) \cdot \lambda_{\text{П}} \cdot \left(1 + \frac{c_{\text{НОМ}}}{s_{\text{НОМ}}}\right)}, \quad (8.6)$$

де c_1 – коефіцієнт насичення магнітного ланцюга ($c_1=1.03$).

$\Delta P_{\text{мех.}}$ – втрати механічної потужності ($\Delta P_{\text{мех.}}=0.01 \cdot P_{\text{НОМ}}$)

$$R_1 = \frac{380^2 \cdot (1 - 0.05)}{2 \cdot 1.03 \cdot (3000 + 30) \cdot 2.1 \cdot \left(1 + \frac{1.03}{0.05}\right)} = 0.485 \text{ (Ом)}.$$

По кратності пускового моменту $\lambda_{\text{П}}$ визначаємо активний опір ротора при $s=1$:

$$R_2' = \frac{(P_{\text{НОМ}} + \Delta P_{\text{мех}}) \cdot \lambda_{\text{П}}}{3 \cdot (1 - s_{\text{НОМ}}) \cdot k_i^2 \cdot I_{\text{НОМ}}^2}, \quad (8.7)$$

$$R_2' = \frac{(3000 + 30) \cdot 2.4}{3 \cdot (1 - 0.05) \cdot 5.5^2 \cdot 4.275^2} = 4.039 \text{ (Ом)}.$$

Визначимо індуктивний опір короткого замикання з виразу для критичного ковзання.

$$X_{\text{к}} = \sqrt{\left(\frac{R_2'}{s_{\text{к}}}\right)^2 - R_1^2}, \quad (8.8)$$

$$X_{\text{к}} = \sqrt{\left(\frac{4.039}{0.229}\right)^2 - 0.485^2} = 17.623 \text{ (Ом)}.$$

Тоді індуктивні опори розсіяння статора:

$$X_1 = \frac{X_{\text{к}}}{2 \cdot c_1}, \quad (8.9)$$

$$X_1 = \frac{17.623}{2 \cdot 1.03} = 8.555 \text{ (Ом)}.$$

Індуктивні опори розсіяння ротора:

$$X_2 = X_1 \cdot c_1, \quad (8.10)$$

$$X_2 = 8.555 \cdot 1.03 = 8.812 \text{ (Ом)}.$$

Індуктивний опір контуру намагнічування:

$$X_\mu = \frac{U_{\text{ІНОМ}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\mu\text{НОМ}}}, \quad (8.11)$$

$$X_\mu = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 1.599} = 137.18 \text{ (Ом)}.$$

Індуктивність намагнічування:

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f}, \quad (8.12)$$

де f – частота живлячої мережі ($f = 50$ Гц).

$$L_\mu = \frac{137.18}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.437 \text{ (Гн)}.$$

Індуктивність фази статора:

$$L_s = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f} + L_\mu, \quad (8.13)$$

$$L_s = \frac{8.555}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} + 0.437 = 0.464 \text{ (Гн)}.$$

Індуктивність фази ротора:

$$L_r = \frac{X_2}{2 \cdot \pi \cdot f} + L_\mu, \quad (8.14)$$

$$L_r = \frac{8.812}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} + 0.437 = 0.465 \text{ (Гн)}.$$

Використовуючи табличні дані можна визначити номінальні втрати двигуна, знаючи ККД і активний опір обмоток.

Додаткові втрати в статорі:

$$\Delta P_{\text{д}} = 0.005 \cdot P_{\text{ном}}, \quad (8.15)$$

$$\Delta P_{\text{д}} = 0.005 \cdot 3000 = 15 (\text{Вт}).$$

Втрати в обмотці статора і додаткові втрати:

$$\Delta P_{1.\text{ном}} = 3 \cdot I_{1.\text{ном}}^2 \cdot R + \Delta P_{\text{д}}, \quad (8.16)$$

$$\Delta P_{1.\text{ном}} = 3 \cdot 4.275^2 \cdot 1.8 + 15 = 113.68 (\text{Вт}).$$

Механічні втрати рівні:

$$\Delta P_{\text{мех}} = c_{\text{мех}} \cdot P_{\text{ном}}, \quad (8.17)$$

де $c_{\text{мех}}$ – коефіцієнт механічних втрат, приймаємо 0.01.

$$\Delta P_{\text{мех}} = 0.01 \cdot 3000 = 30 (\text{Вт}).$$

Втрати в роторі:

$$\Delta P_{2.\text{ном}} = \frac{(P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{мех}}) \cdot s_{\text{н}}}{1 - s_{\text{н}}}, \quad (8.18)$$

$$\Delta P_{2.\text{ном}} = \frac{(3000 + 30) \cdot 0.05}{1 - 0.05} = 159.474 (\text{Вт}).$$

Сумарні втрати двигуна:

$$\sum \Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}}, \quad (8.19)$$

$$\sum \Delta P_{\text{ном}} = 3000 \cdot \frac{1 - 0.81}{0.81} = 703.704 (\text{Вт}).$$

Втрати в сталі статора:

$$\Delta P_{\text{Ic.ном}} = \sum \Delta P_{\text{ном}} - (\Delta P_{\text{Iном}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{2ном}}), \quad (8.20)$$

$$\Delta P_{\text{Ic.ном}} = 703.704 - (113.68 + 30 + 159.474) = 400.55 (\text{Вт}).$$

Дані розрахунків зведені в таблицю 8.1

Таблиця 8.1 – Розрахункові параметри АД

Параметри двигуна	
Активний опір статора	$R_1=0.485 \text{ Ом}$
Активний приведенний опір ротора	$R'_2=4.039 \text{ Ом}$
Індуктивний опір розсіювання	$X_k=17.623 \text{ Ом}$
Критичне ковзання двигуна	$s_k=0.229$
Опір намагнічування	$X_\mu=137.18 \text{ Ом}$
Індуктивність намагнічування	$L_\mu=0.437 \text{ Гн}$
Індуктивний опір розсіювання статора	$X_1=8.555 \text{ Ом}$
Індуктивний опір ротора	$X_2=8.812 \text{ Ом}$
Індуктивність фази статора	$L_s=0.464 \text{ Гн}$
Індуктивність фази ротора	$L_r=0.465 \text{ Гн}$

8.2 Побудова механічної характеристики

Механічна характеристика електродвигуна – це залежність частоти обертання від моменту на валу. Побудова механічної характеристики виконується за допомогою формули Чекунова:

$$M = M_k \cdot \frac{2 + (s^2 - s_k^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (8.21)$$

де M_k – критичний момент;

s – ковзання;

s_k – критичне ковзання.

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_{II}}{\lambda_M} \cdot \left(\frac{1}{s_k} + s_k \right) - 2}{1 - s_k^2}, \quad (8.22)$$

де λ_{II} – кратність пускового моменту;

λ_M – кратність критичного моменту.

Критичний момент визначається за такою формулою:

$$M_k = 2.4 \cdot M_{\text{НОМ}}, \quad (8.23)$$

$$M_k = 2.4 \cdot 30.158 = 72.379 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Критичне ковзання визначається:

$$s_k = s_{\text{НОМ}} \cdot \left(\frac{M_k}{M_{\text{НОМ}}} + \sqrt{\left(\frac{M_k}{M_{\text{НОМ}}} \right)^2 - 1} \right), \quad (8.24)$$

де $s_{\text{НОМ}}$ – номінальне ковзання, яке визначається за формулою:

$$s_{\text{НОМ}} = \frac{n_0 - n_{\text{НОМ}}}{n_0}, \quad (8.25)$$

$$s_{\text{НОМ}} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0.05.$$

$$s_k = 0.05 \cdot \left(2.4 + \sqrt{2.4^2 - 1} \right) = 0.229.$$

$$K_s = \frac{\frac{2.1}{2.4} \cdot \left(\frac{1}{0.229} + 0.229 \right) - 2}{1 - 0.229^2} = 2.133.$$

Тоді розрахункова формула для побудови механічної характеристики буде мати слідуєчий вигляд:

$$M = 72.379 \cdot \frac{2 + (s^2 - 0.229^2) \cdot 2.133}{\frac{s}{0.229} + \frac{0.229}{s}} \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Кутова швидкість обертання ротора в залежності від ковзання:

$$\omega_{p1} = \omega_1 \cdot (1 - s), \quad (8.26)$$

де ω_1 – кутова швидкість при роботі на номінальній швидкості обертання.

$$\omega_{p2} = \omega_2 \cdot (1 - s), \quad (8.27)$$

де ω_2 – кутова швидкість при роботі на понижений швидкості обертання.

Кутова швидкість при роботі на номінальній швидкості визначається:

$$\omega_1 = \frac{V_1}{D_{ш}} \cdot i_p, \quad (8.28)$$

$$\omega_1 = \frac{2}{0.52} \cdot 25 = 96.154 \text{ (рад/с)}.$$

Кутова швидкість при роботі на понижений швидкості визначається:

$$\omega_2 = \frac{V_2}{D_{ш}} \cdot i_p, \quad (8.29)$$

$$\omega_2 = \frac{0.71}{0.52} \cdot 25 = 34.135 \text{ (рад/с)}.$$

Побудуємо графіки механічних характеристик при номінальній швидкості обертання і при пониженій за допомогою ППП MathCAD.

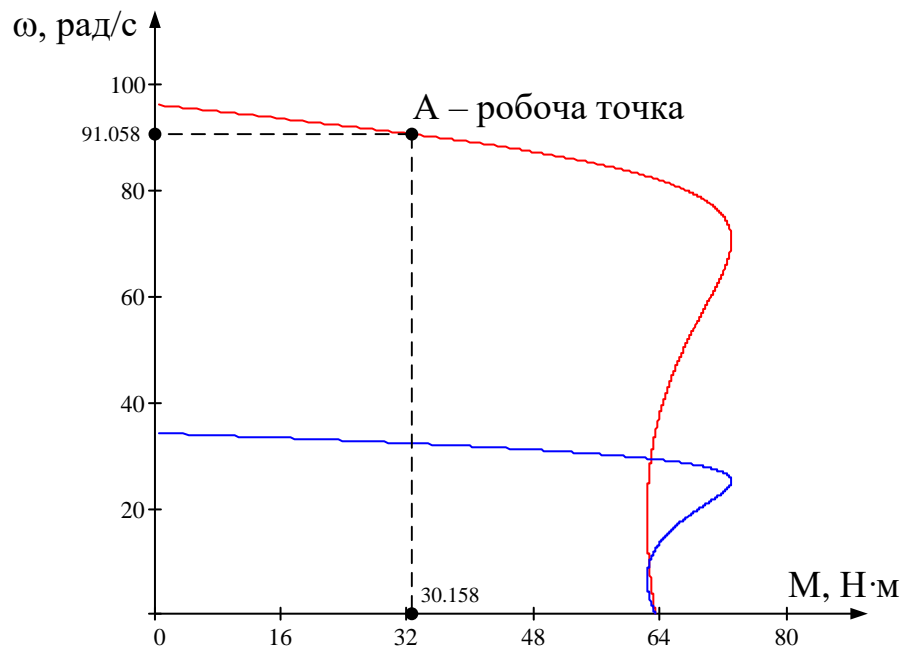


Рисунок 8.2 – Механічні характеристики АД (природня та при понижених обертах)

Висновок: в даному розділі були розраховані статичні характеристики електродвигуна: механічні характеристики при двох швидкостях роботи електродвигуна: номінальній та пониженій.

9 РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ. ОЦІНКА СТІЙКОСТІ

Розглянемо модель АД припустивши, що робота відбувається на лінійній ділянці.

Рівняння механічної характеристики на лінійній ділянці матиме вигляд:

$$M = \frac{M_k}{s_k} \cdot s, \quad (9.1)$$

де M_k – критичний момент;

s_k – критичне ковзання;

s – номінальне ковзання.

Звідки:

$$M = \frac{M_k}{s_k} \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (9.2)$$

$$M = \beta \cdot (\omega_0 - \omega), \quad (9.3)$$

де β – передаточний коефіцієнт.

Передаточний коефіцієнт визначається наступним чином:

$$\beta = \frac{M_k}{s_k \cdot \omega_0}, \quad (9.4)$$

$$\beta = \frac{72.374}{0.229 \cdot 104.7} = 3.017.$$

Диференціальне рівняння для моменту АД матиме вигляд:

$$T_e \cdot \frac{dM}{dt} + M = \beta \cdot (\omega_0 - \omega), \quad (9.5)$$

де T_e – електромагнітна стала АД.

