

Міністерство освіти і науки України  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра Е та М



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**на тему «Дослідження та вдосконалення електроприводу вантажно-пасажирських ліфтів житлового будинку»**

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) \_\_\_\_\_ Довганьов М.А. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

2 курсу АЕММ-20 групи

Керівник д.т.н., доцент Осадчук П. І. \_\_\_\_\_  
(посада, прізвище та ініціали)

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від \_\_\_\_\_ 2023 р., протокол № \_\_\_\_.

Завідувач(ка) кафедри Е та М \_\_\_\_\_  
(назва кафедри) (підпис)

Петро Осадчук  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса – 2023 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут: *Комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування ім. П.М.Платонова*

Факультет: *Автоматизації та робототехніки*

Кафедра: *Електромеханіки та мехатроніки*

Освітньо-кваліфікаційний рівень: *Магістр*

Галузь знань: *14 – Електрична інженерія*

Спеціальність: *141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Завідувач кафедри ЕтаМ

д.т.н., доц. Осадчук П.І.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА здобувач СВО «Магістр» гр. АЕММ-20 Довганьов Михайло Анатолійович**

1. Тема роботи: «Дослідження та вдосконалення електроприводу вантажно-пасажирських ліфтів житлового будинку»

Керівник роботи: Осадчук Петро Ігорович, д.т.н., доцент.

Затверджено наказом ОНТУ № 841-03 від 15.11.2022 р.

2. Строк подання студентом роботи: 18.12.2023 р.

3. Об'єкт дослідження. Вантажно-пасажирський ліфт.

4. Предмет дослідження. Управління електроприводом вантажно-пасажирським ліфтом

5. Зміст розрахунково-конструкторської частини пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Загальна характеристика роботи: Опис конструкцій існуючих підйомних вантажно-пасажирських ліфтів. Актуальність теми. Об'єкт і мета модернізації електроприводу ліфта.

Розрахунково-конструкторська частина: Конструкція і технічні характеристики вантажно-пасажирського ліфта житлового дому. Розрахунок потужності і вибір двигуна до електроприводу ліфта. Вибір ПЧ для електроприводу ліфта. Розробка схеми частотного електроприводу ліфта.

Дослідження роботи моделі електроприводу ліфта системи ПЧ-АД на ЕОМ: розрахунок параметрів схеми заміщення АД електроприводу для MATLAB та розробка математичної моделі електроприводу і дослідження її роботи у середовищі Simulink.

Організаційна та технологічна частина: організація та технологія монтажу, ремонту і обслуговування електроприводу вантажно-пасажирського ліфта. Техніка безпеки.

Економічна частина: розрахунок економічної ефективності від модернізації електроприводу ліфта.

Результативна частина: висновки і рекомендації за прийнятими у проекті рішеннями.

Література: список літературних джерел на які є посилки.

Перелік демонстраційного матеріалу:

1 - Титульний лист. - Актуальність, об'єкт модернізації, мета роботи. - Конструкція і технічні характеристики вантажно-пасажирського ліфта. 4 - Розрахунок потужності і вибір двигуна електроприводу ліфта. - Вибір і будова ПЧ та схема його зовнішніх з'єднань. - Схема електроприводу вантажно-пасажирського ліфта. - Моделювання на ЕОМ роботи електроприводу ліфта з трифазним АД. 8 - Моделювання на ЕОМ роботи електроприводу ліфта системи ПЧ-АД. 9 - Розрахунок економічної ефективності модернізації електроприводу ліфта. 10 - Висновки (технічні, технологічні, т/б і охорона праці, економічні).

7 Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та | Підпис, дата      |                     |
|--------|-----------------------|-------------------|---------------------|
|        |                       | завдання<br>видав | завдання<br>прийняв |
|        |                       |                   |                     |
|        |                       |                   |                     |

7. Дата видачі завдання 15.11.2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ  
ПЛАН

| № п/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи  | Строк виконання етапів | Примітка |
|-------|--|------------------------|----------|
| 1     | 1. Загальна характеристика роботи: Опис конструкцій існуючих підйомних вантажно-пасажирських ліфтів. Актуальність теми. Об'єкт і мета модернізації електроприводу ліфта.   | 10.08.2023             |          |
| 2     | 2. Розрахунково-конструкторська частина: Конструкція і технічні характеристики вантажно-пасажирського ліфта житлового дому. Розрахунок потужності і вибір двигуна та ПЧ до електроприводу ліфта. Розробка схеми частотного електроприводу ліфта. | 10.09.2023             |          |
| 3     | 3. Дослідження роботи моделі електроприводу ліфта системи ПЧ- АД на ЕОМ: розрахунок параметрів схеми заміщення АД електроприводу для MATLAB та розробка математичної моделі електроприводу і дослідження її роботи у середовищі Simulink.        | 25.10.2023             |          |
| 4     | 4. Організаційна та технологічна частина: організація та технологія монтажу, ремонту і обслуговування електроприводу вантажно-пасажирського ліфта.   | 20.11.2023             |          |
| 5     | 5. Економічна частина: розрахунок економічної ефективності від модернізації електроприводу вантажно-пасажирського ліфта.   | 10.12.2023             |          |
| 6     | Захист кваліфікаційної роботи бакалавра  | 25-26. 12.2023         |          |

Здобувач СВО Довганьов М. А. \_\_\_\_\_

Керівник д.т.н., доцент Осадчук П. І. \_\_\_\_\_

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ. Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Довганьов М. А..

## АННОТАЦІЯ

Довганьов М. А. Кваліфікаційна робота магістра «Дослідження та вдосконалення електроприводу вантажно-пасажирських ліфтів житлового будинку». Одеса: ОНТУ, 2023. Стор. – 108, бібл. – 12, слайдів презентаційної частини – 21.

В розділі «Вступ» показано, що більш ніж 70% виробленої електроенергії споживається системами електроприводів виробничих машин. Електроприводи з частотним керуванням системи ПЧ-АД дозволяють заощаджувати до 10...15% енергії споживання і поліпшувати управління технологічними процесами. В розділі «1 Загальна характеристика роботи» описані технічні характеристики вантажних і пасажирських ліфтів, обґрунтована актуальність теми. В розділі «2 Розрахунково-конструкторська частина» описана конструкція і технічні характеристики вантажно-пасажирського ліфта, розрахована кінематична схема ліфта, потужності двигуна і перетворювача частоти для електропривода ліфта. В розділі «3 Моделювання роботи електропривода на ПОЕМ» розроблена математична модель електропривода вантажно-пасажирського ліфта у середовищі MATLAB Simulink і результати модулювання його роботи на ЕОМ. В розділі «4 Організаційна та технологічна частина» описана організація та технологія монтажу, ремонту і обслуговування електропривода ліфта. В розділі «5 Техніка безпеки та охорона праці» описана організація безпечного монтажу вантажно-пасажирського ліфта та техніка безпеки. В розділі «6 Економічна частина» приведений розрахунок економічної ефективності від модернізації електропривода вантажно-пасажирського ліфта. В розділі «7 Результативна частина» приведені висновки і рекомендації за прийнятими в роботі рішеннями.

Ключові слова: ліфт, асинхронний двигун, частотний електропривод, перетворювач частоти, моделювання роботи двигуна, matlab, simulink.

## ABSTRACT

Dovganyov M.A. Qualification of master's work "Additional research and development of the electric drive of passenger-passenger elevators in a residential building." Odessa: ONTU, 2023. Page. – 108, bib. – 12, slides of the presentation part – 21.

The “Introduction” section shows that more than 70% of the generated electrical energy is generated by the electric drive systems of generating machines. Electric drives with frequency converters of the IF-IM system allow you to save up to 10...15% of the accumulated energy and enhance the control of technological processes. The section “1 Essential characteristics of the robot” describes the technical characteristics of lifts and passenger elevators, and outlines the relevance of those. The section “2nd Rozrakhunkovo-design part” describes the design and technical characteristics of the passenger elevator, describes the kinematic diagram of the elevator, the power of the motor and the frequency change for the electric drive of the elevator. In the section “3 Modeling of the electric drive robot on the PEM” the mathematical model of the electric drive of the passenger elevator in the MATLAB Simulink core and the results of modulating its robot on the EOM are broken down. Section “4 Organizational and technological part” describes the organization and technology of installation, repair and maintenance of the elevator electric drive. Section “5 Safety Techniques and Safety Practices” describes the organization of safe installation of a passenger elevator and safety techniques. In the section “6 Economical part” the breakdown of economic efficiency in the modernization of the electric drive of the passenger elevator is presented. The section “7 Effective Part” contains conclusions and recommendations for decisions taken in the work.

Key words: elevator, asynchronous motor, frequency electric drive, frequency conversion, robotic motor modeling, matlab, simulink.

## ЗМІСТ

|      |   |    |
|------|---|----|
|      | ВСТУП.....  | 8  |
| 1    | ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА .....  | 10 |
| 1.1  | Коротка характеристика механізму ліфта і режимів його роботи.....   | 10 |
| 1.2  | Загальна характеристика технологічного процесу роботи ліфта .....   | 15 |
| 1.3  | Конструктивне виконання ліфта .....                                 | 17 |
| 1.4  | Загальна характеристика електроприводу ліфта .....                  | 20 |
| 2    | РОЗРАХУНКОВО – КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....                         | 22 |
| 2.1  | Технічна характеристика вантажно-пасажирського ліфта.....           | 22 |
| 2.2  | Вимоги до частотного електроприводу вантажно-пасажирського ліфта .  | 23 |
| 2.3  | Розрахунок тахограми руху кабіни ліфта.....                         | 25 |
| 2.4  | Розрахунок кінематичної схеми приводу ліфта .....                   | 27 |
| 2.5  | Діаграми статичних моментів навантаження електропривода ліфта ..... | 33 |
| 2.6  | Розрахунок потужності двигуна управління електроприводу ліфта ..... | 38 |
| 2.7  | Розрахунок і вибір апаратури управління і захисту двигуна .....     | 39 |
| 2.8  | Розрахунок жил лінії живлення електроприводу ліфта .....            | 41 |
| 2.9  | Вибір перетворювача частоти для електроприводу ліфта.....           | 42 |
| 2.10 | Схема частотного електроприводу ліфта системи ПЧ-АД.....            | 60 |
| 3    | МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛІФТА НА ЕОМ ...                  | 64 |
| 3.1  | Постановка задачі моделювання роботи електроприводу на ЕОМ.....     | 64 |
| 3.2  | Розрахунок параметрів схеми заміщення електродвигуна ліфта .....    | 65 |
| 3.3  | Модулювання роботи електроприводу ліфта з АД.....                   | 70 |
| 3.4  | Моделювання роботи електроприводу ліфта системи ПЧ-АД.....          | 72 |
| 3.5  | Висновки і пропозиції .....   | 74 |
| 4    | ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....   | 75 |
| 4.1  | Монтаж електрообладнання електроприводу ліфта .....                 | 75 |
| 4.2  | Технологія ремонту електрообладнання електроприводу ліфта .....     | 78 |
| 4.3  | Технічне обслуговування електрообладнання електроприводу ліфта .... | 83 |
| 5    | ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ.....                               | 90 |
| 5.1  | Організація безпечного монтажу вантажно-пасажирського ліфта .....   | 90 |

|             |                 |          |        |      |                          |  |  |     |       |         |
|-------------|-----------------|----------|--------|------|--------------------------|--|--|-----|-------|---------|
|             |                 |          |        |      | КРМ. Е та М.1.841-03.1.1 |  |  |     |       |         |
| Зм.         | Арк.            | № докум. | Підпис | Дата | Зміст                    |  |  | Літ | Аркуш | Аркушів |
| Розробив    | Довганьов М. А. |          |        |      |                          |  |  |     | 5     | 108     |
| Керівник    | Осадчук П. І.   |          |        |      | ОНТУ, АЕМм 20            |  |  | 6   |       |         |
| Консульт.   |                 |          |        |      |                          |  |  |     |       |         |
| Зав.кафедри | Осадчук П. І.   |          |        |      |                          |  |  |     |       |         |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 5.2 | Організація охорони праці і техніки безпеки при обслуговуванні ліфта .  | 94  |
| 6   | ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....  | 96  |
| 6.1 | Розрахунок економічної ефективності від модернізації електроприводу вантажно-пасажирського ліфта жилого будинку ..... | 96  |
| 7   | РЕЗУЛЬТАТИВНА ЧАСТИНА .....   | 104 |
| 7.1 | Рекомендації щодо надійної роботи електроприводу ліфта .....  | 104 |
| 7.2 | Висновки і пропозиції щодо прийнятих проектних рішень .....   | 105 |
|     | ЛІТЕРАТУРА .....  | 107 |

## ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

Слайд 1. Зовнішній вигляд кабіни ліфта.