Електромагнітну сталу часу визначимо із формули:

$$T_e = \frac{L_r}{R_2}, \quad (9.6)$$

$$T_e = \frac{0.465}{4.039} = 0.115 \text{ (с)}.$$

Представимо спрощену структурну схему асинхронного двигуна та побудуємо його частотні характеристики [15]:

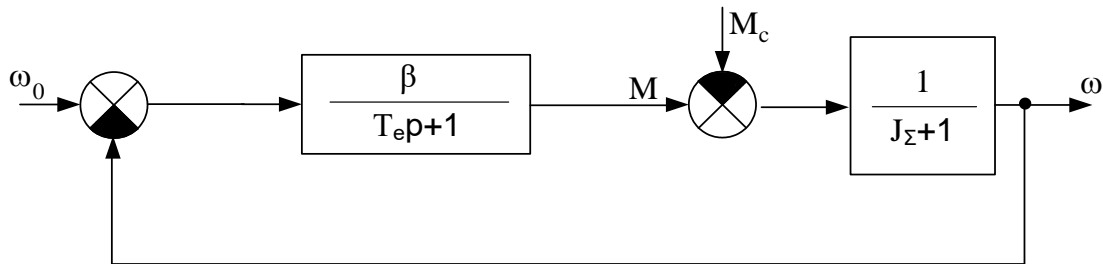


Рисунок 9.1 – Спрощена математична модель асинхронного двигуна

Передаточна функція розімкненої системи:

$$W_{\text{роз}}(p) = \frac{\beta}{(1 + T_e \cdot p) \cdot J_{\Sigma} \cdot p}. \quad (9.7)$$

Передаточна функція зворотного зв'язку:

$$W_{\text{зз}}(p) = 1. \quad (9.8)$$

Передаточна функція замкненої системи:

$$W_{\text{зам}}(p) = \frac{W_{\text{роз}}(p)}{1 + W_{\text{роз}}(p) \cdot W_{\text{зз}}(p)}, \quad (9.9)$$

Підставивши значення формул (9.7) та (9.8), отримаємо:

$$W_{\text{зам}}(p) = \frac{\beta}{(1 + T_e \cdot p) \cdot J_{\Sigma} \cdot p + \beta}. \quad (9.10)$$

Підставимо числові значення:

$$W_{\text{зам}}(p) = \frac{3.02}{0.291 \cdot p^2 + 2.53 \cdot p + 3.02}. \quad (9.11)$$

Для отримання передаточної функції $W(p)$ замінимо p на $j\omega$, отримаємо:

$$W_{\text{зам}}(p) = -\frac{878820 \cdot \omega^2 + 7.64 \cdot 10^6 \cdot j \cdot \omega - 9.12 \cdot 10^6}{84681 \cdot \omega^4 + 4.64 \cdot 10^6 \cdot \omega^2 + 9.12 \cdot 10^6}. \quad (9.12)$$

Виділимо дійсну $P(\omega)$ і уявну $Q(\omega)$ частини передаточної функції $W_{\text{зам}}(p)$, для цього помножемо чисельник та знаменник на спряжений вираз, в результаті нескладних математичних операцій отримаємо:

$$P(\omega) = -\frac{21970 \cdot \omega^2 - 228000}{2117 \cdot \omega^4 + 116000 \cdot \omega^2 + 228000}; \quad (9.13)$$

$$Q(\omega) = -\frac{191000 \cdot \omega}{2117 \cdot \omega^4 + 116000 \cdot \omega^2 + 228000}. \quad (9.14)$$

Відповідно до формули (9.13) графік ДЧХ матиме вигляд:

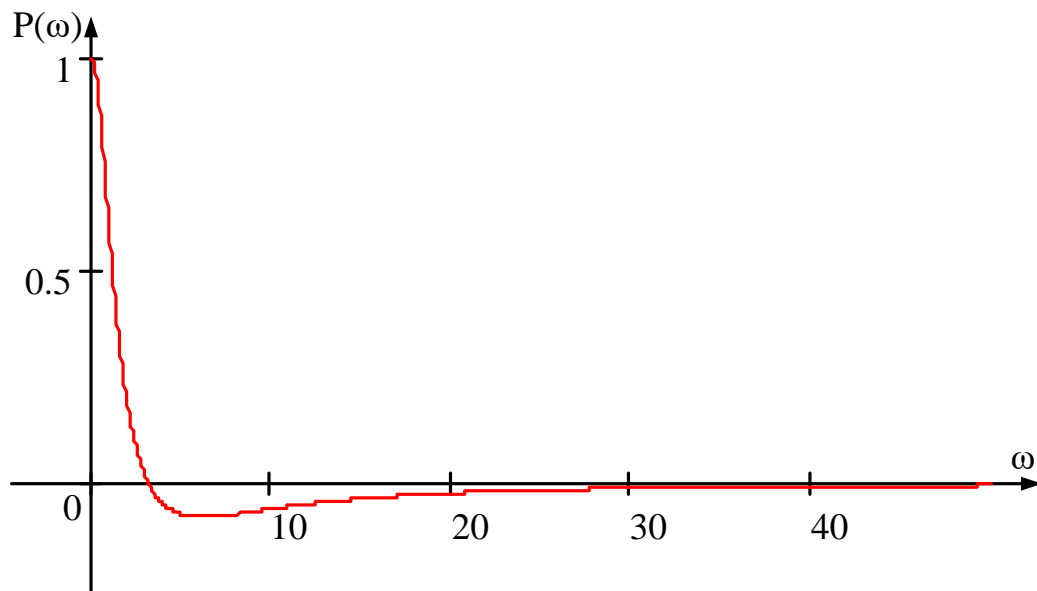


Рисунок 9.2 – Графік ДЧХ системи

Відповідно до формули (9.14) графік УЧХ матиме вигляд:

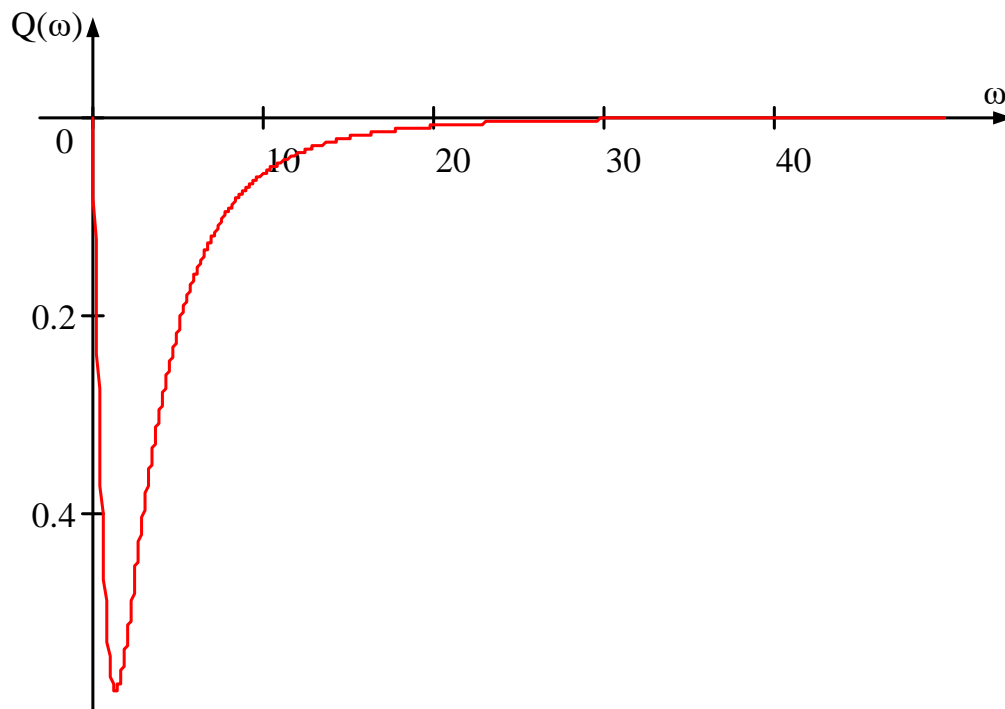


Рисунок 9.3 – Графік УЧХ системи

Знайдемо амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) [20]:

$$A(\omega) = \sqrt{P(\omega)^2 + Q(\omega)^2}, \quad (9.15)$$

$$A(\omega) = \sqrt{\frac{4.83 \cdot 10^8 \cdot \omega^4 + 2.65 \cdot 10^{10} \cdot \omega^2 + 5.2 \cdot 10^{10}}{4.48 \cdot 10^6 \cdot \omega^8 + 4.91 \cdot 10^8 \cdot \omega^6 + 1.44 \cdot 10^{10} \cdot \omega^4 + 5.29 \cdot 10^{10} \cdot \omega^2 + 5.2 \cdot 10^{10}}}$$

Відповідно до формули (9.15) графік АЧХ матиме вигляд:

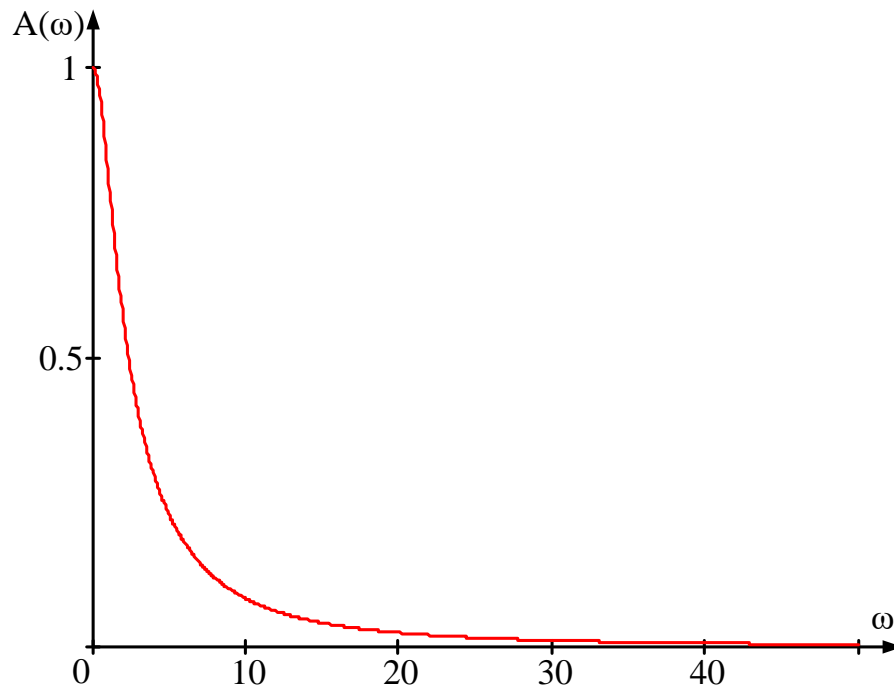


Рисунок 9.4 – Графік АЧХ системи

Знайдемо фазо-частотну характеристику (ФЧХ) [15]:

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \cdot \frac{Q(\omega)}{P(\omega)}, \quad (9.16)$$

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \cdot \left(\frac{19100 \cdot \omega}{2197 \cdot \omega^2 - 22800} \right).$$

Відповідно до формули (9.16) графік ФЧХ матиме вигляд:

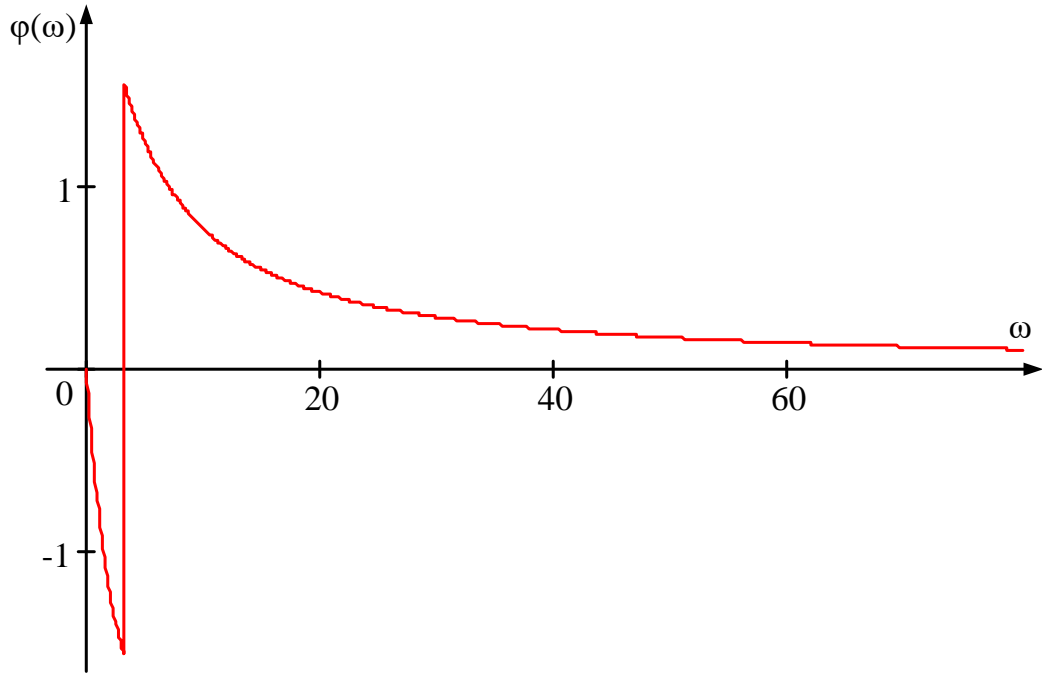


Рисунок 9.5 – Графік ФЧХ системи

Графік логарифмічної фазо-частотної характеристики (ЛФЧХ) матиме вигляд:

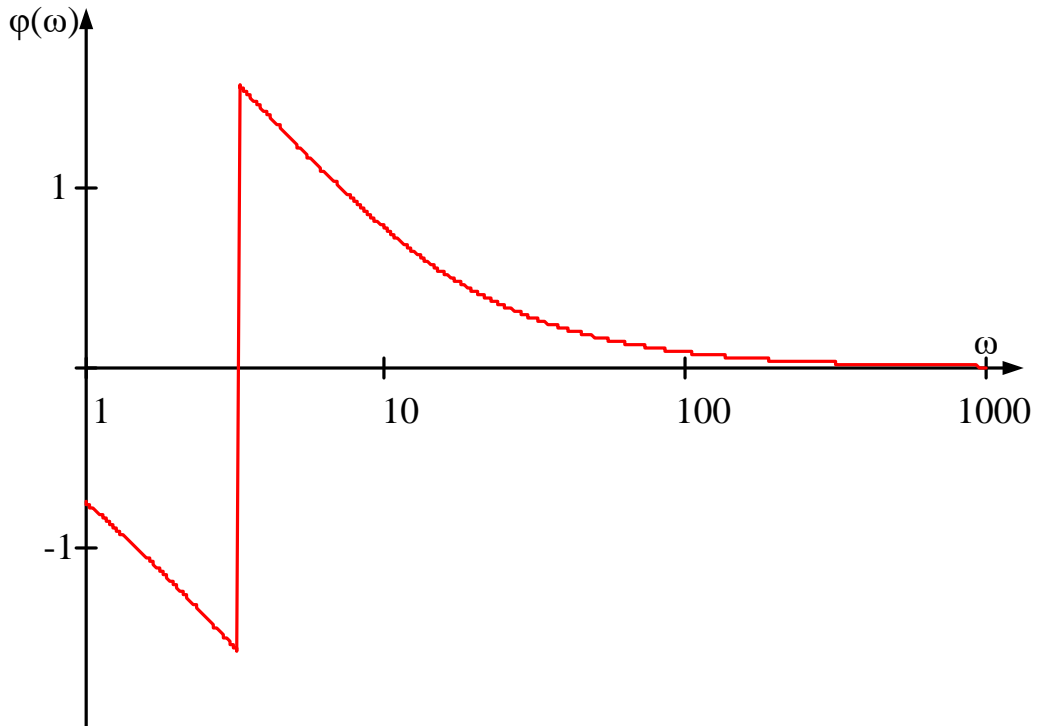


Рисунок 9.6 – Графік ЛФЧХ системи

Знайдемо логарифмічну амплітудно-частотну характеристику (ЛАЧХ):

$$L(\omega) = 20 \cdot \log \cdot (A(\omega)), \quad (9.17)$$

$$L(\omega) = 4.34 \cdot \ln \cdot \left(\frac{6035 \cdot \omega^4 + 331200 \cdot \omega^2 + 650000}{56 \cdot \omega^8 + 6135 \cdot \omega^6 + 180000 \cdot \omega^4 + 661000 \cdot \omega^2 + 650000} \right).$$

Відповідно до формули (9.17) графік ЛАЧХ матиме вигляд:

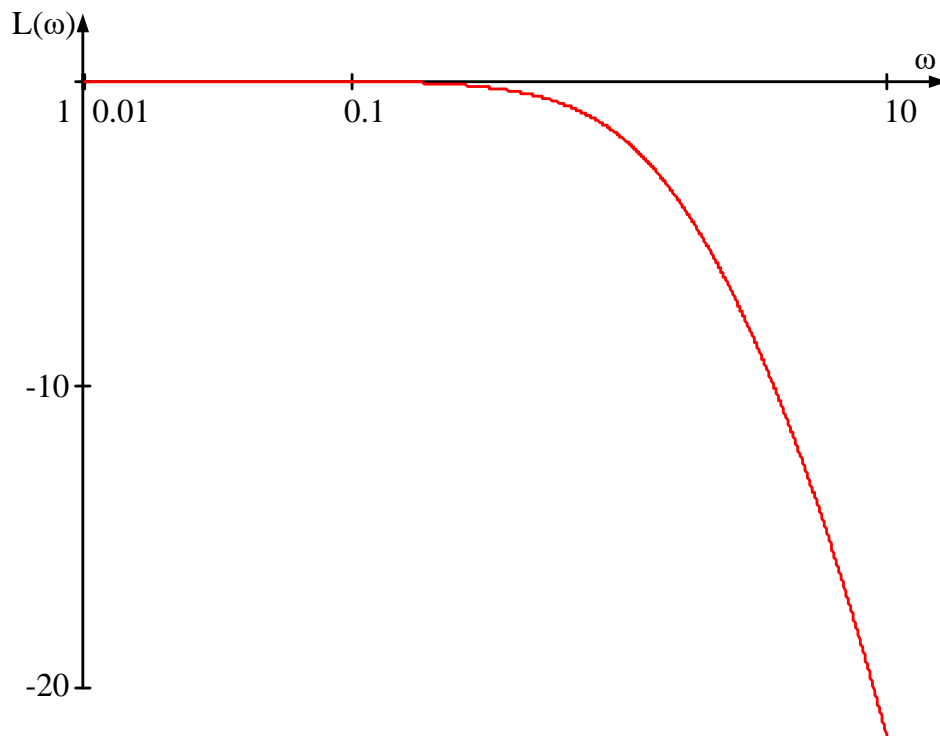


Рисунок 9.7– Графік ЛАЧХ системи

За допомогою вище отриманих результатів, а саме дійсної та уявної складової системи, побудуємо графік амплітудної фазо-частотної характеристики (АФЧХ):

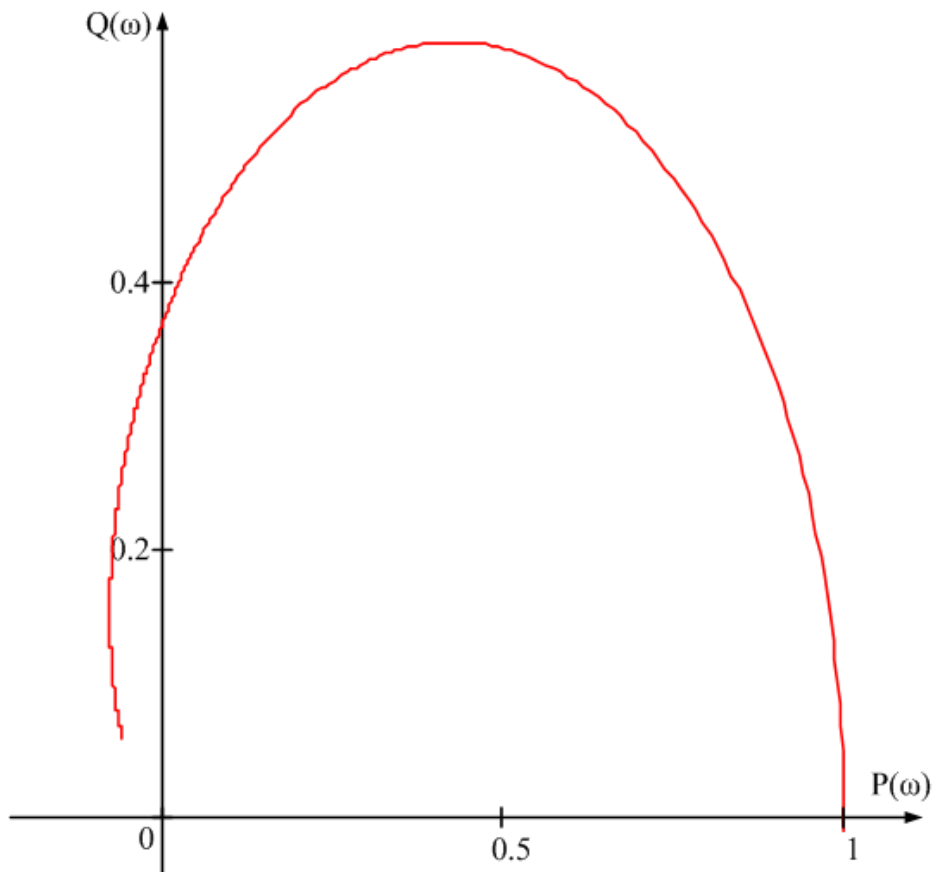


Рисунок 9.8 – Графік АФЧХ системи

Побудуємо перехідну характеристику системи [15]:

$$h(t) = \frac{W_{\text{зам}}(p)}{p}, \quad (9.18)$$

$$h(t) = -2.09 \cdot 10^7 \cdot e^{-1.43 \cdot t} + 4.1 \cdot 10^6 \cdot e^{-7.27 \cdot t} + 1.68 \cdot 10^7.$$

Відповідно до формули (9.17) графік перехідної характеристики матиме вигляд:

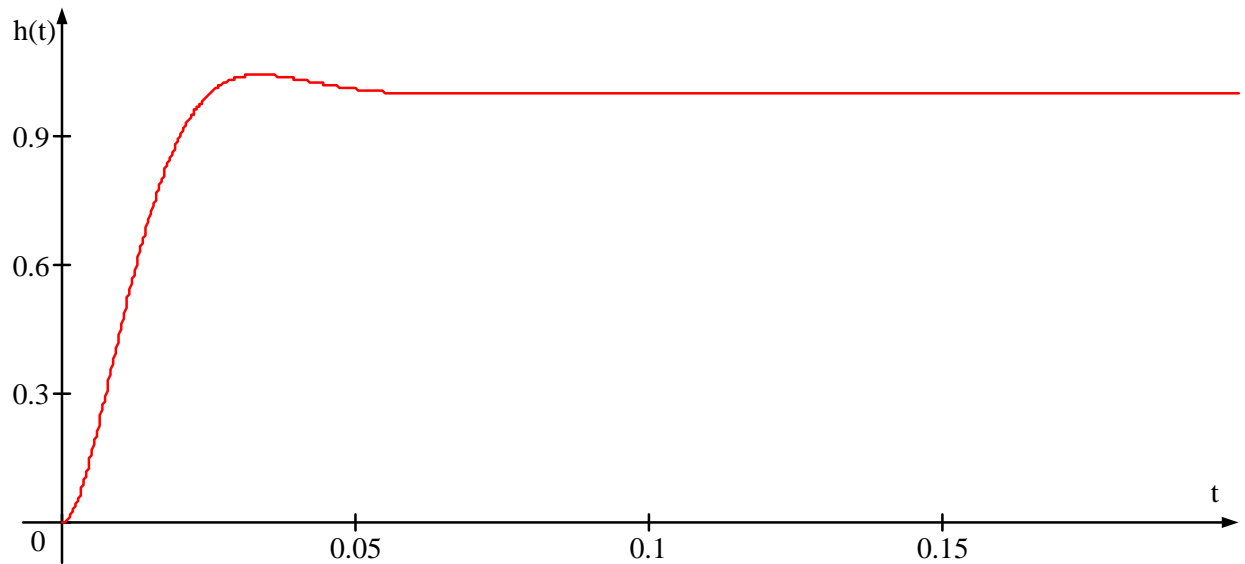


Рисунок 9.9 – Графік перехідної характеристики системи

Висновок: в даному розділі було побудовано динамічні характеристики, окрім того було оцінено стійкість системи, і як видно із вище зазначених графіків – система стійка.

10 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

10.1 Розрахунок капітальних вкладень

Метою даної магістерської роботи є розробка системи керування електропривода багатоповерхового пасажирського ліфта.

Розрахуємо капітальні витрати на електроустаткування базового та нового варіантів. В якості базового використовується система РКС-АД з ФР. В якості нового варіанту ПЧ-АД.

В таблиці 10.1 приведено розрахунок капітальних вкладень на модернізацію системи керування електроприводом ліфта.

Таблиця 10.1 – Капітальні витрати на електроустаткування базового та нового варіантів

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.	
	Базовий варіант	Новий варіант
Система керування ліфтом	4672	8506
Двигун	8495	4253
Кабелі, апарати захисту, сенсори та ін.	6000	9000
Всього:	19167	21759
Витрати на транспортування (10 %)	1916.7	2175.9
Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)	1916.7	2175.9
Всього капітальних вкладень	23000.4	26110.8

Отже. $K_6 = 23000.4$ грн, а $K_H = 26110.8$ грн.

10.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення адекватного функціонування того чи іншого технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік.