Слайд 2. Кінематична схема ліфта.

Слайд 3. Швидкісні та навантажувальні діаграми руху кабіни.

Слайд 4. Розрахунок і вибір двигуна.

Слайд 5. Розрахунок елементів та вибір ПЧ.

Слайд 6. Математична модель електроприводу ліфта з АД.

Слайд 7. Математична модель електроприводу ліфта ПЧ–АД.

Слайд 8. Результати моделювання роботи електроприводу ліфта.

Слайд 9. Економічна ефективність модернізації електроприводу ліфта.

Слайд 10. Висновки та пропозиції.

## ВСТУП

В Україні число житлових, адміністративних і культурно-побутових будівель з року в рік безперервно збільшується. Вважається, що основним завданням є не лише збільшення квадратних метрів побудованого житла, але і зростання якості, комфортабельності і поліпшення житлових умов.

Це у свою чергу вплине на те, якої поверховості буде житло. Вважається перспективним будівництво багатоповерхових будинків, так як скупчення великих мас населення в містах та безперервно зростаюча вартість землі призвели до будівництва багатоповерхових будівель, які не змогли б задовільно функціонувати без надійної системи внутрішнього пасажирського та вантажного транспорту.

Вантажопасажирський ліфт - це стаціонарна підйомна машина періодичної дії, яка призначена для підйому та спуску людей і (чи) вантажу в кабіні, що рухається по жорстким прямолінійним направляючим, у яких кут нахилу по вертикалі не більше 15 градусів.

В теперішній час парк ліфтів безперервно зростає при стійкій тенденції пошуку нових конструктивних рішень, які відображають потреби ринку та науково-технічні досягнення в різних галузях промисловості. Спостерігається удосконалення конструкції всіх систем обладнання підйомника з метою зниження рівня шуму та вібрації в будинку і в кабіні підйомника, підвищення надійності пристроїв, які забезпечують безпечне застосування підйомників. Удосконалюються системи приводу та розширюються області застосування приводу змінного струму з тиристорним та амплітудно-частотним керуванням, також удосконалюються системи управління на основі досягнень промислової електроніки і мікропроцесорної техніки.

Якщо потрібно виготовити ліфт для якихось певних цілей, із заданими характеристиками і можливостями, то буде потрібний особливий проект, складений на основі технічного завдання. Зазвичай це ліфти для підйому автомобілів, пожежні або для використання у промислових цілях. Проте всі вони розділяються на дві категорії за типом приводу: електричні та гідравлічні.

Електричний привод для ліфта - найбільш поширений у наш час. Ці ліфти

забезпечені електричним двигуном, приводяться до руху за допомогою тросів і противаги. Вони досить безпечні, володіють хорошою швидкістю.

Гідравлічний привод являє собою нескладну систему - резервуар, поршень, клапан і мотор. Гідравлічні ліфти встановлюють у будинках, де немає багато поверхів, вони рухаються повільно і можуть зупинитися точно у потрібному місці. Особливою їх перевагою вважається безшумність, оскільки привод може розташовуватися навіть не в будинку.

Область застосування ліфтів:

- у житлових будинках середньої і високої поверховості;
- у громадських будівлях;
- на заводах та інших промислових комплексах;
- малі вантажні ліфти, вони використовуються в кафе або на складах;
- лікарняні ліфти для транспортування лежачих пацієнтів.

Ліфти також розділяються за місцем розташування машинного відділення:

- двигун може розташовуватися у верхній частині шахти або наднею;
- у нижній частині шахти, або збоку.

Двері ліфта можуть бути орними і розсувними. Другий тип дверей розділяється: на вертикальний спосіб розсування і горизонтальний. Варто відзначити, що дверцята, які розсуваються вгору і вниз, використовуються виключно у вантажних ліфтах.

Ліфтом можна управляти по-різному. Є ліфти, в яких панель управління знаходиться всередині кабіни. Також існують ліфти, в яких управління здійснюється зовні, там, де розташовані майданчики для зупинки. Є також і змішаний тип - коли можливість керування ліфтом буде зовні, а також усередині кабіни.

Загалом існує безліч різних ліфтів, які відрізняються за призначенням та конструктивними особливостями. Ми розглядатимемо вантажопасажирський ліфт висотного будинку.

# 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

## 1.1 Коротка характеристика механізму ліфта і режимів його роботи

Ліфтом називається стаціонарна підйомна машина періодичної дії, яка призначена для підйому і спуску людей чи вантажів в кабіні, вона рухається по жорстким прямолінійним направляючим, у яких кут нахилу по вертикалі не більше 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 приводу підйомного механізму: ліфти електричні з приводом від електродвигуна змінного чи постійного струму; ліфти гідравлічні з приводом у вигляді підйомного гідроциліндра чи лебідки з гідравлічним двигуном 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 шестеренчастої зубчастої рейки.

За величиною швидкості підйому кабіни: ліфти тихохідні – при швидкості кабіни до 1,0 м/с; ліфти швидкохідні – при швидкості кабіни від 1,4 до 2,0 м/с; швидкісні – при швидкості руху кабіни більше ніж 2,0 м/с.

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

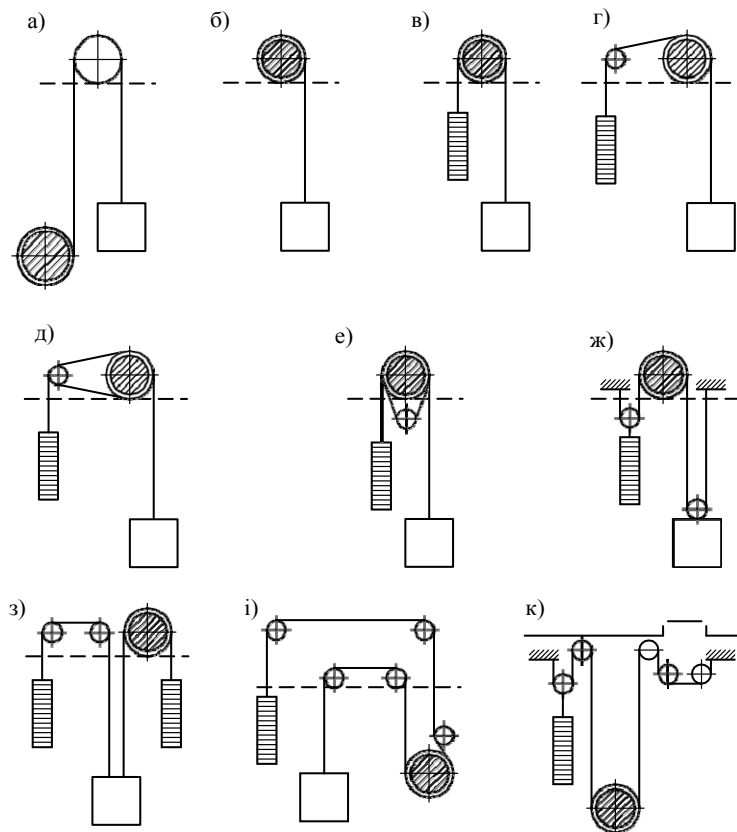


Рисунок 1.1 – Кінематичні схеми ліфтів

На кінематичних схемах прийняті наступні позначення: канатоведучий орган, зображується колом із заштрихованою середньою частиною, відхиляючі блоки і контр шків – колом малого діаметра без штриховки, кабіна – великим прямокутником, противага – 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 (рис. 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 (рис. 1.1 в, г), однак будь-якої переваги у порівнянні з КВШ не має.

Невід'ємною частиною більшості кінематичних схем ліфта є противага (рис. 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 зчеплення канатів з ободом шківів в лебідках з КВШ.

Найкращими техніко-економічними показниками володіють ліфти з верхнім машинним приміщенням (рис. 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 (рис. 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, з боку вітки канатів противаги встановлюється відповідний блок (рис. 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 контр шківом, який забезпечує подвійний обхват КВШ канатами і одночасно виконує роль відвідного блоку (рис. 1.1 д). Однак, додатковий перегин канатів на контр шківі знижує їх довговічність.

Схема з контр шківом, який розміщений під КВШ, застосовується при невеликих габаритах кабіни і підвищеній вантажопідйомності ліфта (рис. 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 (рис. 1.1 ж).

Схема з кабіною і противагою (рис. 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 (рис. 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 розрахункового вантажу, кг;

$Q_{\text{п}}$  – розрахункова маса пасажира,  $Q_{\text{п}}=80$  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 безперервне зростання парку ліфтів при стійкій тенденції пошуку нових конструктивних рішень, які відбивають вимоги ринку і науково-технічні досягнення в різних галузях промисловості.

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

Жорстка конкуренція на внутрішньому і світовому ринках, розширення спектру 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 та устаткування посадкових

площадок;

- удосконалювання конструкції всіх систем устаткування ліфта з метою зниження рівня шуму та 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, які забезпечують безпечне застосування ліфтів;

- удосконалювання систем приводу і розширення області застосування приводу змінного струму з тиристорним і амплітудно-частотним керуванням;

- удосконалювання систем керування на основі досягнень промислової електроніки та мікропроцесорної техніки;

- розширення масштабів застосування гідравлічних ліфтів плунжерного типу з канатними мультиплікаторами в будинках малої і середньої поверховості;

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

- розширення практики модернізації діючого ліфтового устаткування;

- підвищення ефективності системи технічного обслуговування ліфтів на основі застосування сучасних методів комп'ютерної обробки інформації та керування у 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 удосконалювання технології і механізації трудомістких процесів.

**Висновок:** в системі електроприводу ліфта раніше (часто і зараз) використовувалася контакторно-релейна система керування, але з появою

мікроконтролерів з'явилася можливість використовувати більш надійні, дешеві та точніші системи керування електроприводом.

## 1.2 Загальна характеристика технологічного процесу роботи ліфту

Ліфти підрозділяють (ГОСТ 23748-79) за наступними основними ознаками:

а) вантажні, які розділяються, на: пасажирські, призначені для підйому і спуску людей, у тому числі з предметами домашнього ужитку, якщо загальна маса людей і вантажу не перевищує вантажопідйомності ліфта; лікарняні — для підйому і спуску хворих на лікарняних транспортних засобах у присутності супроводжуючого персоналу; вантажні — для транспортування вантажів у супроводі провідника або спеціально виділених людей без провідника, у тому числі вантажні малі для транспортування вантажів без провідника, причому в останньому випадку обмежені: вантажопідйомність, висота і площа кабіни з метою виключення входу людини в кабіну при її розвантаженні і завантаженні;

б) вантажно-приймальний пристрій: на ліфти, які обладнані кабіною чи платформою;

в) тяговий орган, який призначений для переміщення кабіни або платформи: на канатні, ланцюгові, рейкові, гвинтові і плунжерні;

г) за типом приводу: на електричні, гідравлічні (вантажні);

д) за виглядом приводу дверей: на ліфти з дверима, що відкриваються вручну, напівавтоматично і автоматично;

е) за виглядом шахти: на ліфти, які встановлюються в глухій шахті, захищеній на всю висоту і з усіх боків суцільними стінами; встановлювані в металеві сітчасті шахти, які захищені з усіх боків і на всю висоту металевою сіткою; встановлювані в комбінованій шахті, частина якої глуха, а частина - металеві сітчасті;

ж) за конструкцією дверей шахти і кабіни ліфтів: з орними дверима (вантажні, лікарняні і пасажирські для виробничих будівель); з горизонтально-розсувними дверима; з горизонтально-розсувними дверима, які переміщуються по криволінійним направляючим, з вертикально-розсувними дверима;

з) за розташуванням машинного приміщення на ліфти: з машинним

приміщеням, розташованим над шахтою, під шахтою і збоку від шахти;

і) за системою управління: на ліфти: з кнопковим внутрішнім управлінням, при якому пуск кабіни здійснюється за допомогою дії на кнопки апарату, який знаходиться в кабіні, а її зупинка на посадковому (завантажувальному) майданчику відбувається автоматично; з кнопковим зовнішнім управлінням (вантажні ліфти), при якому пуск кабіни здійснюється за допомогою дії на кнопки апарату, встановленому поза кабіною, а її зупинка на посадковому (завантажувальному) майданчику відбувається автоматично; з простим управлінням, яке забезпечує реєстрацію лише одного наказу або виклику; із збиральним управлінням лише при русі вниз; з груповим управлінням, при якому забезпечується управління групою ліфтів із загальною реєстрацією викликів і автоматичним вибором кабін для їх виконання, у тому числі лише з груповим управлінням при русі вниз; з програмним управлінням одним або групою ліфтів, що дозволяє встановити програму роботи ліфтів автоматично або вручну.

Основними показниками ліфтів (ГОСТ 26334-84) є вантажопідйомність і номінальна швидкість руху кабіни.

Ряд вантажопідйомних ліфтів, згідно ГОСТ 26334-84, наступний: 40, 100(160), 250 (320), 400(500), 630, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500(3200), 4000(5000), 6300 кг.

Номінальна швидкість руху кабіни ліфта повинна складати: 0,14; 0,2; 0,25; 0,4(0,5); 0,63(0,71); 1,0(1,4); 1,6(2,0); 2,5(2,8); 4,0(5,6); 6,3 м/с.

Параметри, які вказані в дужках, не є переважними. Значення фактичної швидкості руху кабіни не повинно відрізнятися від приведених вище величин більше ніж на 15%. Середня величина прискорення (уповільнення) руху кабіни ліфта при нормальних режимах експлуатації має бути (ГОСТ 12.2.074-82 ССБТ) не більше  $1,5 \text{ м/с}^2$  — у лікарняного і  $2,0 \text{ м/с}^2$  — для інших ліфтів. Точність зупинки кабіни на рівні завантажувального майданчика має бути в межах 20 мм у вантажних ліфтів з завантаженням засобами підлогового транспорту, а також у лікарняних ліфтів і 50 мм — у інших ліфтів.

Допускається збільшувати корисну площу підлоги кабіни:  $1,17 \text{ м}^2$  — для

місткості 5 людей; 1,66 м<sup>2</sup> — для 8 людей, 2,35 м<sup>2</sup> — для 12 людей, 3,56 м<sup>2</sup> — для 20 людей. При місткості більше 25 людей найбільшу корисну площу підлоги кабіни визначають виходячи з питомого навантаження на підлогу, яке дорівнює 500 кг/м<sup>2</sup>. Площу підлоги кабіни визначають виходячи з відстаней між стінками купе кабіни, причому ту площу підлоги, яка перекривається під час відкриття однієї з стулочних дверей, можна в розрахунок не приймати.

В даний час успішно експлуатуються ліфти з гідравлічним приводом. Кількість їх в Скандинавських країнах і США складає більше 50% від загального числа ліфтів. Переваги гідравлічного ліфта полягають у відсутності необхідності вживання противаги; у можливості видалення приводної насосної станції на відстань до 25 м від приводного гідроциліндра 1, що сприяє зниженню рівня шуму в будівлі; у високій точності зупинки кабіни на поверхах.

Основний недолік таких ліфтів полягає в обмеженій (до 25 м) висоті підйому кабіни. Вимоги безпеки до гідравлічних ліфтів викладені в ГОСТ 12.2.083-82.

### **1.3 Конструктивне виконання ліфту**

Ліфт є різновидом підйомника і транспортним засобом переривчастої дії, призначеним для підйому і спуску людей (вантажів) з одного рівня на інший. Кабіна (платформа) ліфта переміщається уздовж нерухомих вертикальних жорстких направляючих, встановлених в шахті, яка забезпечена на посадкових (завантажувальних) майданчиках дверима, які замикаються (ГОСТ 23748-79).

Ліфт складається з шахти (рис. 1.2), обладнаної дверима 1, встановленими в порталах, напрямком і машинним приміщенням з підйнятною приводною лебідкою. Під шахтою є простір, в якому переміщається платформа або кабіна і противага, а також встановлено інше устаткування ліфта, а машинне приміщення

частина шахти (або інше приміщення), призначені для установки приводного механізму, апаратури управління і іншого устаткування ліфта

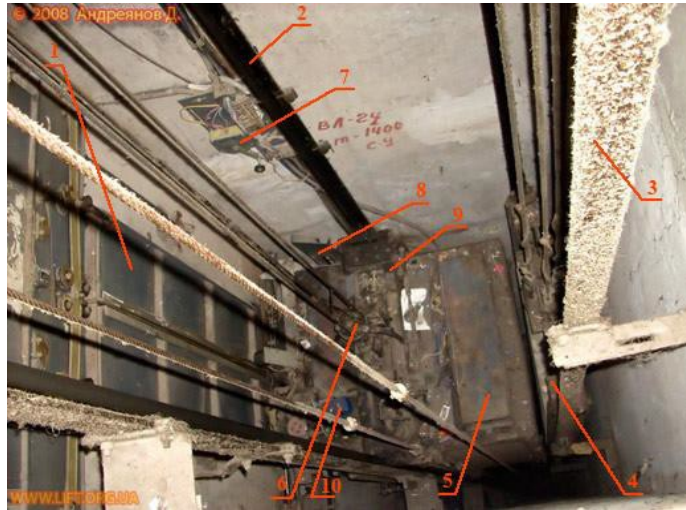


Рисунок 1.2 - Конструкція ліфта і шахти

Усередині шахти уздовж направлених вертикалей 2 і 3 рухаються кабіна 5 і протизага 4. Кабіна і протизага підвішені на сталевих дротяних канатах, які закріплюються до кабіни за допомогою підвіски 6. Тягове зусилля на канатах 6 (рис. 1.2) створюється при обертанні канатоведучого шківa 3 при включеному приводному електродвигуні 1. Для зупинки і утримання кабіни і протизаги у нерухомому стані при відключеному електродвигуні служить гальмо 2. У напрямку розташовані натягач обмежувача швидкості і буфера. Обмежувач швидкості 4 кінематично зв'язаний канатом 5 з натягачем і з ловцями 9 (рис. 1.1), черевики яких призначені для зупинки кабіни, вільно рухомої уздовж тих, що направляють, в разі обриву або ослаблення канатів, а також при перевищенні кабіною (протизагою) заданих величин швидкості руху. Обмежувач швидкості встановлений в машинному приміщенні і пов'язаний з кабіною канатом.

Для управління рухом кабіни служить кнопочний апарат, який розташований усередині на стінці кабіни. Електричний сигнал від кнопочного апарату передається по підвісному кабелю і дротам в шахті в машинне приміщення на шафу управління ліфтом. Привод ліфта зазвичай забезпечує можливість переміщення кабіни в двох режимах – на великій і малій швидкості. Перемикання з великої швидкості на малу здійснюється поверховим перемикачем (датчиком) 7, на який при підході кабіни впливає відведення (шунт) 8. Рух кабіни з малою швидкістю триває до підходу кабіни до датчика точної зупинки, закріпленого на стінці шахти.

За сигналом датчика точної зупинки електродвигун лебідки і котушки приводного електромагніту гальма відключаються від мережі і кабіна загальмовується і стримується гальмом в нерухомому стані. Одночасно подається живлення на електродвигун привода 11 дверей кабіни. Двері автоматично відкриваються спільно з дверима шахти і залишаються відкритими після виходу пасажирів з кабіни протягом порівняльно малого проміжку часу, за допомогою реле часу, що задається, в ланцюзі управління ліфтом. Потім реле часу замикає свої контакти і подає живлення на електродвигун привода дверей кабіни — двері закриваються. Ліфт вільний і готовий до роботи по виклику, про що свідчать згаслі сигнальні лампи викличних апаратів, які встановлені на кожному посадочному поверсі.

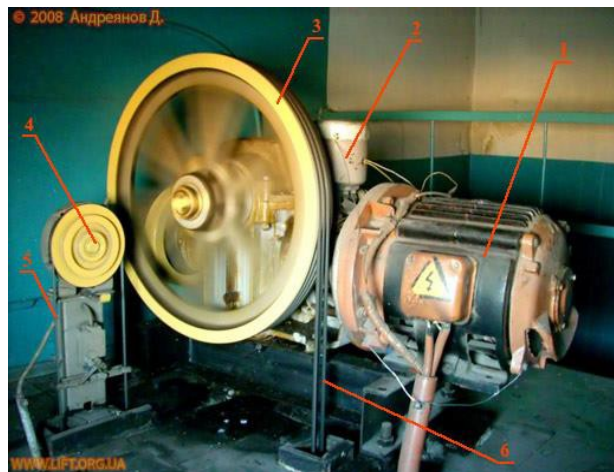


Рисунок 1.3 – Конструкція електроприводу кабіни ліфта

Лебідка ліфта (рис. 1.3) може мати нарізний вантажний барабан або канатоведучий шків 3. Барабанні лебідки застосовуються в даний час порівняно не часто, переважно в ліфтах без противаги, коли установка противаги затруднена або неможлива. Від канатоведучого шківа 3 тягове зусилля передається канатом 6 за рахунок дії сил тертя між канатом і шківом. Для збільшення сил тертя шків має поглиблення на створеній циліндровій поверхні, форма яких при даному куті обхвату шківа канату, вибраному матеріалі і конструкції шківа дозволяє забезпечувати зчеплення канату зі шківом, достатнє для утримання кабіни при статичних випробуваннях, і робить неможливим підйом кабіни при нерухомій противазі або противазі при нерухомій кабіні.

Переважного поширення набули ліфти зверхнім розташуванням приводу. Нижнє розташування приводу характерне для вичавних і тротуарних ліфтів. Для малих вантажних ліфтів можливе розташування приводу збоку шахти.

Габаритні розміри та конструкція ліфтів визначається їх призначенням, розташуванням кабіни і противаги в плані і розміщенням дверних отворів в шахті. Переважного поширення в ліфтах житлових, адміністративних та промислових будівель набули шахти і кабіни з входом з одного боку на всіх поверхах. Інколи передбачають двоє дверей на протилежних стінах або вдвох суміжних стінах, розташованих під кутом.

#### **1.4 Загальна характеристика електроприводу ліфта**

Електроприводом робочої машини електрифікованого агрегату називається електромеханічний пристрій, який призначений для електрифікації і автоматизації робочих процесів і складається з перетворюючого пристрою, електродвигуна, передавального пристрою та пристрою керування.

Для електропривода робочих машин зазвичай вибирають прості і надійні трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором серії 4А, АІР, АІРС або інші.

Для привода робочих машин потужністю до  $P_{\text{ном}} = 250$  кВт найчастіше використовують трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором на напругу 380 В 50 Гц, а при більшій потужності - асинхронні двигуни з напругою живлення 3 кВ або 6 і 10 кВ 50 Гц.

В електроприводах робочих машин з асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором потужністю до  $P_{\text{ном}} = 7,5$  кВт застосовують прямий пуск АД.

Для робочих машин потужністю більше  $P_{\text{ном}} = 7,5$  кВт рекомендується застосовувати схему пуску двигунів при з'єднанні обмоток фаз статора зіркою з подальшим перемиканням їх на трикутник. Це дозволяє зменшити пусковий струм двигуна в 1,7 рази, а пускову потужність в 3,0 рази, але при цьому пусковий момент двигуна знижується в 3,0 рази.

Електропривод вантажно-пасажирського ліфта складається з трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором міжнародної серії АІР потужністю  $P_{ном} = 4,0$  кВт і частотою обертання ротора  $n_{ном} = 1470$  об/хв.

Живлення електропривода ліфта і системи його управління здійснюється від чотири провідної трифазної мережі змінного струму з робочим нейтральним дротом 3 PEN 380/220 В 50 Гц.

У схемі управління привода ліфта використовується безпечна для життя людини напруга 24 В 50 Гц.

Електродвигун і корпус кабіни з'єднані із заземлювачем дротом РЕ і з'єднані із заземленим робочим нейтральним дротом N (з'єднання PEN).

Ліфт працює у повторно-короткочасному режимі роботи S3 з змінним навантаженням.

## 2. РОЗРАХУНКОВО – КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 2.1 Технічна характеристика вантажно-пасажирського ліфта

Вантажно-пасажирський ліфт призначення для підйому та спуску людей з побутовим вантажем з нижнього майданчика на верхній та верхнього до нижнього. Вниз клітка може спускатися як без вантажу, так і з вантажем. Цикл роботи ліфта включає години підйому та опускання клітки, а також години завантаження та вивантаження. Підйом кабіни відбувається із сталою швидкістю  $V_{\Pi} = 1,0 \dots 1,4$  м/с, а спуск з  $V_{\text{C}} = -1,0 \dots -1,4$  м/с з точністю  $\nabla V = 15\%$ .

Прискорення руху кабіни складає  $a_{\Pi} = 1,0 \dots 1,5$  м/с<sup>2</sup>, а уповільнення при гальмуванні  $a_{\Gamma} = -1,0 \dots -1,5$  м/с<sup>2</sup> з точністю  $\nabla a = 10\%$ .