Експлуатаційні витрати E включають:

1. Амортизаційні відрахування E_a
2. Заробітна плата $E_{зп}$ обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату).
3. Витрати на силову електроенергію E_e .
4. Витрати на поточний ремонт $E_{пр}$.
5. Інші витрати $E_{ін}$.

Таким чином:

$$E = E_a + E_{зп} + E_e + E_{пр} + E_{ін}, \quad (10.1)$$

10.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування для нового та базового варіантів становлять (норма амортизації 10 % в рік):

$$E_{аб} = 23000.4 \cdot 10 / 100 = 2300.04(\text{грн}),$$

$$E_{ан} = 26110.8 \cdot 10 / 100 = 2611.08(\text{грн}).$$

10.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд четвертий і вище, група допуску по електробезпеці третя і вище.

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за наступною формулою:

$$E_3 = E_{30} + E_{3д}, \quad (10.2)$$

де E_{30} – основна заробітна плата по тарифу;

$E_{3д}$ – додаткова заробітна плата.

$$E_{30} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_c \cdot \beta. \quad (10.3)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують установку ($N = 1$ чол.);

T_1 – годинна тарифна ставка робітника 1-го розряду, грн/год;

K – тарифний коефіцієнт ($K_6 = 1.8$, $K_H = 2.03$);

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу на обслуговування ліфта (приймаємо рівним 365 год);

K_c – коефіцієнт співвідношень, встановлений генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_c = 1$);

β – частка часу, який працівник витрачає на обслуговування установки в загальному часі свого робочого дня ($\beta = 1$ для базового варіанту, $\beta = 0.85$ для нового варіанту).

T_1 приймаємо рівним 40 грн/год.

З (1.3) розрахуємо E_{30} для базового та нового варіантів.

$$E_{30б} = 1 \cdot 40 \cdot 1.8 \cdot 365 \cdot 1 \cdot 1 = 26280(\text{грн}),$$

$$E_{30н} = 1 \cdot 44 \cdot 2.03 \cdot 365 \cdot 1 \cdot 0.85 = 25192.3(\text{грн}).$$

Додаткова заробітна плата $E_{3д}$ становить 10% від основної заробітної плати. Для базового та нового варіантів значення додаткової зарплатні становитиме:

$$E_{3дб} = 26280 \cdot 10 / 100 = 2628(\text{грн}),$$

$$E_{3дн} = 25192.3 \cdot 10 / 100 = 2519.23(\text{грн}).$$

Таблиця 10.2 – Розрахунок заробітної плати

№ з/п	Показник	Базовий варіант	Новий варіант
1	Основна заробітна плата, $E_{зо}$, грн	26280	25192.3
2	Додаткова заробітна плата, $E_{зд}$, грн	2628	2519.23
3	Разом основна і додаткова заробітна плата, $(E_{зо} + E_{зд})$ грн	28908	27711.53

Отже, з (10.2) маємо:

$$E_{зб} = 26280 + 2628 = 28908(\text{грн}),$$

$$E_{зн} = 25192.3 + 2519.23 = 27711.53(\text{грн}).$$

10.2.3 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

$$E_e = \frac{P}{\eta} \cdot B \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_{\text{вм}} \cdot K_3, \quad (10.4)$$

де B – вартість електроенергії ($B = 3.44$ грн/кВт-год);

P – установлена потужність (3 кВт);

η – ККД установки;

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи в рік;

$K_{\text{вм}}$ – коефіцієнт ввімкнення (використання за часом);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю).

Коефіцієнт корисної дії обчислено як добуток ККД двигуна і перетворювача частоти. Для базового варіанту ККД = 0.82, для нового варіанту ККД = 0.90. Коефіцієнт ввімкнення приймаємо рівним 0.8 в обох

варіантах, а коефіцієнт завантаження для базового варіанту рівний 0.72, а для нового – 0.78.

Ефективний фонд робочого часу для двох варіантів становить:

$$\Phi_{\text{эф}} = 365 \cdot 8 \cdot 95 / 100 = 2774(\text{год}).$$

Отже, підставивши відомі значення в (10.4) отримаємо:

$$E_{\text{еб}} = \frac{3}{0.82} \cdot 6.07 \cdot 2774 \cdot 0.8 \cdot 0.72 = 35483.38 \text{ (грн в рік)},$$

$$E_{\text{ен}} = \frac{3}{0.90} \cdot 6.07 \cdot 2774 \cdot 0.8 \cdot 0.78 = 35023.41 \text{ (грн в рік)}.$$

10.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт ліфтової установки здійснюється на місці встановлення з його відключенням від мережі силами ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт складаються з витрат на комплектуючі, з витрат на запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні, а також з витрат на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів, у якому показано тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту.

Графік планово-попереджувальних ремонтів для базового та нового варіантів наведено в таблицях 10.3 та 10.4.

Таблиця 10.3 – Графік ремонтів для базового варіанту

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудовістіксть, люд-год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування ліфтом	П			П			П			П		П	40
Двигун		П			П			П			П		52
Кабельна мережа	П					П						П	32
Апарати захисту		П				П				П			27
Сенсори		П				П				П			7
Загальна трудовістіксть												158	

Таблиця 10.4 – Графік ремонтів для нового варіанту

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудовістіксть, люд-год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування ліфтом			П				П				П		30
Двигун		П				П					П		46
Кабельна мережа				П				П				П	32
Апарати захисту		П				П				П			27
Сенсори		П				П				П			7
Загальна трудовістіксть												142	

Ремонтні роботи проводить електрик шостого розряду. З врахуванням того, що відома трудомісткість робіт, з (10.3), матимемо:

$$E_{zo} = T_1 \cdot K \cdot \Phi_{ef}, \quad (10.5)$$

$$E_{zo\delta} = 40 \cdot 2.7 \cdot 158 = 17064 \text{ (грн)},$$

$$E_{zoH} = 40 \cdot 2.7 \cdot 142 = 15336 \text{ (грн)}.$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% від затрат на основну заробітну плату. Отже, витрати на матеріали для ремонтів становлять:

- для базового варіанту:

$$17064 \cdot 15/100 = 2559.6 \text{ (грн)}.$$

- для нового варіанту:

$$15336 \cdot 15/100 = 2300.4 \text{ (грн)}.$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять:

$$E_{пр\delta} = 17064 + 2559.6 = 19623.6 \text{ (грн)},$$

$$E_{прH} = 15336 + 2300.4 = 17636.4 \text{ (грн)}.$$

10.2.5 Інші витрати

Розмір інших затрат приймаємо рівним 5% від загальної суми попередніх витрат. Отже маємо:

$$E_{ін\delta} = (2300.04 + 28908 + 35483.38 + 19623.6) \cdot 5 / 100 = 4315.75 \text{ (грн)},$$

$$E_{інH} = (2611.08 + 27711.53 + 35023.41 + 17636.4) \cdot 5 / 100 = 4149.12 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат за (10.1) наведемо у вигляді таблиці 1.5.

Таблиця 10.5 – Експлуатаційні витрати

Найменування витрат	Базовий варіант	Новий варіант
Амортизаційні відрахування, E_a , грн	2300.04	2611.08
Заробітна плата обслуговуючого персоналу, $E_{зп}$, грн	28908	27711.53
Витрати на електроенергію, E_e , грн	35483.38	35023.41
Витрати на поточний ремонт, $E_{пр}$, грн	19623.6	17636.4
Інші витрати, $E_{ін}$, грн	4315.75	4149.12
Всього експлуатаційні витрати E , грн	90630.78	87131.55

Оскільки ми розраховуємо ефективність нової системи після модернізації, то необхідно порівняти експлуатаційні витрати використовуючи відносні показники.

Для порівняння експлуатаційних витрат розрахуємо показник відносної економії витрат:

$$L_e = \frac{E_б - E_н}{E_б} \cdot 100\%, \quad (10.6)$$

$$L_e = \frac{90630.78 - 87131.55}{90630.78} \cdot 100\% = 3.86\%.$$

За результатами приведених розрахунків можна зробити висновок, що впровадження нової системи керування електроприводом ліфта є економічно виправданим. При цьому досягається економія річних експлуатаційних витрат на рівні 3.86 %.

10.3 Визначення економічної ефективності проекту

За критерій економічної ефективності нового технічного рішення приймаємо термін окупності капітальних вкладень T_o та коефіцієнт економічної ефективності $E_{\text{еф}}$.

Визначимо термін окупності капітальних вкладень:

$$T_o = \frac{K_n - K_6}{E_6 - E_n}, \quad (10.7)$$

$$T_o = \frac{26110.8 - 23000.4}{90630.78 - 87131.55} = 0.889(\text{роки}).$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E_{\text{еф}} = 1 / T_o, \quad (10.8)$$

$$E_{\text{еф}} = 1 / 0.889 = 1.13.$$

Тепер визначимо річний економічний ефект в грн:

$$EE = E_{\text{нд}} \cdot (K_6 - K_n) + (E_6 - E_n) \quad (10.9)$$

де $E_{\text{нд}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (норма дисконту), ($E_{\text{нд}} = 0.2$).

$$EE = 0.2 \cdot (23000.4 - 26110.8) + (90630.78 - 87131.55) = 2877.15(\text{грн}).$$

11 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У даній магістерській роботі розглядається модернізація системи керування багатоповерховим ліфтом.

Охорона праці – це система правових, економічних, організаційно-технічних, санітарно гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини під час трудової діяльності.

Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні росту ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань. Економічне значення охорони праці визначається ефективністю заходів з покращення умов і підвищення безпеки праці та є економічним виразом соціальної значущості охорони праці.

На електротехнічний оперативно-ремонтний персонал, який обслуговує обладнання для виготовлення та наладки системи керування багатоповерховим ліфтом впливають наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, у відповідності з їх класифікацією [ГОСТ 12.0.003-74].

1) фізичні:

- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- нестача природного світла;
- недостатня освітленість робочої зони;

– пряма і відбита блискучість.

2) психофізіологічні:

– фізичні перевантаження (динамічні);

– нервово-психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, монотонність праці).

11.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

11.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць у приміщенні для ТО

Приміщення для виготовлення та наладки системи керування багатоповерховим ліфтом наведено на рисунку 11.1.

де: 1 – станки (верстак);

2 – комп'ютери для наладки;

3 – шафа для обладнання;

4 – шафи для персоналу

Загальна площа складає 100 м², в двох виробничих приміщеннях розташовано 5 робочих місця, отже, площа на одного працівника складає 20 м², що відповідає нормованому значенню не менше 6 м².

Вимоги безпеки під час виконання робіт:

1. Під час виконання службових обов'язків працівник повинен мати при собі посвідчення про перевірку знань з питань охорони праці. У разі відсутності посвідчення або наявності посвідчення з простроченими термінами перевірки, працівник до роботи не допускається.

2. Роботи в електроустановках щодо заходів безпеки діляться на 3 категорії:

- зі зняттям напруги;

- без зняття напруги на струмоведучих частинах або поблизу них;

- без зняття напруги далеко від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою.

3. Працівники, зайняті виконанням спеціальних видів робіт, до яких висуваються додаткові вимоги безпеки, повинні бути навчені безпечному виконанню таких робіт і мати відповідний запис у посвідченні про перевірку знань.

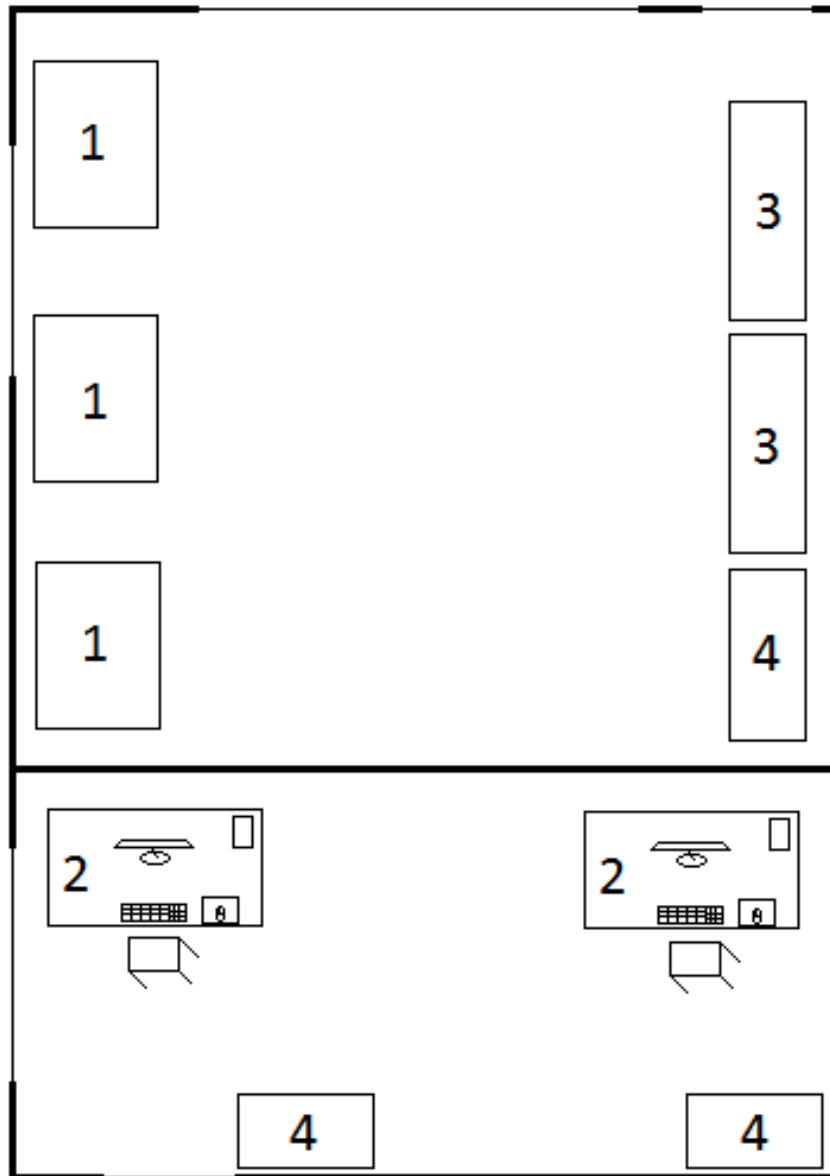


Рисунок 11.1 – Зображення приміщення і робочих місць

4. Працівник, який обслуговує закріплені за ним електроустановки напругою до 1000 в одноосібно, повинен мати III групу з електробезпеки.