В процесі розрахунку необхідно визначити найбільш завантажений для двигуна режим роботи, забезпечити виконання вимог по прискоренню ліфта і можливість його роботи з різними вантажами на підйом і на спуск.



Рисунок 2.1 - Загальний вигляд вантажно-пасажирського ліфта

Таблиця 1.1 - Технічні дані вантажно-пасажи́рського ліфта

| Параметр                                  |             | Значення  |
|---|-------------|-----------|
| Швидкість руху кабіни, м/с                |             | 1,0...1,4 |
| Точність швидкість руху кабіни, %         |             | 15,0      |
| Прискорення руху кабіни, м/с <sup>2</sup> |             | 1,0...1,5 |
| Точність прискорення руху кабіни, %       |             | 10,0      |
| Маса кабіни, кг                           |             | 470       |
| Маса вантажу, кг                          |             | 500       |
| Система підвіски кабіни                   |             | Пряма     |
| Висота підйому, м                         |             | 70        |
| <b>Шківи</b>                              |             |           |
| Канатоведучий шків                        | діаметр, мм | 500       |
|   | маса, кг    | 50        |
| Блок відвідній шківів                     | діаметр, мм | 500       |
|   | маса, кг    | 50        |
| Блок натяжних шківів                      | діаметр, мм | 500       |
|   | маса, кг    | 40        |

## 2.2 Вимоги до частотного електроприводу вантажно-пасажи́рського ліфта

Вантажно-пасажи́рський ліфт встановлюють у жилих приміщеннях, які згідно ПУЕ [1] відносяться до класу «Приміщення без особливої небезпечні». Гігієнічні норми параметрів мікроклімату в робочій зоні машини повинні відповідати ГОСТ 12.1.005-88. Категорія приміщень згідно ПУЕ відповідає правилам пристрою електроустановок за СНіП 11-90-81 з температурою повітря від +10 до +40<sup>0</sup>С і вологістю не більше 80%.

Рівень звукового тиску і шуму не повинен перевищувати норм, регламентованих ГОСТ 12.1.003 «Шум. Загальні вимоги безпеки». Граничне значення вібраційних характеристик не повинне перевищувати норм, встановлених ГОСТ 12.1.012 «Вібраційна безпека. Загальні вимоги».

Частотний електропривод вантажно-пасажирського ліфта після модернізації повинен забезпечити:

1. Регулювання швидкості руху кабіни в діапазоні:

- при підйомі кабіни  $V_{\Pi} = 1,0 \dots 1,4$  м/с з точністю  $\nabla V = 15\%$ ;

- при спуску кабіни  $V_{\text{С}} = -1,0 \dots -1,4$  м/с з точністю  $\nabla V = 15\%$ .

2. Прискорення руху кабіни складає:

- прискорення руху кабіни  $a_{\text{ПР}} = 1,0 \dots 1,5$  м/с<sup>2</sup> з точністю  $\nabla a_{\text{ПР}} = 10\%$ ;

- уповільнення руху кабіни  $a_{\text{УР}} = -1,0 \dots -1,5$  м/с<sup>2</sup> з точністю  $\nabla a_{\text{УР}} = 10\%$ .

3. Точність підтримки частоти обертання вала двигуна електроприводу кабіни ліфта:

$$\nabla n_{\text{НОМ}} = \pm 5,0\%.$$

4 меншити пусковий струм двигуна електроприводу кабіни ліфта: в 2...3 рази;

5 Напруга живлення двигуна: PEN 380/220 В 50 Гц.

6 Напруга живлення в колах управління машини:

12, 24, 36, 42 В 50 Гц або 12, 24 В постійного струму.

У колах управління машини необхідно використовувати безпечну від поразки електричним струмом напругу.

Пост управління розташовують в шафі управління, а шафу управління встановлюють на відстані 10...20 метрів від електроприводу машини. Живлення привода здійснюється від трифазної мережі змінного струму 220/380 В 50 Гц дротами або кабелями з алюмінієвими або мідними жилами. Мідні жили застосовують у пожежовибухонебезпечних приміщеннях або для машин з підвищеною вібрацією. Живлення машини і пульта управління необхідно прокладати в газових сталевих трубах, а труби з'єднати гнучким мідним дротом з контуром заземлення.

Схема управління повинна забезпечити заданий алгоритм управління і блокування привода машини, індикацію наявності напруги живлення і режиму роботи машини, а так само захист привода від струмів короткого замикання, тривалого перевантаження і від його мимовільного включення після

короткочасного зникнення електроенергії.

Передбачити блокування включення ліфта за відсутності загороджень його приводу і її аварійну зупинку ліфта.

### 2.3 Розрахунок тахограми руху кабіни вантажно-пасажирського ліфта

Відповідно до завдання в перехідних процесах рух привода є рівноприскореним чи рівноуповільнений. У цьому випадку елементи діаграми швидкості розраховуються за допомогою простих співвідношень.

Час розгону  $t_p$  та гальмування  $t_r$  кабіни ліфта розрахуємо за формулою:

$$t_{p,r} = \frac{|V_{п,с}|}{|a_{p,r}|}, \quad (2.1)$$

де  $|V_{п,с}|$  – абсолютна швидкість руху кабіни ліфта під час її підйому  $V_п$  та спуску  $V_с$ :  $V_п = 1,0$  м/с,  $V_с = -1,0$  м/с;

Знаходимо часи руху кабіни ліфта при її розгоні і гальмуванні під час її підйому та спуску:

- час розгону швидкості руху кабіни ліфта  $t_1$  при її підйому:

$$t_1 = t_{pп} = \frac{V_п}{a_p} = \frac{1,0}{1,0} = 1,0 \text{ с},$$

- час гальмуванні швидкості руху кабіни ліфта  $t_3$  при її підйому:

$$t_3 = \frac{V_п}{|a_r|} = \frac{1,0}{|-1,0|} = 1,0 \text{ с},$$

- час розгону швидкості руху кабіни ліфта  $t_4$  при її спуску:

$$t_4 = \frac{|V_с|}{|a_{pc}|} = \frac{|-1,0|}{1,0} = 1,0 \text{ с},$$

- час гальмування швидкості руху кабіни ліфта  $t_6$  при її спуску:

$$t_6 = \frac{|V_C|}{|a_{ГC}|} = \frac{|-1,0|}{|-1,0|} = 1,0 \text{ с.}$$

Шлях розгону  $L_P$  і гальмування  $L_{Г}$  швидкості руху кабіни ліфта розрахуємо за формулою:

$$L_{P,Г} = V_0 \cdot t_{P,Г} + \frac{a_{P,Г} \cdot t_{P,Г}^2}{2}, \quad (2.2)$$

де  $V_0$  – початкова швидкість руху кабіни ліфта при її розгоні чи гальмуванні,  $V_{0P\Pi} = 0 \text{ м/с}$ ,  $V_{0Г\Pi} = 1,0 \text{ м/с}$ ,  $V_{0PC} = 0 \text{ м/с}$ ,  $V_{0ГC} = 1,0 \text{ м/с}$ .

Шлях руху кабіни ліфта при її розгоні і гальмуванні дорівнює:

$$L_1 = L_{P\Pi} = V_{0P\Pi} \cdot t_1 + \frac{a_1 \cdot t_1^2}{2} = 0 \cdot 1,0 + \frac{1,0 \cdot 1,0^2}{2} = 0,5 \text{ м,}$$

- шлях руху кабіни ліфта при гальмуванні її під час підйому:

$$L_3 = L_{Г\Pi} = V_{0Г\Pi} \cdot t_3 + \frac{a_2 \cdot t_3^2}{2} = 1,0 \cdot 1,0 + \frac{1,0 \cdot 1,0^2}{2} = 1,5 \text{ м,}$$

Загальний шлях сталого руху ліфта при підйомі і спуску кабіни:

$$L_y = L_3 - (L_P + L_{Г}), \quad (2.3)$$

де  $L_3$  – заданий шлях переміщення кабіни ліфта,  $L_3 = 70 \text{ м}$ ;

$L_P, L_{Г}$  – шлях розгону і гальмування, м.

Знаходимо шлях сталого руху кабіни ліфта:

- шлях сталого руху кабіни ліфта при її підйомі:

$$L_2 = L_{y\Pi} = L_3 - (L_{P\Pi} + L_{Г\Pi}) = 70 - (0,5 + 1,5) = 68 \text{ м,}$$

- шлях сталого руху кабіни ліфта при її спуску:

$$L_5 = L_{yC} = L - (L_{PC} + L_{ГC}) = 70 - (0,5 + 1,5) = 68 \text{ м.}$$

Час сталого руху кабіни ліфта  $t_y$ :

$$t_{y\Pi,C} = \frac{L_{y\Pi,C}}{|V_{\Pi,C}|}, \quad (2.3)$$

де  $L_{yп,c}$  – шлях сталого руху при підйомі та спуску кабіни ліфта, м;

$|V_{п,c}|$  – швидкість руху при підйомі та спуску кабіни ліфта, м/с.

Знаходимо час сталого руху кабіни ліфта:

- час сталого руху кабіни ліфта при підйомі кабіни ліфта:

$$t_{yп} = \frac{L_{yп}}{V_{п}} = \frac{68}{1,0} = 68 \text{ с,}$$

- час сталого руху кабіни ліфта при спуску кабіни ліфта:

$$t_{yс} = \frac{L_{yс}}{V_{с}} = \frac{68}{1,0} = 68 \text{ с.}$$

За результатами розрахунків побудуємо тахограму швидкості руху кабіни вантажно-пасажирського ліфта.

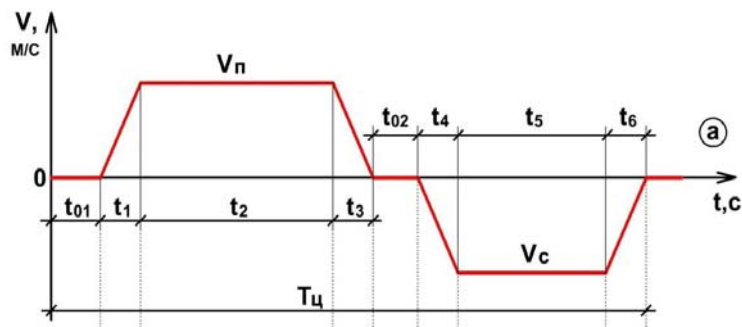


Рисунок 2.2 – Тахограма роботи приводу вантажно-пасажирського ліфта:

$V_{п}, V_{с}$  – швидкість руху кабіни при підйомі і спуску ліфта;

$t_{01}, t_{02}$  – час зупинки кабіни ліфта;  $t_1, t_2, t_3$  – час розгону, сталого руху і гальмування при підйомі кабіни ліфта;  $t_4, t_5, t_6$  – час розгону, сталого руху і гальмування при спуску кабіни ліфта;  $T_{ц}$  – час циклу роботи ліфта

## 2.4 Розрахунок кінематичної схеми приводу ліфта

Завдання розрахунку – визначення частоти обертання всіх обертаючих елементів, їхні моменти інерції та приведений момент інерції усіх елементів кінематичної схеми приводу кабіни ліфта (рис. 2.3).



## Визначення кутових швидкостей обертання шківів та натяжних блоків

Кутова швидкість обертання ведучого, відвідного та шківів блоку натягання розраховуються за формулою:

$$\omega = \frac{V}{R}, \quad (2.4)$$

де  $V$  – лінійна швидкість руху канату приводу кабіни, м/с;

$R$  – радіус канатоведучого шківа, м.

Тоді:

кутова швидкість обертання канатоведучого шківа:

$$\omega_{\text{КШ}} = \frac{V_{\text{К}}}{R_{\text{КШ}}} = \frac{V_{\text{К}}}{R_{\text{ВШ}}} = \frac{V_{\text{К}}}{R_{\text{НШ}}} = \frac{1,0}{0,25} = 4,0 \text{ рад/с},$$

де  $V_{\text{К}}$  – швидкість руху кабіни, м/с;

$R_{\text{КШ}}$  – радіус канатоведучого шківа, м,

кутова швидкість обертання шківа відвідного блоку 7:

$$\omega_{\text{БВ}} = \frac{V_{\text{К}}}{R_{\text{БВ}}} = \frac{1,0}{0,20} = 5,0 \text{ рад/с},$$

кутова швидкість обертання шківів 10, 11 блоку натягання:

$$\omega_{\text{БН}} = \frac{V_{\text{К}}}{R_{\text{БН}}} = \frac{1,0}{0,25} = 4,0 \text{ рад/с}.$$

Кутова швидкість обертання ротора двигуна:

$$\omega_{\text{ДВ}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = 157,0 \text{ рад/с,}$$

де  $n_0$  – синхронна частота обертання двигуна,  $n_0 = 1500$  об/хв.

Радіус приведення кінематичної схеми приводу ліфта  $\rho$  розраховується за формулою:

$$\rho = \frac{V_K}{\omega_{\text{ДВ}}}, \quad (2.5)$$

де  $V_K$  – лінійна швидкість руху канату кабіни ліфта, м/с;

$\omega_{\text{ДВ}}$  – кутова швидкість обертання ротора двигуна, рад/с.

Тоді:

$$\rho = \frac{V_K}{\omega_{\text{ДВ}}} = \frac{1,0}{157,0} = 0,00637 \text{ м/рад.}$$

Визначення передатних чисел між валом двигуна та всіх обертаючих елементів кінематичної схеми.

Загальне передатне число  $i_3$  між валом двигуна та валом канатоведучого шківів:

$$i_3 = \frac{\omega_{\text{ДВ}}}{\omega_{\text{КШ}}} = \frac{157,0}{4,0} = 39,2. \quad (2.6)$$

Передатне число між валом двигуна та відповідним блоком  $i_{\text{БВ}}$  складає:

$$i_{\text{БВ}} = \frac{\omega_{\text{ДВ}}}{\omega_{\text{БВ}}} = \frac{157,0}{5,0} = 31,4.$$

Передатне число між валом двигуна та натяжним блоком  $i_{\text{БН}}$  складає:

$$i_{\text{БН}} = \frac{\omega_{\text{ДВ}}}{\omega_{\text{БН}}} = \frac{157,0}{4,0} = 39,2.$$

Загальне передатне число кінематичної схеми ліфта  $i_3$  дорівнює:

$$i_3 = i_K \cdot i_P \cdot i_M, \quad (2.7)$$

де  $i_K$  – передатне число клинопасової передачі, (обирають  $i_K = 0,2 \dots 5$ );

$i_P$  – передатне число редуктора, обираємо  $i_P = 32,0$ ;

$i_M$  – передатне число муфти без ковзання,  $i_M = 1,0$ .

Тоді розрахуємо передатне число клинопасової передачі  $i_K$  дорівнює:

$$i_K = \frac{D_2}{D_1} = \frac{i_3}{i_P \cdot i_M} = \frac{39,2}{32,0 \cdot 1,0} = 1,23. \quad (2.8)$$

Обираємо діаметр ведучого шківa  $D_1 = 0,25$  м, тоді діаметр веденого шківa  $D_2$  дорівнює:

$$D_2 = D_1 \cdot i_K = 0,25 \cdot 1,23 = 0,31 \text{ м.}$$

Частота обертання вхідного вала редуктора  $n_1$  складає:

$$n_1 = \frac{n_0}{i_K} = \frac{1500}{1,23} = 1220 \text{ об/хв. .}$$

Загальний ККД приводу ліфта  $\eta_3$  складає:

$$\eta_3 = \eta_K \cdot \eta_P \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Pi}^m, \quad (2.9)$$

де  $\eta_K$  – ККД клинопасової передачі,  $\eta_K = 0,96$ ;

$\eta_P$  – ККД редуктора,  $\eta_P = 0,87$ ;

$\eta_M$  – ККД муфти з електромагнітним гальмом,  $\eta_M = 0,97$ ;

$\eta_{\Pi}$  – ККД пари підшипників кочення,  $\eta_{\Pi} = 0,99$ ;

$m$  – число пар підшипників,  $m = 4$  од.

Тоді:

$$\eta_3 = \eta_K \cdot \eta_P \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Pi}^m = 0,96 \cdot 0,87 \cdot 0,97 \cdot 0,99^4 = 0,78.$$

Визначення моментів інерції усіх обертальних частин приводу: ведучого, відвідного, шківів блоку натягання та ведучого і веденого шківів клинопасової передачі розраховують за формулою:

$$J = 0,125 \cdot m \cdot (D^2 - d^2)_{\text{кг} \cdot \text{м}^2}, \quad (2.10)$$

де  $m$  – маса шківa, кг;

$D, d$  – зовнішні і внутрішні діаметри шківa, м.

Тоді:

$$J_{D_1} = 0,125 \cdot m \cdot (D_1^2 - d_1^2) = 0,125 \cdot 5,0 \cdot (0,25_1^2 - 0,05_1^2) = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{D_2} = 0,125 \cdot m \cdot (D_2^2 - d_2^2) = 0,125 \cdot 6,0 \cdot (0,31_1^2 - 0,05_1^2) = 0,07 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{\text{КШ}} = 0,125 \cdot m \cdot (D_{\text{КШ}}^2 - d_1^2) = 0,125 \cdot 50 \cdot (0,5_1^2 - 0,05_1^2) = 1,56 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{\text{НШ}} = 0,125 \cdot m \cdot (D_{\text{НШ}}^2 - d_1^2) = 0,125 \cdot 40 \cdot (0,5_1^2 - 0,05_1^2) = 1,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведений момент інерції усіх обертальних частин приводу  $J_{\text{Проб}}$  розраховується за формулою:

$$J_{\text{Пр об}} = J_{\text{ДВ}} + J_1 + \frac{J_2}{i_2^2} + n \cdot \frac{J_3}{i_3^2} + \dots \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (2.11)$$

де  $J_{\text{ДВ}}$  – момент інерції ротора двигуна,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$J_1$  – момент інерції об'єкта, який обертається з кутовою швидкістю ротора двигуна,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$\frac{J_2}{i_2^2}$  – приведений момент інерції об'єкта, передатне число до котрого

складає  $i_2$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$n \cdot \frac{J_3}{i_3^2}$  – приведений момент інерції об'єкта, передатне число до котрого

складає  $i_3$ , а кількість об'єктів складає одиниць,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ .

Тоді приведений момент інерції усіх частин кінематичного ланцюга, що обертаються  $J_{\text{пр об}}$  дорівнює:

$$\begin{aligned} J_{\text{пр об}} &= J_{\text{дв}} + J_{D_1} + \frac{J_{D_2}}{i_2^2} + 2 \cdot \frac{J_{\text{кш}}}{i_3^2} + 2 \cdot \frac{J_{\text{нш}}}{i_3^2} = \\ &= 0,02 + 0,04 + \frac{0,07}{1,23^2} + 2 \cdot \frac{1,56}{39,2^2} + 2 \cdot \frac{1,25}{39,2^2} = 0,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \end{aligned}$$

Приведений момент інерції усіх частин приводу які рухаються поступово розраховується за формулою  $J_{\text{пр рп}}$ :

$$J_{\text{пр рп}} = m_1 \cdot \rho_1^2 + m_2 \cdot \rho_2^2 + \dots + m_k \rho_k^2, \quad (2.12)$$

де  $m_1, m_2, \dots, m_k$  – маса усіх частин приводу які рухаються поступово,  $\text{кг}$ ;

$\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k$  – радіус приведення кінематичної схеми до частини з масою  $m_1, m_2, \dots, m_k$ ,  $\text{м/рад}$ .

Як що у системи є дві маси: одна з них піднімається, а друга опускається, то приведений момент інерції розраховується за формулою  $J_{\text{пр рп}}$ :

$$J_{\text{пр рп}} = (m_{\text{п}} - m_{\text{с}}) \cdot \rho^2, \quad (2.13)$$

де  $m_{\text{п}}$  – маса що піднімається,  $\text{кг}$ ;

$m_{\text{с}}$  – маса що спускається,  $\text{кг}$ .

Загальний приведений момент інерції усіх частин приводу, що обертаються і які рухаються поступово  $J_{\text{пр з}}$  розраховується за формулою:

$$J_{\text{пр з}} = J_{\text{дв}} + J_1 + n \cdot \frac{J_2}{i_2^2} + (m_{\text{п}} - m_{\text{с}}) \cdot \rho^2, \quad (2.14)$$

або:

$$J_{\text{пр з}} = J_{\text{пр об}} + (m_{\text{п}} - m_{\text{с}}) \cdot \rho^2, \quad (2.15)$$

де  $J_{\text{пр об}}$  - приведений момент інерції усіх частин кінематичного ланцюга, що обертаються,  $J_{\text{пр об}} = 0,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$\rho$  – радіус приведення кінематичного ланцюга,  $\rho = 0,00637$  м/рад;

$m_{\Pi}$  – маса що піднімається, кг;

$m_{\Sigma}$  – маса що спускається, кг.

Загальний приведений момент інерції усіх частин приводу ліфта, що обертаються і які рухаються поступово під час підйому кабіни  $J_{\text{ПР ЗП}}$  розраховується за формулою:

$$J_{\text{ПР ЗП}} = J_{\text{ПР ОБ}} + (m_{\Pi} - m_{\Sigma}) \cdot \rho^2, \quad (2.16)$$

де  $m_{\Pi}$  - маса що піднімається,  $m_{\Pi} = m_{\text{К}} + m_{\text{В}} = 470 + 500 = 970$  кг;

$m_{\Sigma}$  - маса що спускається,  $m_{\Sigma} = 720$  кг.

$$J_{\text{ПР ЗП}} = 0,15 + (970 - 720) \cdot 0,00637^2 = 0,16 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Загальний приведений момент інерції усіх частин приводу ліфта, що обертаються і які рухаються поступово під час спуску кабіни  $J_{\text{ПР ЗС}}$  розраховується за формулою:

$$J_{\text{ПР ЗС}} = J_{\text{ПР ОБ}} + (m_{\Pi} - m_{\Sigma}) \cdot \rho^2, \quad (2.17)$$

де  $m_{\Pi}$  - маса що піднімається,  $m_{\Pi} = m_{\text{ПВ}} = 720$  кг;

$m_{\Sigma}$  - маса що спускається,  $m_{\Sigma} = m_{\text{К}} + m_{\text{В}} = 470 + 500 = 970$  кг.

$$J_{\text{ПР ЗС}} = 0,15 + (720 - 970) \cdot 0,00637^2 = 0,14 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

## 2.5 Діаграми статичних моментів навантаження електроприводу ліфта

Розрахунки проводимо для випадку, коли сумарна маса кабіни з вантажем  $m_{\text{КВ}}$  більше, ніж маса противаги  $m_{\text{ПВ}}$ :

$$\begin{aligned} m_{\text{КВ}} &= (m_{\text{К}} + m_{\text{В}}) > m_{\text{ПВ}} = (m_{\text{К}} + 0,5 \cdot m_{\text{В}}) = \\ &= (470 + 500) = 970 \text{ кг} > (470 + 0,5 \cdot 500) = 720 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Розрахуємо статичний момент на валу ведучого шківів під час підйому навантаженої кабіни  $m_{\text{КВ}}$  і спуску противаги  $m_{\text{ПВ}}$ :

$$M_{\text{СП}} = F \cdot R_{\text{КШ}} = m \cdot g \cdot R_{\text{КШ}} = ((m_{\text{К}} + m_{\text{В}}) - m_{\text{П}}) \cdot g \cdot R_{\text{КШ}}, \quad \text{Н} \cdot \text{м}. \quad (2.14)$$

Тоді:

$$\begin{aligned} M_{\text{СП}} &= ((m_{\text{К}} + m_{\text{В}}) - m_{\text{П}}) \cdot g \cdot R_{\text{КШ}} = \\ &= ((470 + 500) - 720) \cdot 9,81 \cdot 0,25 = 613 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

**Асинхронна машина електроприводу ліфта під час підйому кабіни працює в режимі двигуна  $M_{СП} > 0$ , як що маса навантаженої кабіни більш, ніж маса противаги, яка в цей час спускається.**

Статичний момент на валу ведучого шківів під час спуску навантаженої кабіни  $m_{КВ}$  і підйому противаги  $m_{ПВ}$ :

$$M_{СС} = F \cdot R_{КШ} = m \cdot g \cdot R_{КШ} = (m_{П} - (m_{К} + m_{В})) \cdot g \cdot R_{КШ}, \quad \text{Н} \cdot \text{м}.$$

Тоді:

$$\begin{aligned} M_{СС} &= (m_{П} - (m_{К} + m_{В})) \cdot g \cdot R_{КШ} = \\ &= (720 - (470 + 500)) \cdot 9,81 \cdot 0,25 = -613 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

**Асинхронна машина електроприводу ліфта під час спуску кабіни працює в режимі генератор  $M_{СС} < 0$ , як що маса навантаженої кабіни більш, ніж маса противаги, яка в цей час піднімається.**

Приведений статичний момент на валу двигуна електроприводу  $M_{СП\text{ пр}}$  під час його роботи у режимі двигуна  $M_{СП} > 0$ , складає:

$$M_{СП\text{ пр}} = \frac{M_{СП}}{i_3 \cdot \eta_3}, \quad (2.15)$$

де  $M_{СП}$  - статичний момент на валу ведучого шківів під час підйому навантаженої кабіни,  $M_{СП} = 613 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;

$i_3$  - загальне передатне число приводу кінематичного ланцюга,  $i_3 = 39,2$ ;

$\eta_3$  - загальний ККД приводу кінематичного ланцюга ліфта,  $\eta_3 = 0,78$ .