5. Під час виконання робіт в електроустановках необхідно виконувати організаційні заходи, які забезпечують безпеку робіт:

- оформлення робіт нарядом-допуском, розпорядженням згідно переліку робіт, які виконуються в порядку поточної експлуатації;

- підготовку робочих місць;
- допуск до роботи;
- нагляд під час виконання робіт;
- переклад на інше робоче місце;
- оформлення перерв у роботі та її закінчення.

6. Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги, слід застосувати, в зазначеному порядку, наступні технічні заходи:

- провести необхідні відключення і вжити заходів, які виключають помилкове або мимовільне включення комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;
- перевірити відсутність напруги на струмоведучих частинах, які слід заземлити для захисту людей від ураження електричним струмом;
- встановити заземлення (включити заземлювальні ножі, застосувати переносні заземлення);
- обгородити, при необхідності, робочі місця або струмоведучі частини, які залишилися під напругою, і вивісити на огорожах плакати безпеки.

Залежно від місцевих умов, струмоведучі частини обгородити до або після їх заземлення.

7. Роботи без зняття напруги на струмоведучих частинах або поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, один з них керівник робіт повинен мати групу IV; інші групи III з обов'язковим оформленням роботи нарядом-допуском або розпорядженням.

8. Під час зняття і встановлення запобіжників під напругою в електроустановках напругою до 1000 В необхідно попередньо вимкнути всі навантаження, які живляться через зазначені запобіжники; користуватися при цьому ізолюючими кліщами або діелектричними рукавичками, а при наявності відкритих плавких вставок також і захисними окулярами.

9. Роботу із застосуванням драбин слід виконувати удвох, один з працівників повинен знаходитися знизу. Стояти на ящиках або інших предметах забороняється. У разі установки приставних драбин на балках, елементах металевих конструкцій і т.п. необхідно надійно закріпити верхівку і низ драбини на конструкціях.

В процесі обслуговування і ремонту електроустановок застосування металевих драбин забороняється.

11.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення приміщення для обстеження, технічного обслуговування та оперативного ремонту системи керування багатоповерховим ліфтом здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 - 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Всі обертові частини механізму повинні мати добре закріплену огорожу. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи установки.

Для надання першої медичної допомоги при нещасних випадках повинна бути аптечка з набором необхідних перев'язочних матеріалів та медикаментів.

11.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

11.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні встановлюють допустимі температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 11.1 - Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Іа.

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість	Швидкість руху
		Допустима			
		Верхня межа	Нижня межа		
		На робочих місцях			
		Не Постійних	Не постійних		
Холодний	Легка Іб	25	17	75	0.1
Теплий	Легка Іб	30	19	65	0.2-0.6

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°С за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної

температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

11.2.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

Таблиця 11.2- Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування Речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпеки
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу глибиною в 1/8" у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів по очищенню області. Необхідно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (зернистість), тим вище небезпека.

Тому необхідно здійснювати наступні заходи:

- очищувати металевий пил якнайчастіше.
- щодня протирати гарячі поверхні.

- принаймні, двічі в рік проводити генеральне прибирання всіх областей, включаючи кроквяні ноги, з використанням продувки або пилососа.

- при високих концентраціях обробляти області по частинам.

Низька вологість збільшує потенційну небезпеку, це повинне прийматися в увагу при продувках.

Планувати продувки або прибирання так щоб вони приходилось на час коли устаткування виключене, як, наприклад, у другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

11.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на природне та штучне освітлення.

Нормовані значення згідно ДБН В.2.5-28:2018 наведемо в таблиці 11.3

Таблиця 11.3 – Штучне та природне освітлення приміщень

Характеристика зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне освітлення		Природне	суміщене
						Освітленість, лк		КПО, єн, %	
						при системі комбінованого освітлення		при природньому або суміщеному освітленні	при боковому освітленні
1	2	3	4	5	6	7	8		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 Включно	IV	б	середній	темний	500	200	2.4	0.9
			в	середній	середній	400	200		

- природне освітлення - освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові проїми в зовнішніх огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (e). КПО - відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

Характеристика фону - незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкту з фоном;

Бокове КЕО, %:

-природне 0,5;

-суміщене 0,3.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна.

Штучне освітлення.

- штучне освітлення буває двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення - освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення - освітлення, яке створюється світильниками, концентруючими світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

11.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot \lg\left(\frac{P}{P_0}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{U}{U_0}\right), \quad (11.1)$$

де L - рівень шуму, дБ;

P - звуковий тиск, Па;

U_0 - коливальна швидкість, $5 \cdot 10^{-8}$ м/с;

P_0 - нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 11.4 – Допустимі рівні шуму

Вид трудової діяльності	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньо герметичними частотами, Гц								
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
На постійних Робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства.	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 6.6.

Таблиця 11.6 - Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot s^{-2}$	ДБ	$m \cdot s^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальні	Z_0, Y_0, X_0	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
 - зміна конструктивних елементів машин;
 - застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

11.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я від 11 серпня 2014 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Періодичне перебування в незручній та/або фіксованій позі до 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (навпочіпки, на колінах і т.

ін.) від 10% до 25% часу зміни; знаходження в позі стоячи від 60% до 80% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 1500

Нахили корпуса (вимушені, більше 30), кількість за зміну: 101 –300

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км

Інтелектуальні навантаження: Рішення складних завдань з вибором за відомим алгоритмом (робота за серією інструкцій)

Зміст роботи: Сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальним значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів, Обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання, Робота в умовах дефіциту часу

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) 51 -75

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи 176–300

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження 11-25

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) 3-4

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 70% до 50%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) 20-25

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки Несе відповідальність за функціональну якість основної роботи (завдань). Вимагає виправлень за рахунок додаткових зусиль всього колективу (групи, бригади та ін.)

Ступінь ризику для власного життя

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб

Монотонність навантажень:

Кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово 5-2

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) 24-2

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) 91-95

Режим праці

Фактична тривалість робочого дня (год.) 10– 12

Змінність роботи Тризмінна робота (робота у нічну зміну)

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість

Перерви нерегламентовані або недостатньої тривалості до 3% часу зміни

11.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи керування багатоповерховим ліфтом в умовах дії загрозливих чинників в надзвичайних ситуаціях

Забезпечення стійкої роботи системи керування багатоповерховим ліфтом в умовах надзвичайних ситуацій є одним із головних завдань в процесі проектування. Серед всіх чинників надзвичайних ситуацій, що можуть виникнути і вивести з ладу систему керування багатоповерховим ліфтом можна виділити най загрозливіші три: вплив електромагнітного імпульсу, іонізуючих випромінювань і температурний вплив при пожежі в наслідок короткого замкнення у автомобілі.

Гамма-випромінювання є найнебезпечнішим джерелом енергії, воно проникає у повітрі на відстань сотень метрів. Бета-випромінювання проникає в повітрі на відстань кількох метрів, а в живих тканинах кількох міліметрів. Альфа-частинки мають найкоротший радіус дії (кілька сантиметрів у повітрі,

0,1 мм у тканинах), а тому небезпечні лише у разі безпосереднього контакту з слизовими оболонками. Особливим видом іонізуючого випромінювання є нейтронне випромінювання (n), яке має місце при деяких діленнях урану або плутонію. Опромінення системи призводить до зміни струму та коефіцієнтів підсилення, також вплине на конденсатори в них понизиться напруга пробоя і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність а також тангенс кута витрат.

В результаті дії ЕМІ імпульс струму чи напруги проникає в систему і спричиняє пошкодження, ступінь яких залежить від чутливості складових системи вузлів. Серйозні пошкодження викликає ЕМІ в роботі цифрових і контрольно-вимірювальних приладів.

Дія електромагнітного імпульсу може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання автомобіля. Проведемо дослідження стійкості роботи системи керування багатоповерховим ліфтом.

11.3.1 Дослідження стійкості роботи системи керування багатоповерховим ліфтом в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій стійкості роботи системи, що розробляється, приймається допустима доза $D_{\text{доп}}(P)$ або граничне значення рівня радіації $P_{\text{гр}}(P/\text{Год})$, при яких система буде нормально працювати.

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{\text{гр}}$, для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни. Отриманні данні заносимо в таблицю 11.7.

Таблиця 11.7 – Граничні значення експозиційних доз системи керування багатоповерховим ліфтом

№	Блоки ЕП	Елементи системи ЕП	$D_{гр i}, (P)$	$D_{гр}, (P)$
1	Блок управління	Мікроконтролер	10^4	10^4
2	Блок живлення	Конденсатори К53-1, 1 мкФ×32В(10%)	10^7	
		Резистори С2-29-5%	10^7	
3	Блок підсилення	Транзистори IRG7PH46UPBF	10^4	
		Діоди Д222	10^4	

По мінімальному значенню допустимої дози, при якій в елементній базі виникають необоротні зміни, визначаємо границю безпеки роботи РЕА в цілому. Проаналізувавши дані таблиці 11.7, робимо висновок, що самим уразливим елементом системи керування багатоповерховим ліфтом з мінімальною дозою $D_{гр}=10^4 P$ є транзистори та діоди.

Визначаємо можливу дозу опромінення D_m за формулою :

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{\Pi}})}{k_{осл}}, \quad (11.2)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1=6,79 P/\text{год}$);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 26280 \text{ год}$);

t_{Π} – час початку опромінення ($t_{\Pi} = 1 \text{ год}$);

$k_{осл}$ – коефіцієнт послаблення радіації будинком ($k_{осл} = 1$).

$$D_m = \frac{2 \cdot 6,79 \cdot (\sqrt{26280} - \sqrt{1})}{1} = 2210,39(P).$$

Порівнюючи граничне значення дози опромінення з можливою, ми бачимо, що $D_{гр} > D_m$ ($10^4 > 2352$),

Отже можна зробити висновок, що дана система буде безпечно працювати в умовах дії іонізуючого випромінювання.

Визначимо допустимий час роботи системи в заданих умовах за формулою :

$$t_d = \left(\frac{D_{гр} \cdot k_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{t_{п}}}{2 \cdot P_1} \right)^2, \quad (11.3)$$

$$t_d = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 6,79 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,79} \right)^2 = 5,437 \cdot 10^5 \text{ (год)}.$$

Отже, система тривалий час буде безпечно працювати в умовах дії іонізуючого випромінювання.

11.3.2 Дослідження стійкості роботи системи керування багатоповерховим ліфтом в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи системи в цих умовах приймаємо коефіцієнт безпеки K_6 . Коефіцієнт безпеки визначимо за формулою 11.4.

$$K_6 = 20 \cdot \lg(U_d / U), [\text{дБ}], \quad (11.4)$$

де U_d – допустиме коливання напруги живлення;

U – напруга наведення в струмоведучій частині.

Початкові дані:

1) Вертикальна складова напруженості електромагнітного поля $E_v = 10,89$ (кВ/м).

2) Напруга живлення $U_{ж} = 380$ (В).

Оцінку стійкості роботи системи керування багатоповерховим ліфтом проведемо у наступній послідовності:

1. Знайдемо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_r = 10^{-3} \cdot E_v, \quad (11.5)$$

$$E_r = 10^{-3} \cdot 10,89 \cdot 10^3 = 10,89 \text{ (В/м)}.$$

2. Визначимо довжини струмопровідних частин. Вони матимуть

наступні значення: вертикальна – $l_B=1.5$ (м), а горизонтальна – $l_r=1$ (м).