Тоді:

$$M_{СП\text{ пр}} = \frac{M_{СП}}{i_3 \cdot \eta_3} = \frac{613}{39,2 \cdot 0,78} = 20,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приведений статичний момент на валу двигуна електроприводу  $M_{СС\text{ пр}}$  під час його роботи у режимі двигуна  $M_{СС} < 0$ , складає:

$$M_{СС\text{ пр}} = \frac{M_{СС} \cdot \eta_3}{i_3}, \quad (2.15)$$

де  $M_{СС}$  - статичний момент на валу ведучого шківів під час спуску навантаженої кабіни,  $M_{СС} = -613 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;

$i_3$  - загальне передатне число приводу кінематичного ланцюга,  $i_3 = 39,2$ ;

$\eta_3$  - загальний ККД приводу кінематичного ланцюга ліфта,  $\eta_3 = 0,78$ .

Тоді:

$$M_{\text{СС ПР}} = \frac{M_{\text{СС}} \cdot \eta_3}{i_3} = \frac{-613 \cdot 0,78}{39,2} = -12,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамічний приведений динамічний момент на валу двигуна під час розгону при підйомі навантаженої кабіни  $M_{\text{ДПР РП}}$  складає:

$$M_{\text{ДПР РП}} = J_{\text{ПР ЗРП}} \cdot \frac{a_{\text{Р}}}{\rho} = 0,16 \cdot \frac{1,0}{0,00637} = 25,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамічний приведений динамічний момент на валу двигуна під час гальмування при підйомі навантаженої кабіни  $M_{\text{ДПР ГП}}$  складає:

$$M_{\text{ДПР ГП}} = J_{\text{ПР ЗГП}} \cdot \frac{a_{\text{Г}}}{\rho} = 0,16 \cdot \frac{-1,0}{0,00637} = -25,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамічний приведений момент на валу двигуна під час розгону при спуску навантаженої кабіни  $M_{\text{ДПР РС}}$  складає:

$$M_{\text{ДПР РС}} = J_{\text{ПР ЗРС}} \cdot \frac{a_{\text{Р}}}{\rho} = 0,14 \cdot \frac{-1,0}{0,00637} = -22,0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамічний приведений момент на валу двигуна під час гальмування при спуску навантаженої кабіни  $M_{\text{ДПР ГС}}$  складає:

$$M_{\text{ДПР ГС}} = J_{\text{ПР ЗГС}} \cdot \frac{a_{\text{Г}}}{\rho} = 0,14 \cdot \frac{1,0}{0,00637} = 22,0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Навантаження на валу двигуна на різних ділянках під час підйому кабіни:

$$t_{01} = 50 \text{ с}: M_{01} = 0.$$

$$t_1 = 1,0 \text{ с}: M_1 = M_{\text{СП ПР}} + M_{\text{ДП РП}} = 20,1 + 25,1 = 45,2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$t_2 = 38,0 \text{ с}: M_2 = M_{\text{СП ПР}} = 20,1 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$t_3 = 1,0 \text{ с}: M_3 = M_{\text{СП ПР}} - M_{\text{ДП ГР}} = 20,1 - 25,1 = -5,0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Навантаження на валу двигуна для різних ділянок часу спуску кабіни:

$$t_{02} = 50 \text{ с}: M_{02} = 0.$$

$$t_4 = 1,0 \text{ с}: M_4 = M_{\text{СС ПР}} + M_{\text{ДС РС}} = -12,2 - 22,0 = -34,2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$t_5 = 38,0 \text{ с}: M_5 = M_{\text{СС ПР}} = -12,2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$t_6 = 1,0 \text{ с}: M_6 = M_{\text{СС ПР}} - M_{\text{ДС ГС}} = -12,2 + 22,0 = 9,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

На рис. 2.2. приведені тахограма руху навантаженої кабіни ліфта, діаграми статичного, динамічного і загального моментів навантаження електроприводу кабіни ліфта.

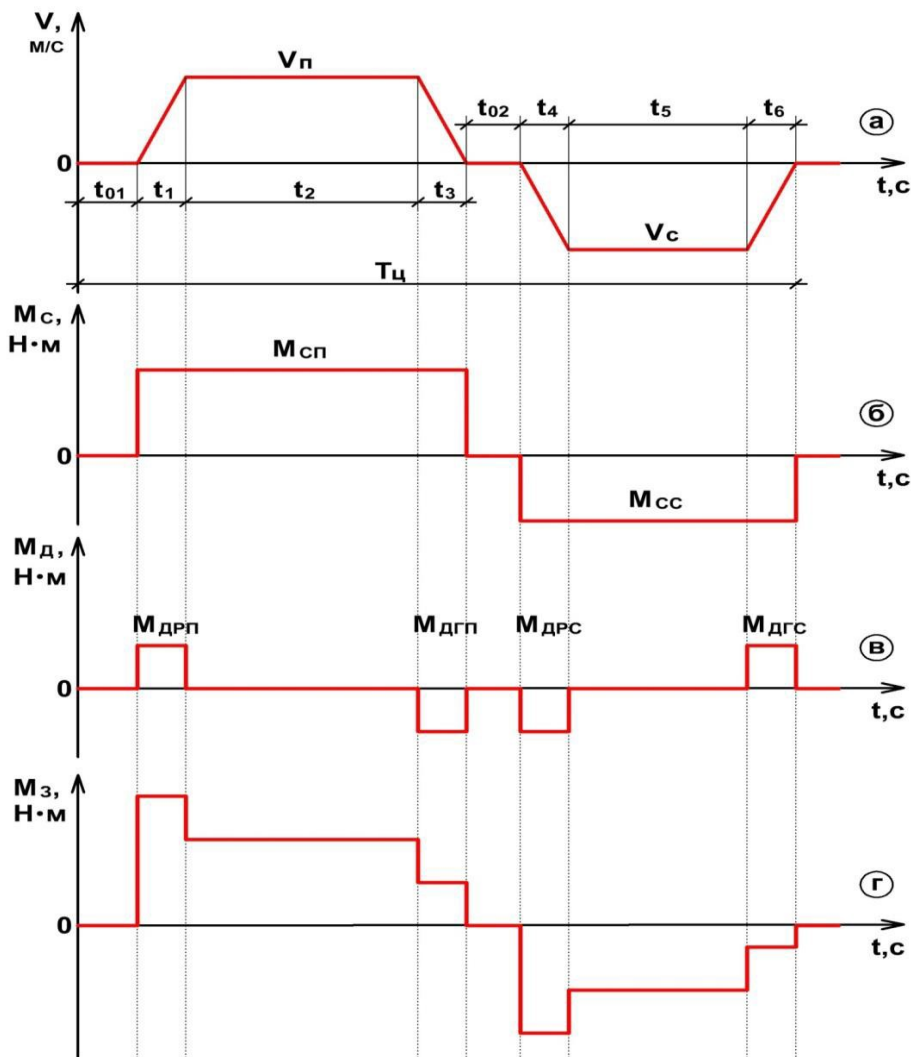


Рисунок 2.2 – Діаграми роботи приводу ліфта у випадку, коли маса кабіни з вантажем більше, ніж маса протизваги  $[(m_K + m_B) > m_{II}]$ :

а – швидкість руху кабіни ліфта, б – статичний момент навантаження на валу ведучого шківу приводу кабіни ліфта; в – динамічний момент навантаження на валу ведучого шківу приводу кабіни ліфта; г – загальний момент навантаження на валу ведучого шківу приводу кабіни ліфта;  $t_{01}, t_{02}$  – час зупинки кабіни ліфта;  $t_1, t_2, t_3$  – час розгону, сталого руху і гальмування при підйомі кабіни ліфта;  $t_4, t_5, t_6$  – час розгону, сталого руху і гальмування при спуску кабіни ліфта;

$T_{ц}$  – час циклу роботи ліфта;  $V_{п}, V_{c}$  – швидкість руху при підйомі і спуску кабіни ліфта;  $M_{сп}, M_{сс}$  – статичний момент навантаження при підйомі і спуску кабіни;

$M_{дрп}, M_{д}$  – динамічний момент навантаження при розгоні і гальмуванні кабіни при підйомі і спуску кабіни;  $M_{з}$  – загальний момент навантаження.

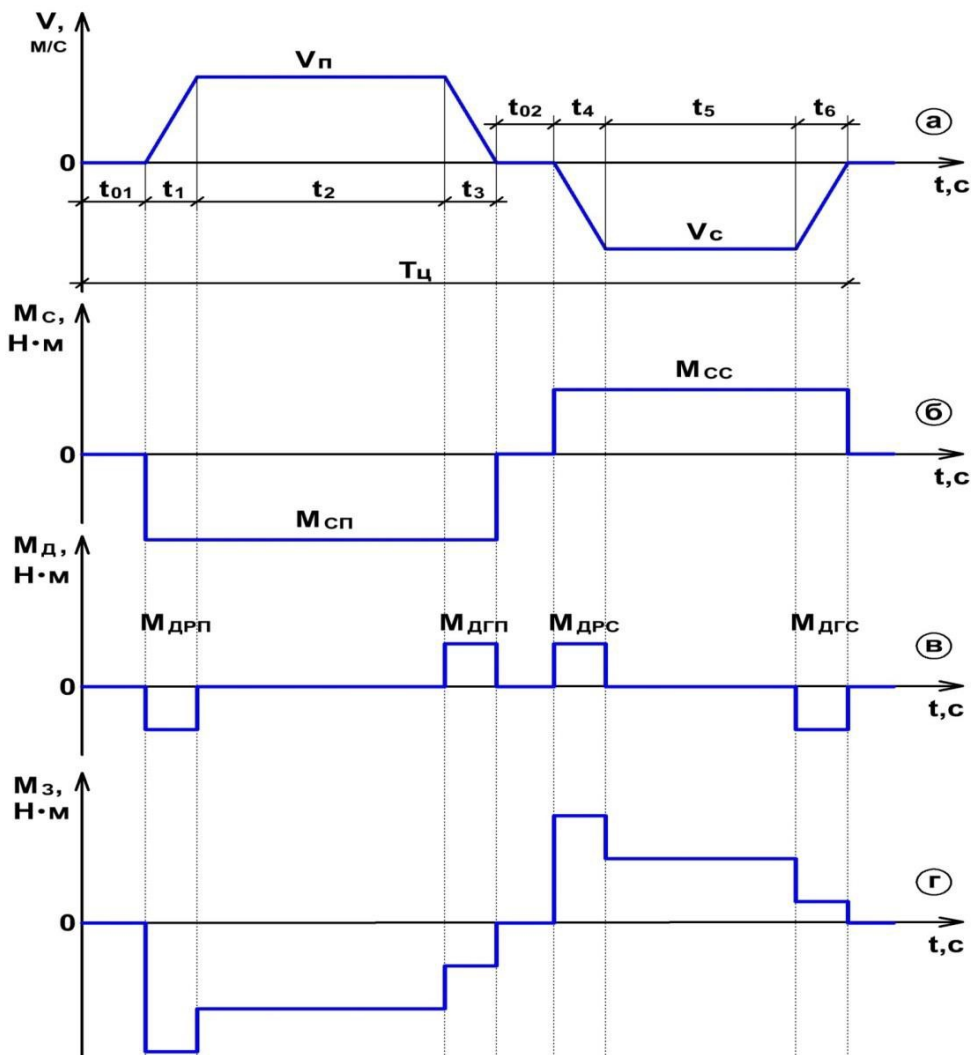


Рисунок 2.3 – Діаграми роботи приводу ліфта у випадку, коли маса кабіни з вантажем менше, ніж маса противаги  $[(m_K + m_B) < m_{II}]$ :

а – швидкість руху кабіни ліфта, б – статичний момент навантаження на валу ведучого шківів приводу кабіни ліфта; в – динамічний момент навантаження на валу ведучого шківів приводу кабіни ліфта; г – загальний момент навантаження на валу ведучого шківів приводу кабіни ліфта;  $t_{01}, t_{02}$  – час зупинки кабіни ліфта;  $t_1, t_2, t_3$  – час розгону, сталого руху і гальмування при підйомі кабіни ліфта;  $t_4, t_5, t_6$  – час розгону, сталого руху і гальмування при спуску кабіни ліфта;

$T_{II}$  – час циклу роботи ліфта;  $V_{II}, V_C$  – швидкість руху при підйомі і спуску кабіни ліфта;  $M_{Cп}, M_{Cс}$  – статичний момент навантаження при підйомі і спуску кабіни;

$M_{дрп}, M_D$  – динамічний момент навантаження при розгоні і гальмуванні кабіни при підйомі і спуску кабіни;  $M_з$  – загальний момент навантаження.

## 2.6 Розрахунок потужності двигуна електроприводу ліфта

### Визначимо режим роботи двигуна електроприводу ліфта.

Час роботи двигуна електроприводу ліфта:

$$\sum t_p = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 = 1 + 38 + 1 + 1 + 38 + 1 = 80 \text{ с.}$$

Час зупинок двигуна електроприводу ліфта:

$$\sum t_0 = t_{01} + t_{02} = 50 + 50 = 100 \text{ с;}$$

Тривалість часу включення двигуна електроприводу ліфта:

$$TB_p = \frac{\sum t_p}{T_{ц}} \cdot 100 = \frac{80}{180} \cdot 100 = 44,5 \%. \quad (2.9)$$

Як що  $15\% \leq TB_p = 44,5\% \leq 60\%$  тоді режим роботи двигуна ліфта:

S3 – повторно – короткочасний.

### Еквівалентний момент навантаження та потужність двигуна

Для режиму роботи електроприводу S3 – повторно – короткочасний, час зупинок двигуна електроприводу ( $\sum t_0 = 100 \text{ с}$ ) для розрахунку його потужності не враховують.

Еквівалентний момент навантаження двигуна дорівнює:

$$M_E = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 \cdot t_{pi}}{\sum t_{pi}}} \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.10)$$

де  $\sum M_i^2 \cdot t_{pi} = M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3 + M_4^2 \cdot t_4 + M_5^2 \cdot t_5 + M_6^2 \cdot t_6 =$   
 $= 45,2^2 \cdot 1,0 + 20,1^2 \cdot 38 + 1,0 + (-5,0)^2 \cdot 1,0 + (-34,2)^2 \cdot 38 + (-12,2)^2 \cdot 1,0 =$   
 $65256 \text{ Н} \cdot \text{м};$

$$\sum t_{pi} - \sum t_p = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 = 80 \text{ с.}$$

Тоді:

$$M_E = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 \cdot t_{pi}}{\sum t_{pi}}} = \sqrt{\frac{65256}{80}} = 28,6 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Еквівалентна потужність навантаження двигуна дорівнює:

$$P_E = \frac{M_E \cdot \omega_{ДВ}}{1000} = \frac{28,6 \cdot 157}{1000} = 4,49 \text{ кВт.}$$

Номінальна потужність двигуна дорівнює:

$$P_{\text{НОМ}} \geq P_{\text{P}} = \sqrt{\frac{TB_{\text{P}}}{TB_{\text{НОМ}}}} \cdot P_{\text{E}} = \sqrt{\frac{44,4}{60}} \cdot 4,49 = 3,19 \text{ кВт.} \quad (2.11)$$

Обираємо трифазний двигун асинхронний двигун з короткозамкненим ротором серії 4А типу 4А100L4У3 (см. табл. 2.1).

Таблиця 2.1 Технічна характеристика двигуна 4А100L4У3

| Р <sub>НОМ</sub> , кВт | n <sub>НОМ</sub> , об/хв. | η <sub>НОМ</sub> , % | cosφ <sub>НОМ</sub> | К <sub>П</sub> | К <sub>М</sub> | К <sub>Г</sub> | J <sub>ДВ</sub> , кг·м <sup>2</sup> | Рівень шуму, дБ | Маса, кг |
|------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|-----------------|----------|
| 4,0                    | 1435                      | 84,0                 | 0,83                | 1,8            | 2,1            | 6,0            | 0,04                                | 76              | 28       |

Розшифрування маркування електродвигуна

4А100L4У3: 4 – номер серії;

А – асинхронний;

100 – висота вісі обертання вала, мм;

L – довжина корпусу за установлювальними розмірами (L - довга); 4 - число магнітних полюсів статора: 2 пари полюсів;

У – кліматичне виконання: клімат помірний;

3 – категорія розташування двигуна: у закритих приміщеннях.

Даний двигун має степінь захисту від навколишнього середовища IP44 (розшифровується: захищений, 44 – закритого виконання) з такими технічними даними.

Двигун кліматичного виконання і категорії розташування виконаний за ГОСТ 15150-69.

## 2.7 Розрахунок і вибір апаратури управління і захисту двигуна

За формулою [4] визначаємо номінальні струми I<sub>НОМ</sub> двигуна:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}} \cdot 10^3 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{НОМ}}} \text{ А,} \quad (2.12)$$

де  $P_{\text{НОМ}}$ ,  $U_{\text{НОМ}}$ ,  $\cos\varphi_{\text{НОМ}}$ ,  $\eta_{\text{НОМ}}$  – номінальні значення параметрів двигунів за їх технічними характеристиками (табл. 8.1):

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}} \cdot 10^3 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{НОМ}}} = \frac{4,0 \cdot 10^3 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 84,0} = 8,7 \text{ А.}$$

Розраховані значення струмів зводимо в таблицю 8.2.

Вибираємо типи і розміри магнітних пускатів для вмикання двигунів приводу. Магнітні пускаті вибираємо з серії ПМЛ на 380 В 50 Гц з напругою котушки управління  $U_k = 36 \text{ В}$  50 Гц. Величину магнітного пускатя визначаємо з умови [2, с. 145]:

$$I_{\text{НМП}} \geq I_{\text{НОМ}},$$

де  $I_{\text{НОММП}}$  – номінальний струм головних контактів магнітного пускатя, А.

Для захисту двигунів від струмів довготривалого перевантаження вибираємо реле електрострумове теплове серії РТЛ, яке призначене для роботи у комплекті з магнітним пускатем серії ПМЛ з умови [2, с. 150]:

$$I_{\text{ТР min}} \leq I_{\text{НОМ}} \leq I_{\text{ТР max}},$$

де  $I_{\text{ТР min}}$ ,  $I_{\text{ТР max}}$  – мінімальний і максимальний струм спрацьовування теплового реле (регулюється), А.

Таблиця 2.2. Комутуючі і захисні апарати двигунів

| Двигун     |                        |                      | Магнітний пускат |          |                      | Теплове реле |          |  |
|------------|------------------------|----------------------|------------------|----------|----------------------|--------------|----------|--|
| Позначення | $P_{\text{НОМ}}$ , кВт | $I_{\text{НОМ}}$ , А | Позначення       | Тип      | $I_{\text{НМП}}$ , А | Позначення   | Тип      | $I_{\text{ТР min}}$ ,<br>$I_{\text{ТР max}}$ , А |
| М1         | 4,0                    | 8,7                  | КМ1              | ПМЛ-1100 | 10                   | КК1          | РТЛ-1012 | 6,5 9,0  |

Визначаємо загальний струм електропривода установки:

$$I_0 = \sum I_{\text{НОМ}} = I_{\text{НОМ}} = 8,7 \text{ А.}$$

Для захисту приводу машини від струмів короткого замикання та довготривалих струмів перевантаження вибираємо автоматичний вимикач з серії АЕ20 на 380 В 50 Гц з умови [2, с. 142]:

$$\text{струм спрацьовування вимикача} \quad I_{\text{СПВМ}} \geq I_{\text{НОМ}} = 8,7 \text{ А,}$$

$$\text{номінальний струм вимикача} \quad I_{\text{НВМ}} \geq 1,25 \cdot I_0 = 1,25 \cdot 8,7 = 10,9 \text{ А.}$$

Таблиця 2.3. Технічні дані автоматичного вимикача

| Позначення | Тип вимикача | Струм<br>спрацьовування,<br>$I_{\text{сп вм}}, \text{ А}$ | Номінальний<br>струм вимикача<br>$I_{\text{н вм}}, \text{ А}$ |
|------------|--------------|---|---|
| QF1        | AE2020 – 10H | 12  | 16  |

### 2.8 Розрахунок жил лінії живлення електроприводу ліфта

Для живлення машини використовують алюмінієві або мідні проводи з полівініловою ізоляцією. Проводи прокладають в одній трубі. Перетин жил проводів вибирають з умови їх допустимого нагріву ( $t_{\text{доп.}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$ ). За значенням загального струму приводу машини  $\cdot I_0 = 8,7 \text{ А}$  для проводів з мідними жилами вибираємо з таблиці [2, с. 150]:

діаметр труби  $D = 15 \text{ мм}$ ;

перетин жил проводу  $S = 2,5 \text{ мм}^2$ .

Розрахуємо втрату напруги в провадах живлення електроприводу:

$$U_p = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{380} \cdot (R_0 \cdot \cos\varphi + X_0 \cdot \sin\varphi) \cdot I_p \cdot L =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{380} \cdot (6 \cdot 0,83 + 0,3 \cdot 0,56) \cdot 8,7 \cdot 0,04 = 1,2\%, \quad (2.13)$$

де  $R_0$  - активний опір 1 км кабелю, перетином  $S \text{ мм}^2$  з питомим опором для міді:

$$R_0 = \rho_M \cdot \frac{1000}{S} = 0,018 \cdot \frac{1000}{2,5} = 6 \text{ Ом/км},$$

$$\rho_M = 0,018 \frac{\text{Ом}}{\text{мм}^2 \cdot \text{м}};$$

$X_0$  – індуктивний опір 1 км кабелю:

$$X_0 = 0,3 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \text{ при } U_{\text{ном}} \leq 1000 \text{ В};$$

$L$  – довжина кабелю,  $L = 0,04 \text{ км}$ ;

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi} = \sqrt{1 - 0,83^2} = 0,56.$$

Перевіряємо вибраний перетин проводів на допустиму втрату напруги в них:

$$U_p = 1,2\% \leq U_{\text{д}} = 5\%,$$

тобто вибраний перетин жил проводів кабелю живлення електропривода ліфта відповідає вимогам втрати напруги у них та забезпечить нормальну роботу електрообладнання машини.

## 2.9 Вибір перетворювача частоти для електроприводу ліфта

Вимоги швидкості руху кабіни ліфта у діапазоні 1,0...1,5 м/с з точністю 15% та прискорення і уповільнення у діапазоні 1,0...1,5 м/с<sup>2</sup> з точністю 10% у відповідності із технічним завданням, будемо використовувати частотний електропривод системи ПЧ-АД без використання його внутрішнього регулятора, тобто без зворотного зв'язка.

ПЧ для асинхронних двигунів забезпечують роботу електроприводу з коефіцієнтом потужності більше 0,95 ( $\cos\varphi_{\text{кном}} \geq 0,095$ ), отже, у випадку застосування ПЧ, індивідуальної установки для компенсації реактивної потужності двигуна не вимагається.

Особливе місце у системі управління електроприводами змінного струму займають перетворювачі частоти, які дозволяють плавно регулювати швидкість обертання ротора двигуна. Повільний розгін двигуна і відсутність пускових струмів дозволяє використовувати їх у складі приводів з підвищеними вимогами до динаміки і перевантаження, наприклад, для ліфтів та підйомників, сепараторів, гомогенізаторів, пакувальних машин. Перетворювачі частоти здійснюють функцію енергозбереження, так як забезпечують роботу системи електроприводу ПЧ-АД з максимальними значеннями ККД та коефіцієнта потужності двигуна при значних змінах навантаження. Перетворювачі захищають двигуни від струмів короткого замикання і перевантаження, обриву і перекосу фаз, мають вбудований ПД-регулятор і легко інтегруються в будь-яку систему автоматичного управління за допомогою вбудованих в них інтерфейсів RS-232/RS-485.

Крім того, випускаються компактні модулі, які складаються з асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором і перетворювача частоти, що полегшує їх інтеграцію у приводах.

Перетворювачі частоти представляють собою перетворювачі електричної

енергії. Існують два основних типи перетворювачів частоти: з безпосереднім зв'язком і з проміжним контуром постійного струму.