3. Знайдемо напругу, що наводиться в горизонтальній та вертикальній струмопровідних частинах.

$$U_r = l_r \cdot E_B, \quad (11.6)$$

$$U_r = 1,5 \cdot 10,89 \cdot 10^3 = 16,34 \cdot 10^3 \text{ (В)}.$$

$$U_B = l_B \cdot E_r, \quad (11.7)$$

$$U_B = 1 \cdot 10,89 = 10,89 \text{ (В)}.$$

4. Знайдемо допустиме відхилення напруги живлення за наступною формулою:

$$U_d = U_{ж} + U_{ж} / 100 \cdot N, \quad (11.8)$$

де N – відсоток відхилення ($N=10\%$).

$$U_d = 380 + 380 / 100 \cdot 0,10 = 418 \text{ (В)}.$$

5. Знаходимо коефіцієнт безпеки для кожної складової.

$$K_{б.г} = 20 \cdot \lg(418 / 16,34 \cdot 10^3) = -31,839 \text{ (дБ)}.$$

$$K_{б.в} = 20 \cdot \lg(418 / 10,89) = 31,683 \text{ (дБ)}.$$

Оскільки $K_{б.г} < 40$ дБ, а $K_{б.в} < 40$ дБ, то обладнання не буде працювати коректно. Для підвищення стійкості роботи системи слід застосувати екранування.

11.4 Розробка превентивних засобів по підвищенню стійкості роботи системи керування багатоповерховим ліфтом в умовах надзвичайних ситуацій

Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо перехідне затухання екрану:

$$A = K_{Бном} - K_{Бмін}, \quad (11.9)$$

де $K_{Бном}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($K_{Бном} = 40$ дБ);

$K_{б.мін}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки, отриманий при

розрахунках ($K_{б.min} = -30,834$ дБ).

$$A = 40 + 30,834 = 70,834(\text{дБ}).$$

Визначаємо необхідну товщину захисного екрану:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (11.10)$$

де f – найбільша характерна частота ($f = 30$ кГц).

$$t = \frac{70,834}{5,2 \cdot \sqrt{30000}} = 0,79(\text{см}).$$

Висновки: в даному розділі було розглянуто питання та дослідження стійкості роботи системи керування багатоповерховим ліфтом в умовах дії загрозливих чинників в надзвичайних ситуаціях. У розділі з охорони праці було розглянуто безпечну експлуатацію об'єкта, електробезпеку, технічні рішення з гігієни праці та робочої санітарії, склад повітря робочої зони, освітлення, шум, вібрації та психофізіологічні фактори.

Отже, як ми бачимо із розрахунків, при дії іонізуючого випромінювання система керування багатоповерховим ліфтом буде зберігати стабільну і коректну роботу, тому ніяких заходів по підвищенню стабільності цієї роботи проводити не потрібно.

При застосуванні даного обладнання в зоні враження ЕМІ, система вийде з ладу або буде працювати некоректно, тому для підвищення стійкості в зоні враження доцільно використати екран. Як показали розрахунки для екранування слід використати екран з товщиною 0,79 см.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі розроблено систему керування електроприводом пасажирського ліфта. В системі електропривода ліфта раніше (іноді і зараз) використовувалася контакторно-релейна система керування, але із появою мікроконтролерів з'явилася можливість використовувати більш надійні, дешевші та точніші системи керування електроприводом.

Щодо типу електропривода використовуваного в ліфтових системах, то використовують різні типи приводів в залежності від потреб системи. Це можуть бути як двигуни змінного так і постійного струму.

Також було проведено техніко-економічний розрахунок різних систем електропривода. Найбільш економічно вигідною є система ТРН-АД, але дана система не може бути використана в запропонованому механізмі, оскільки передбачається запуск при номінальному навантаженні. А система ТРН-АД не може забезпечити відповідного режиму пуску. До того ж система ПЧ-АД, має важливу перевагу – точність регулювання. Тому система ПЧ-АД використана в якості системи керування АД.

Зважаючи на результат розрахунку за нагрівом та перевантажувальною здатністю, асинхронний двигун вибраний вірно, тобто за нагрівом та перевантаженням він задовольняє умовам роботи ліфта в надійних безаварійних режимах. Вибраний двигун придатний та доцільний до експлуатації в даній системі електроприводу пасажирського ліфта.

Також були розраховані статичні характеристики електродвигуна: механічні характеристики при двох швидкостях роботи електродвигуна, а саме при номінальній та пониженій.

В ході розробки системи керування було розраховано та вибрано перетворювальний пристрій – перетворювач частоти, який є найкращим

доцільним варіантом регулювання швидкості обертання ротора асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором.

В шостому розділі цієї роботи було розроблено систему керування електроприводом. Зворотні зв'язки за струмом і швидкістю (в якості сенсорів яких виступає шунт та тахогенератор відповідно) дають змогу отримувати інформацію про стан двигуна і регулювати напругу статора у відповідності до технологічних потреб.

Для перевірки працездатності розробленої системи керування досліджуємо перехідні процеси використовуючи ППП Matlab системи керування електроприводом ПЧ – АД. Як видно з графіків перехідних процесів вибраний електродвигун швидко виходить на номінальний режим роботи.

Перехідні процеси в асинхронному електроприводі в загальному випадку супроводжується значними по амплітуді піками перехідного електромагнітного моменту, що призводить до додаткових динамічних навантажень в механічній частині електроприводу і може викликати навіть поломку його елементів.

Дана система була досліджена на стійкість та якість. При дослідженні на стійкість було визначено, що система є стійкою, і при дослідженні якості системи було з'ясовано, що система є якісною.

Дослідження динамічних характеристик замкненої системи було здійснено шляхом комп'ютерного моделювання (ППП MATLAB R2008a (Simulink)).

Розраховані показники економічної ефективності роботи показують, що запропонований варіант модернізації системи керування електроприводом ліфта окупить капітальні витрати за термін – 2.802 року, при цьому дана розробка має досить високий коефіцієнт економічної ефективності. Це підтверджує правильність вибору напрямку модернізації та економічну доцільність впровадження запропонованого технічного рішення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волкова Д. П. Ліфти. – М.: Видавництво Асоціації Будівельних вузів, 1999 – 480 с.
2. Волотковський С. А., Ємець В. І., Козло В. К. Типовий електропривід промислових установок. – К.: Вища школа, 1983 – 312 с.
3. Черних І. В. Моделювання електротехнічних пристроїв в MATLAB, SimPowerSystems та Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2008 – 288 с.
4. Чілікін М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С. Теорія автоматизованого електропривода. – М.: Енергія, 1979 – 616 с.
5. Довідник по автоматизованому електроприводу Під ред. В. А. Єлісеєєва і А. В. Шинянского – М.: Єнергоатомиздат, 1983 – 616 с.
6. Михайлов Н. В. Довідник електродвигунів для підйомно-транспортних пристроїв. 1998, – 143 с.
7. Далека В. Х. Конспект лекцій з дисципліни «Безпека експлуатації ліфтів та спецтехніки» (для студентів 5 курсу денної форми навчання спеціальності 7.17020201, 8.17020201 – Охорона праці (за галузями)) / В. Х. Далека, В. М. Шавкун; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 68 с.
8. Григоров О.В. Ліфти : навч. посібник / О.В. Григоров, В.В. Стрижак, С.О. Губський, та ін. – Х.: НТУ«ХПІ», 2016. – 172 с.
9. Методичні вказівки для виконання курсової, самостійної та практичних робіт з дисципліни «Безпека експлуатації ліфтів та спецтехніки» (для студентів 5 курсу денної форми навчання спеціальності 7.17020201, 8.17020201 – Охорона праці (за галузями)) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: В. Х. Далека, В. М. Шавкун. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 61 с.
10. НПАОП 0.00-1.02-08 Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів.

11. НПАОП 0.00-5.02-95 Інструкція про порядок видачі дозволів на виготовлення, ремонт та реконструкцію підйомних споруд і здійснення нагляду за виконанням цих робіт.

12. НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

13. НПАОП 0.00-4.05-2003 Порядок видачі дозволів Державним комітетом з нагляду за охороною праці та його територіальними органами.

14. НПАОП 0.00-6.18-2004 Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки.

15. ДСТУ 3552-97 Ліфти пасажирські та вантажні. Терміни та визначення.

16. ДСТУ EN 81-1.2003 Норми безпеки до конструкції та експлуатації ліфтів. Частина 1. Ліфти електричні.

17. ДСТУ EN 81 -2.2003 Норми безпеки до конструкції та експлуатації ліфтів. Частина 2. Ліфти гідравлічні.

18. Григоров О.В. Ліфти : навч. посібник / О.В. Григоров, В.В. Стрижак, С.О. Губський, та ін. – Х.: НТУ«ХП», 2016. – 172 с.

19. НПАОП 0.00-1.02-99. Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів. Київ, 2008. – 102 с.

20. ДСТУ EN 12385-5:2010 Канати сталеві дротяні. Безпека. Частина 5. Канати подвійного звивання для ліфтів / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. [Чинний від 01.07.2012]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2011. – 11 с

21. Методичні вказівки до практичних занять, самостійних і контрольних роботи з дисципліни «Ліфти та підйомники» (для студентів спеціальності 6.05050308 денної та заочної форм навчання) / укл.: І.В, Крупко. – Краматорськ : ДДМА, 2013. – 76 с.

22. Б.І. Мокін, О.Б. Мокін Оптимізація електроприводів. Вінниця: "УНІ ВЕР- СУМ - Вінниця", 204 – 250 с.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КЕМСК

 к.т.н., доц. Микола МОШНОРИЗ

“ 07 ” 11 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛІФТОМ
БАГАТОПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ

08-24.МКР.003.00.000 ТЗ

Керівник роботи

 к.т.н., доц. Валентин ГРАБКО

“ 07 ” 11 20__ р.

Розробив студ. гр. ЕПА-22м

 Іван ВІКУЛОВ

“ 07 ” 11 20__ р.

Вінниця ВНТУ 2023

1 Призначення і галузь використання машин

Ліфт призначений для підйому і спуску людей чи вантажів в кабіні, яка рухається по жорстким прямолінійним направляючим. Ліфт є невід'ємною частиною інженерного обладнання житлових, адміністративних будівель і споруд.

2 Варіанти виконання

Машини використовуються в стаціонарному варіанті, живлення відбувається від мережі живлення електричного струму частотою 50 ± 2 Гц і напругою заданою в залежності типу машини поданої у технічному завданні.

3 Умови експлуатації

Електропривод ліфта може забезпечувати надійну роботу при тривалому режимі роботи. Експлуатація здійснюється в різних умовах, при різних об'ємах роботи.

4 Елементна база

Двигуни, апаратура управління і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

5 Показники технологічності

Електропривод підпорядкованого керування – двигун, апаратура управління і захисту, провідники, кабелі і т.п. виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення.

6 Конструктивні вимоги

Конструктивні вимоги зумовлені геометричними розмірами шахти пасажирського ліфта.

7 Термін служби пристрою

Вказаний в каталожних даних машини.

8 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації

При монтажі та встановленні машин слід максимально використовувати стандартні, уніфіковані деталі та дотримуватись правил безпеки.

9 Графічна та текстова документація

Уся графічна та текстова документація повинна відповідати всім діючим стандартам України.

10 Конструктивне виконання

Електропривод виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пиловологозахищеному виконанні.

11 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування проводять слюсарі-електромонтажники відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електроприводу.

12 Живлення електроприводу

Живлення електроприводу забезпечується змінною напругою 380В.

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ЛІФТОМ БАГАТОПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ**

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення точності керування ліфтом з можливістю контролю всіх вимірювальних параметрів.

Відповідно до вказаної мети необхідно розв'язати такі задачі:

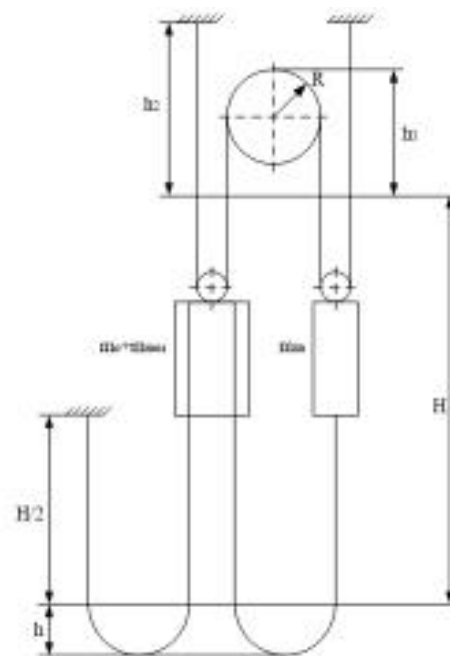
- провести огляд існуючих методів і засобів керування системою електропривода;
- розробити математичні моделі для визначення оптимального налаштування системи керування електропривода;
- розробити структурні схеми пристроїв для керування ліфтом;
- за розробленими математичними моделями реалізувати засіб в мікропроцесорному виконанні.

Об'єкт дослідження – процес контролю керування системою електропривода.

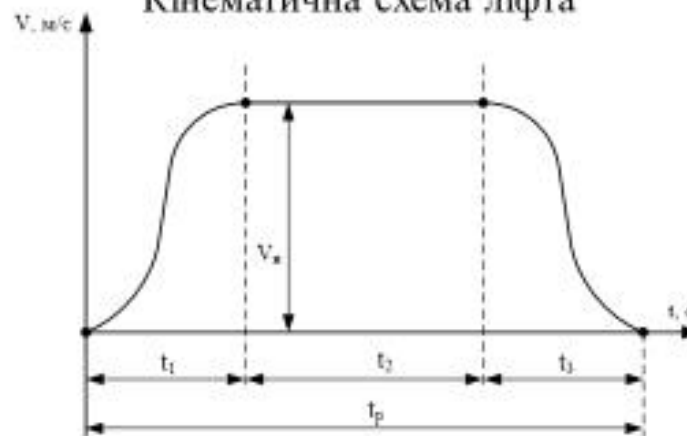
Предмет дослідження – якість процесу керування.



Зовнішній вигляд ліфта



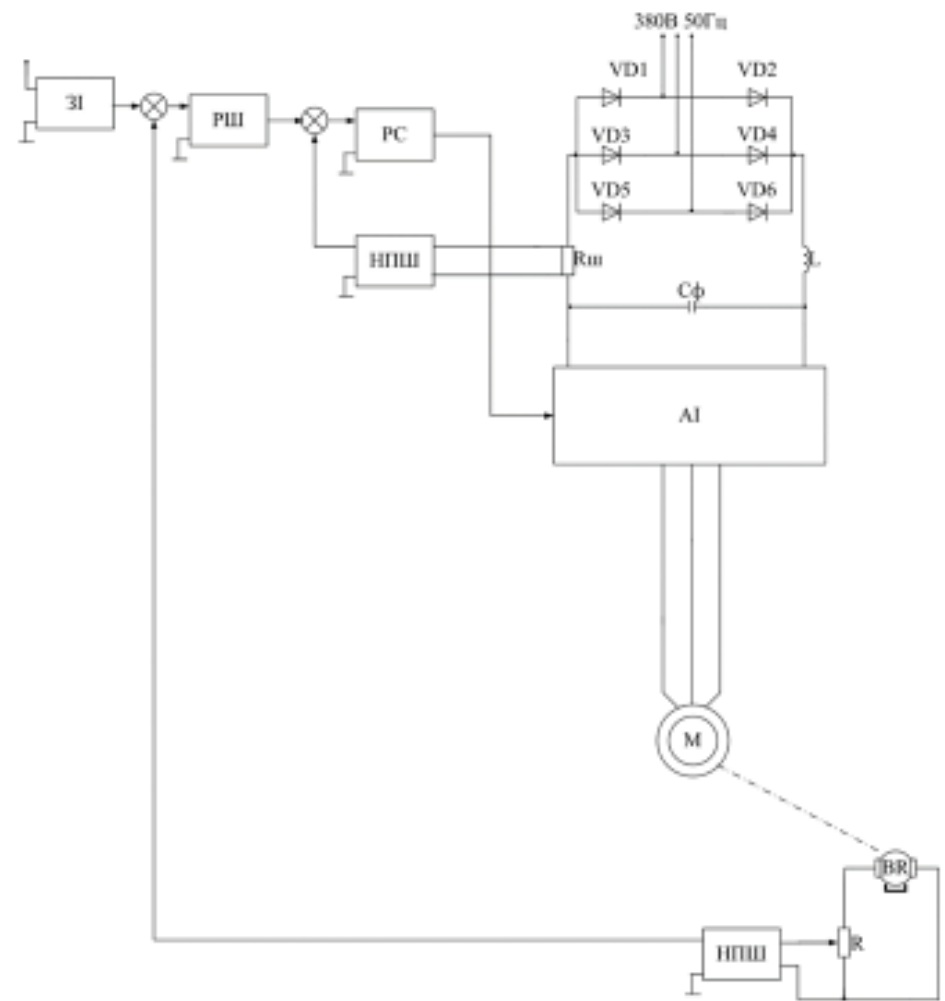
Кінематична схема ліфта



Тахограма робочого механізму

Показник	Система електричного привода				
	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ТП-Д	ТРН-АД	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн.	47243	8495	47243	4253	4253
Вартість системи керування СК, грн.	18897	4672	22676	7655	8506
Капітальні затрати К, грн.	66140	13167	69919	11908	12759
Річні капітальні затрати $K_{річн}$, грн./рік	11243,8	2238,39	11886,23	2024,36	2169,03
Амортизаційні відрахування C_A , грн./рік	6614	1316,7	6991,9	1190,8	1275,9
Відрахування на ремонт C_P , грн./рік	1322,8	263,34	1398,38	238,16	255,18
Додаткові відрахування C_D , грн./рік	26671,68	26671,68	26671,68	26671,68	26671,68
Відрахування на обслуговування C_O , грн./рік	1730,42	1412,59	1753,10	1405,03	1410,14
Загальні відрахування С, грн./рік	36338,90	29664,31	36815,06	29505,67	29612,90
Приведені затрати З, грн./рік	47582,70	31902,70	48701,29	31530,03	31781,93

ЭЭ 30000100.0000.00

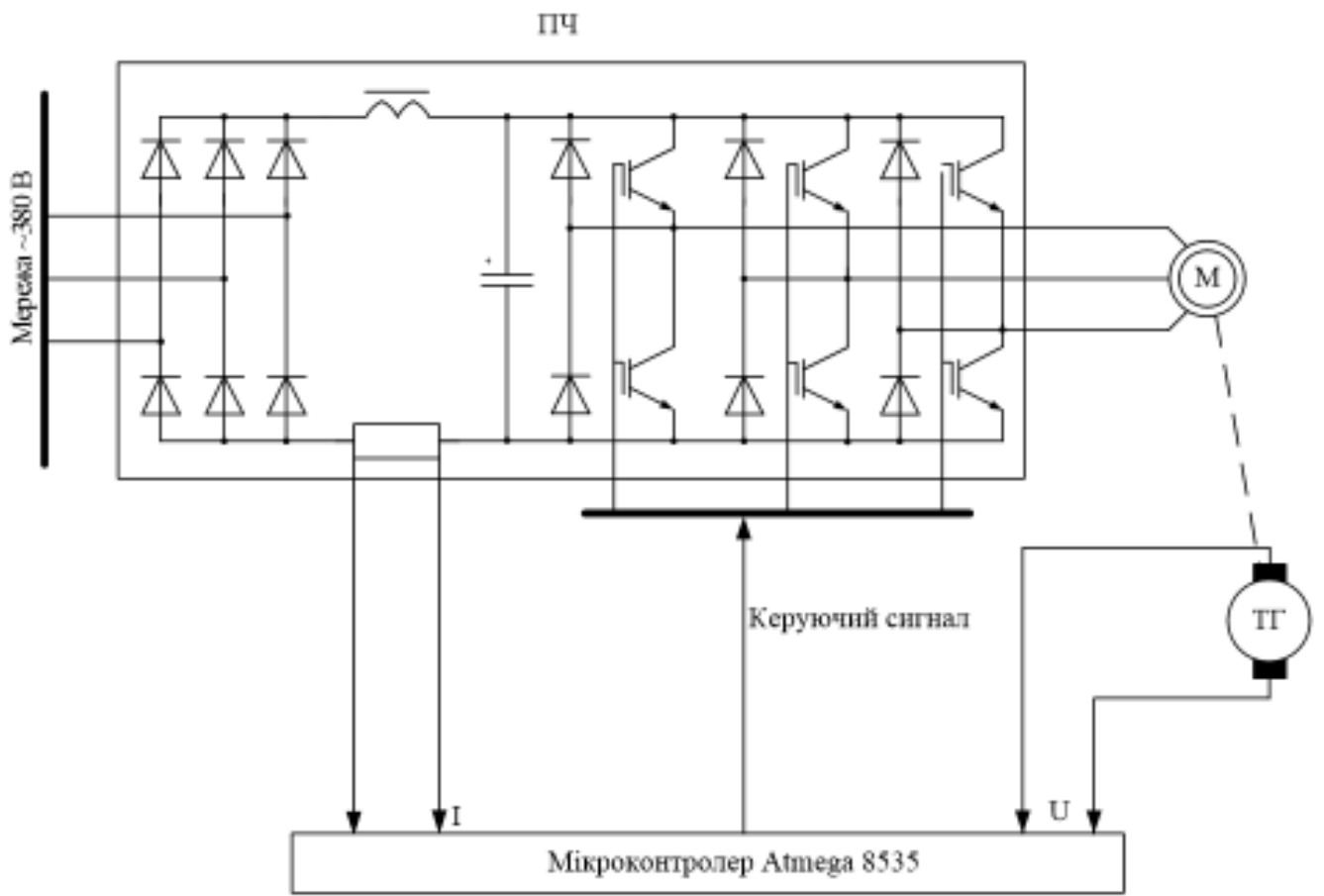


ЭЭ 30000100.0000.00

ЭЭ 30000100.0000.00				ЭЭ 30000100.0000.00	
№ п/п	Исполнитель	Дата	Содержание	№ п/п	Исполнитель
1	Иванов И.И.	10.10.2023	Специальная схема электропривода	1	Иванов И.И.
2	Петров П.П.	15.10.2023	Блок-схема привода	2	Петров П.П.
3	Сидоров С.С.	20.10.2023		3	Сидоров С.С.
4	Кузнецов К.К.	25.10.2023		4	Кузнецов К.К.
5	Лебедев Л.Л.	30.10.2023		5	Лебедев Л.Л.
6	Новиков Н.Н.	05.11.2023		6	Новиков Н.Н.

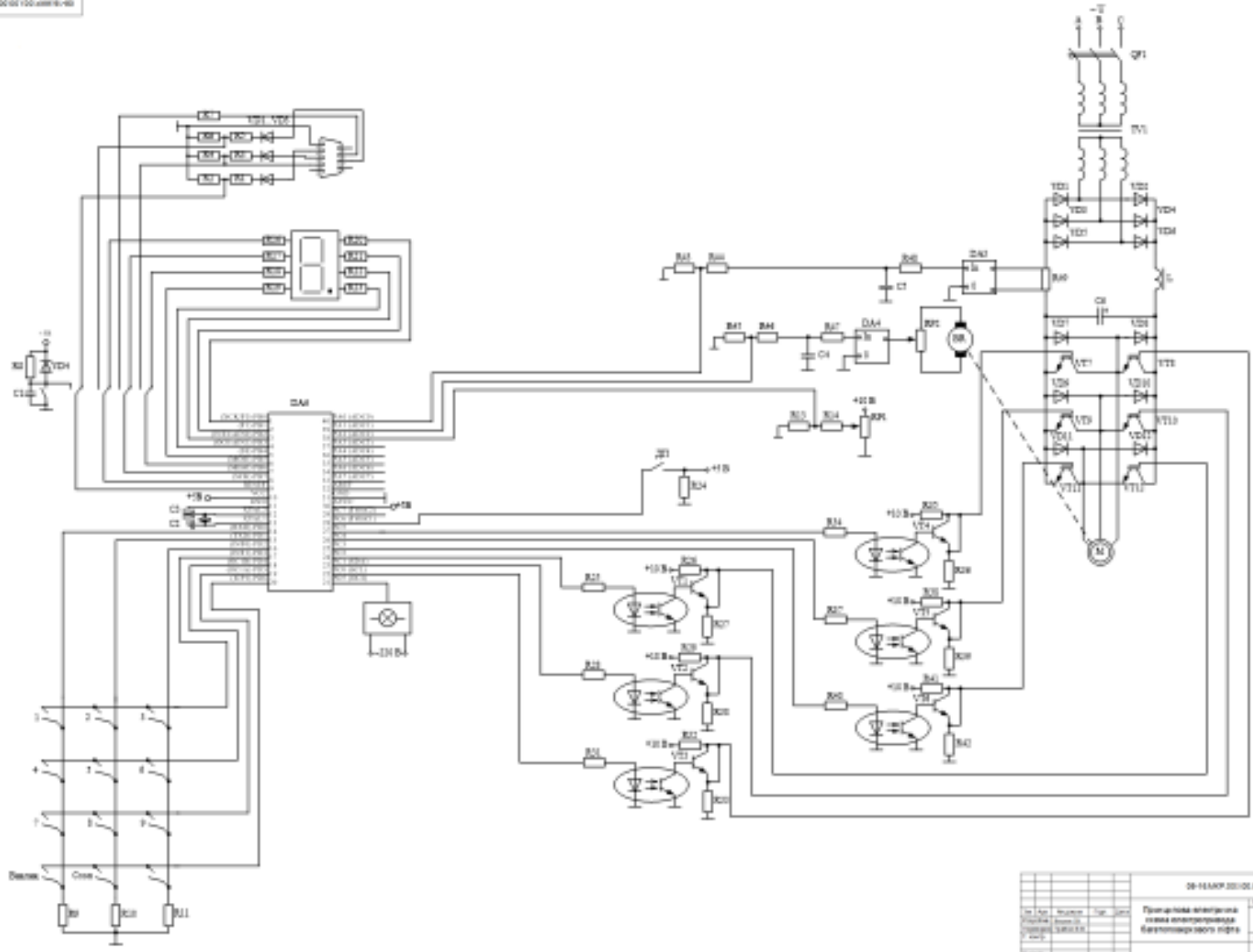
Исполнительная схема электропривода
Блок-схема привода

ИПВ.07А.23а



№ 1/2023
№ 2/2023
№ 3/2023
№ 4/2023
№ 5/2023
№ 6/2023
№ 7/2023
№ 8/2023
№ 9/2023
№ 10/2023
№ 11/2023
№ 12/2023

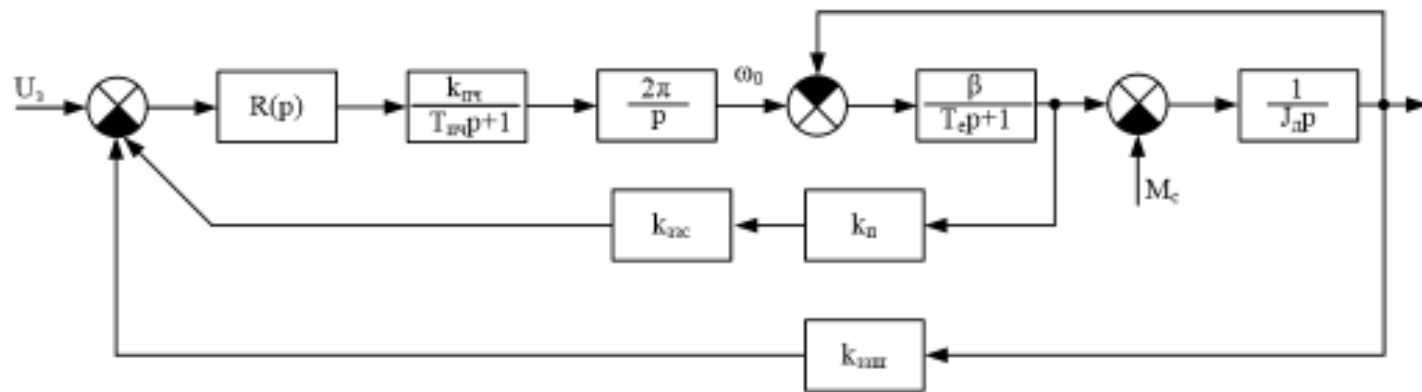
		06-16.AMP.001.02.000.01	
№ 1/2023	№ 2/2023	№ 3/2023	№ 4/2023
Структурна схема електропривода безпосереднього зв'язу			
		№ 1/2023	№ 2/2023
		BYT.07A.02	



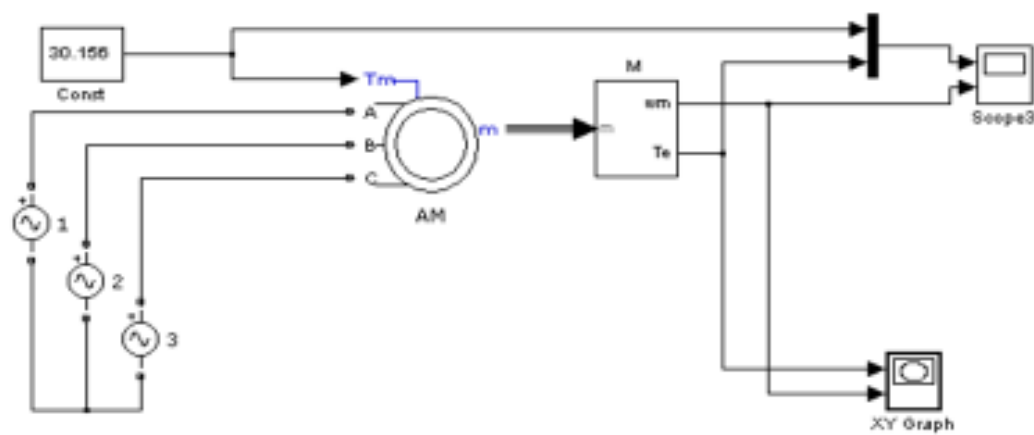
ИЗМЕНЕНИЯ				28-11.007.001.00000.00			
№ п/п	№ документа	Дата	Содержание	№ документа	Дата	Содержание	№ документа
1	28-11.007.001.00000.00		Исходный вариант	28-11.007.001.00000.00		Исходный вариант	28-11.007.001.00000.00

Проектная организация: **ИИИЭ**
 Институт информатики и электротехники
 Российской академии наук

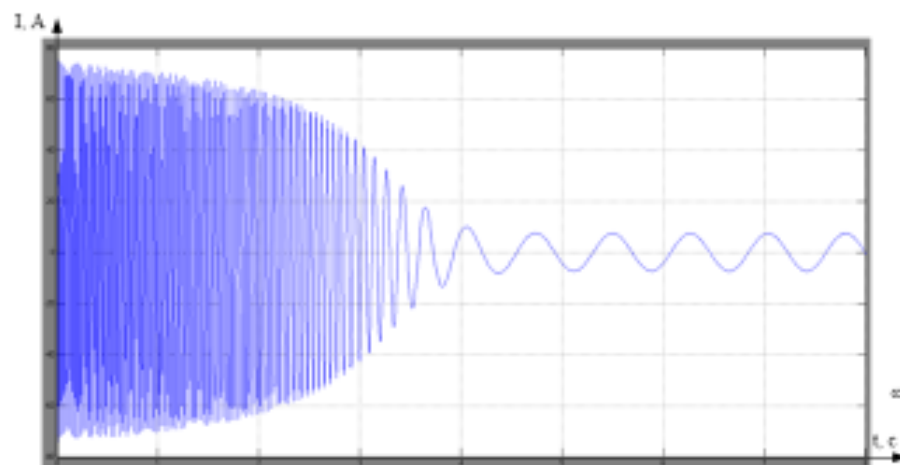
Место: Москва
 ИИИЭ



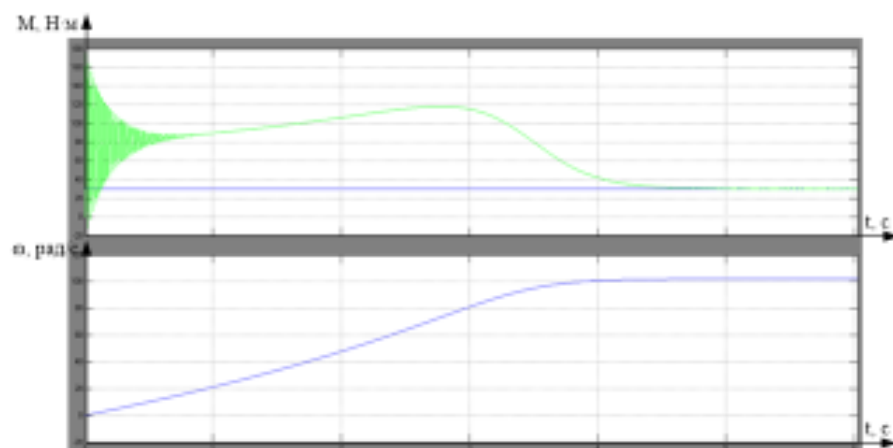
Структурна схема ПЧ-АД



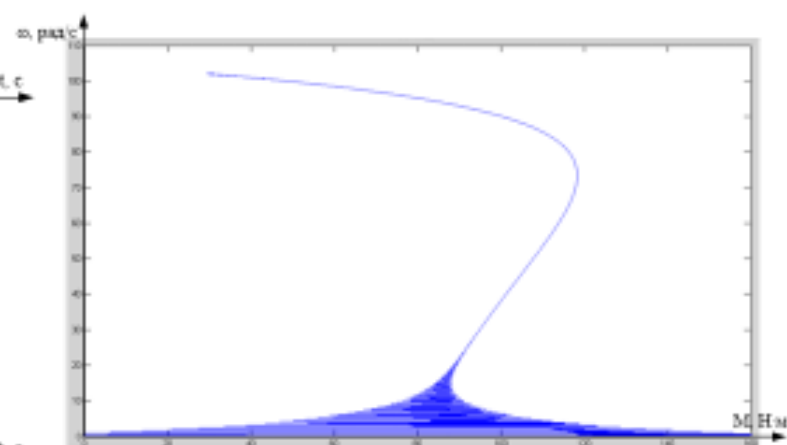
Модель асинхронного двигуна



Перехідний процес струму статора



Перехідні процеси моменту опору, моменту двигуна та швидкості обертання ротора



Механічна характеристика

ВИСНОВКИ

У галузі теоретичних та експериментальних досліджень:

1. Проведено огляд існуючих методів і засобів керування електроприводами ліфтів багатоповерхових будинків.

На даному етапі розвитку теорії та техніки актуальним і перспективним є створення нових методів і засобів керування електроприводами таких ліфтів.

2. Проаналізовано існуючі математичні моделі для керування електроприводами багатоповерхових ліфтів, за допомогою яких забезпечуються бажані результати. Дані моделі мають обмеження щодо їх застосування, тому на основі проведеного аналізу були розроблені математичні моделі для керування електроприводами багатоповерхових ліфтів, що ліквідують деякі недоліки.

3. Дістали подальший розвиток алгоритмічне та апаратне забезпечення систем керування електроприводами ліфтів багатоповерхових будинків.

У галузі практичного застосування:

1. За розробленою математичною моделлю синтезовано структурну схему засобу для покращення характеристик керування електроприводами багатоповерховими ліфтами.

2. Розроблено структуру мікропроцесорного засобу для здійснення керування електроприводами багатоповерхових ліфтів з врахуванням струму, який через нього протікає, та швидкості обертання двигуна, в залежності від забезпеченого навантаження.

Електрична схема ліфта



Схема системи ПЧ-АД



08-24.МКР.003.00.000 Е1

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата
Розробив:		Вікулов І.В.	<i>[Signature]</i>	24.11.21
Перевірив:		Гرابко В.В.	<i>[Signature]</i>	24.11.21
Т. контр.				
Рецензент		<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	24.11.21
Норм. кон.		<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	28.11.21
Затверд.		Мошноріз М.М.	<i>[Signature]</i>	28.11.21

Модернізація системи керування ліфтом багатоповерхового будинку.
Структурна схема ПЧ-АД.

Літ.	Мас.	Місц.
Аркуш		
ВНТУ, гр. ЕЕБ-21		

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Модернізація системи керування ліфтом багатоповерхового будинку

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-22м

Науковий керівник: к.т.н., доц. Грабко В.В.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність	84,5%
Схожість	15,5%

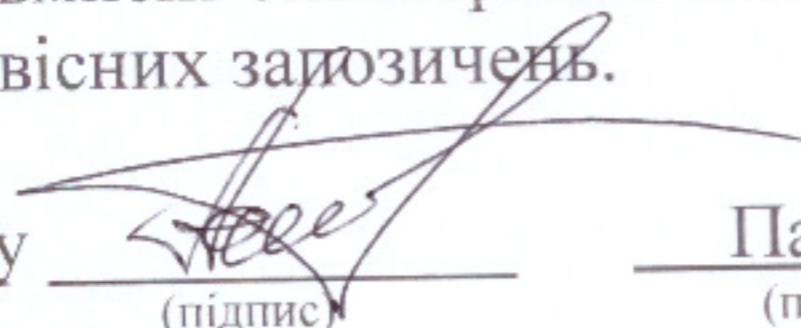
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Паянок О.А.
(прізвище, ініціали)

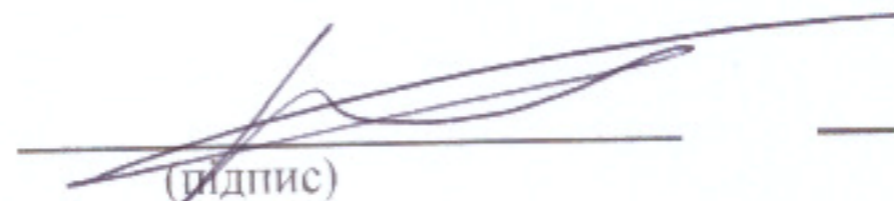
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Вікулов І.В.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Грабко В.В.
(прізвище, ініціали)