У перетворювачах частоти з безпосереднім зв'язком вихідна напруга синусоїдальної форми формується з ділянок синусоїд вхідної напруги. При цьому максимальне значення вихідної частоти принципово не може дорівнювати частоті живлячої мережі. Частота на виході перетворювача цього типу звичайно лежить у діапазоні від 0 до 25...33 Гц. Перетворювачі частоти цього типу не отримали великого розповсюдження.

Але найбільше розповсюдження отримали перетворювачі частоти з проміжним контуром постійного струму (рис. 2.4), які виконані на базі інверторів напруги.

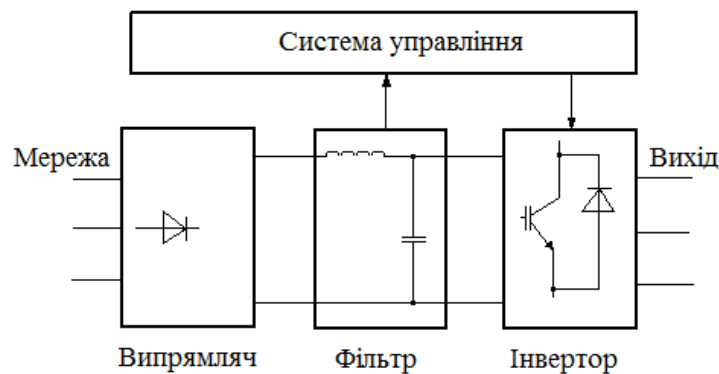


Рисунок 2.4 – Функціональна схема перетворювача частоти (ПЧ) з проміжним контуром постійного струму

Змінна напруга мережі перетворюється у постійну напругу за допомогою випрямляча і згладжується у проміжному колі індуктивно-ємнісним фільтром. Інвертор, вихідний каскад котрого звичайно виконується на основі IGBT-модулів, здійснює зворотне перетворення з постійного струму у змінний, забезпечуючи формування вихідного сигналу з необхідними значеннями напруги і частоти. Найбільш часто в інверторах застосовується метод високочастотної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). В цьому випадку вихідний сигнал перетворювача представляє собою послідовність імпульсів напруги постійної амплітуди і змінної тривалості, котра на індуктивному навантаженні, якою є обмотка статора, формує струми синусоїдальної форми (рис. 2.5). Можливий діапазон регулювання частоти

від нуля до декількох тисяч герц.

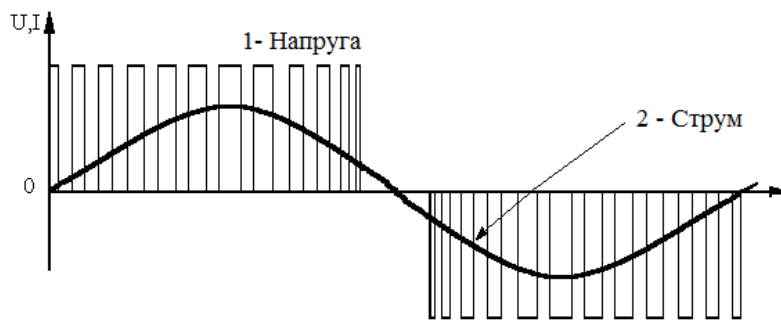


Рисунок 2.5 – Вихідні сигнали перетворювача частоти:

1 – напруги, 2 – струму

Типи навантажень. Вимоги до електроприводу визначаються діапазоном швидкостей, які вимагаються та типом навантаження. Залежність між швидкістю обертання і моментом опору неоднакова для навантажень різного типу. Багато навантажень можуть розглядатися як такі, які мають постійний момент у всьому діапазоні зміни швидкості. До них відносяться, конвеєри, компресори і поршневі насоси.

Деякі види навантаження мають змінну механічну характеристику, для котрої момент навантаження зростає зі збільшенням швидкості обертання. Типовим прикладом пристроїв з таким навантаженням є відцентрові насоси і вентилятори, чия механічна характеристика записується рівнянням квадратичної параболи, а значить, потужність, яка споживається, пропорційна кубу швидкості обертання. Із цього слід, що навіть невелике зниження швидкості електроприводу може дати значний вигреш у потужності - ось чому економія електроенергії є головною перевагою використання керованого електроприводу для насосів і вентиляторів. Теоретично зниження швидкості на 10% дає 30% економії потужності, яку споживають.

Режими управління електродвигуном.

У залежності від характеру навантаження перетворювач частоти забезпечує різні режими управління електродвигуном, реалізуючи ту або іншу залежність між

швидкістю обертання електродвигуна і вихідною напругою.

Для кращого використання АД і отримання високих енергетичних показників його роботи – коефіцієнта потужності, коефіцієнта корисної дії, перевантажувальної здатності – одночасно зі зміною частоти живлячої напруги необхідно змінювати і значення величини цієї напруги. Закон співвідношення зміни напруги і частоти при цьому залежить від характеру моменту навантаження. При виборі співвідношення між частотою і напругою, які підводяться до статора АД, часто виходять із умови зберігання їх перевантажувальної здатності, яка визначається відношенням критичного моменту двигуна  $M_{кр}$  до моменту навантаження  $M_C$ :

$$\lambda = \frac{M_{кр}}{M_C} = const. \quad (2.14)$$

Якщо знехтувати активним опором обмоток статора, то

$$\lambda = \frac{A \cdot U^2}{f^2 \cdot M_C} = const, \quad (2.16)$$

де  $A$  – постійна, яка не залежить від  $f$ .

Із цього виходить, що для любых двох значень частоти  $f_1$  і  $f_2$  буде зберігатися співвідношення:

$$\frac{U_1^2}{f_1^2 \cdot M_{C1}} = \frac{U_2^2}{f_2^2 \cdot M_{C2}}, \quad (2.17)$$

де  $M_{C1}, M_{C2}$  - моменти навантаження при швидкостях  $\omega_1$  і  $\omega_2$  АД, відповідних частотам  $f_1$  і  $f_2$ .

Звідти виникає основний закон зміни напруги при частотному способі регулювання швидкості АД:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{f_1}{f_2} \cdot \sqrt{\frac{M_{C1}}{M_{C2}}}. \quad (2.18)$$

Із цього виразу отримані закони співвідношення зміни напруги і частоти при різних залежностях моменту навантаження  $M_C$  від швидкості.

1. Закон управління ПЧ з постійним моментом навантаження  $M_C = const$

отримаємо якщо:

$$\frac{U}{f} = const, \quad (2.19)$$

напруга на статорі буде змінюватися пропорційно його частоті.

При частоті живлячої напруги нижче номінальної ( $f < f_{НОМ}$ ) критичний момент АД постійний  $M_{кр} = const$ , це забезпечує незмінну перевантажувальну здатність двигуна. При частотах вище номінальної ( $f > f_{НОМ}$ , коли за технічними умовами напруга на статорі не може бути підвищена зверх номінальної  $U_{НОМ}$ , критичний момент АД знижується.

2. Закон управління ПЧ з постійною потужністю навантаження, тобто момент навантаження двигуна змінюється обернено пропорційно швидкості обертання його ротора  $M_C = k/\omega$ , співвідношення запишеться у вигляді:

$$\frac{U}{\sqrt{f}} = const. \quad (2.20)$$

Співвідношення (2) приводить до сталості потужності двигуна при зміні швидкості обертання його ротора:

$$P_C = M_C \cdot \omega = const. \quad (2.21)$$

3. Закон управління ПЧ для вентиляторного характеру зміни моменту навантаження  $M_C = k\omega^2$  співвідношення має вигляд:

$$\frac{U}{f^2} = const, \quad (2.22)$$

Співвідношення (3) справедливо при умові, що потужність навантаження не перевищує номінальної потужності двигуна:

$$P_C < P_{НОМ}$$

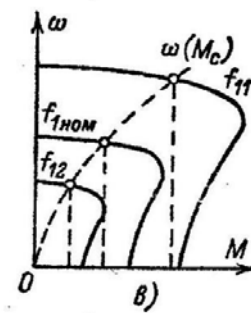
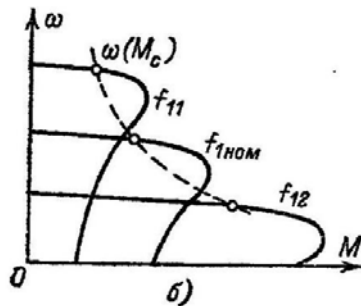
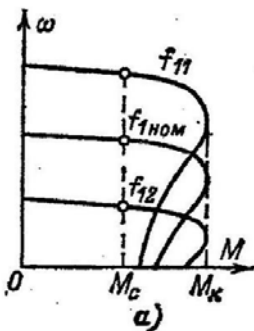


Рисунок 2.6 - Механічні характеристики частотного електроприводу системи ПЧ-АД з різними законами керування та співвідношення напруги і частоти для них при регулюванні швидкості обертання ротора АД:

*a* – з постійним моментом навантаження:

$$M_C = \text{const при } \frac{U}{f} = \text{const};$$

*б* - з постійною потужністю навантаження:

$$P_C = M_C \cdot \omega = \text{const при } \frac{U}{\sqrt{f}} = \text{const};$$

*в* – для вентиляторного характеру зміни моменту навантаження

$$M_C = k \cdot \omega^2 \text{ при } \frac{U}{f^2} = \text{const}.$$

Режим з постійною потужністю навантаження двигуна  $P_C = M_C \cdot \omega = \text{const}$  забезпечує роботу електроприводу системи ПЧ-АД як  $\omega = P_C/M_C$  автоматичного редуктора, який змінює частоту обертання ротора  $\omega$  при зміні моменту навантаження  $M_C$  у діапазоні допустимої потужності двигуна  $P_C$ .

Режим з лінійною залежністю між напругою і частотою  $\frac{U}{f} = \text{const}$  реалізується простішими перетворювачами частоти для забезпечення постійного моменту навантаження і використовується для управління синхронними двигунами або двигунами, підключеними паралельно. Разом з тим при зменшенні частоти, починаючи з деякого значення, максимальний момент двигуна починає падати. Для підвищення моменту на низьких частотах у перетворювачах частоти передбачається функція підвищення початкового значення вихідної напруги, котра використовується для компенсації падіння моменту для навантажень з постійним моментом або збільшення початкового моменту для навантажень з високим пусковим моментом, таких, наприклад, як ліфт або промисловий міксер.

Для регулювання електроприводів насосів і вентиляторів використовується квадратична залежність напруги і частоти  $\frac{U}{f^2} = \text{const}$ .

Цей режим, також як попередній, можна використовувати для управління паралельно підключеними двигунами.

## Способи гальмування електродвигуна.

Для того щоб швидко зупинити або сповільнити швидкість механізму, який приводиться у обертання електродвигуном, поряд із механічними застосовують і електричні способи гальмування. Суть електричних способів гальмування складається в тому, що електрична машина в цей період із двигунного режиму переводиться у генераторний, отже, створює електромагнітний момент, направлений проти руху.

Самий простий спосіб зупинки - це вибіг двигуна. Двигун відключається від живильної мережі і зупиняється за інерцією. При цьому час до повної зупинки не регулюється і визначається інерційними властивостями двигуна та його навантаження.

Регулюючий час гальмування забезпечує генераторний спосіб, який полягає у тому, що перетворювач з необхідною швидкістю зменшує вихідну частоту до необхідного значення. При цьому двигун перетворюється у генератор, перетворюючи кінетичну енергію обертання в електричну. У залежності від типу випрямляючого пристрою енергія повертається у первинну мережу або накопичується в контурі постійного струму перетворювача частоти. У другому випадку і у випадку навантаження з великим моментом інерції для розсіювання енергії може знадобитися застосування зовнішнього резистору гальмування, підключення котрого при виникненні небезпечної перенапруги у проміжному контурі перетворювача здійснює спеціальна контролююча схема. Таким чином, перевагою генераторного гальмування є передбачений час і плавність зупинки, високий гальмовий момент. Недолік полягає в тому, що енергія виділяється у перетворювачі, і у випадку швидкої зупинки або великого моменту інерції навантаження, для уникнення перегрівання вбудованого резистора контуру постійного струму перетворювача необхідно використання зовнішнього опору. Для того щоб здійснити гальмування постійним струмом, або, іншими словами динамічне гальмування, із обмотки статора двигуна знімаємо змінну напругу та на одну або дві фази подаємо постійну напругу. При цьому магнітне поле буде викликати спочатку сповільнення, а потім і утримання ротора у нерухомому стані.

Перевагою динамічного гальмування є виділення електричної енергії в роторі двигуна, що робить непотрібним використання гальмового опору і плавну зупинку. Але оскільки вихідна частота перетворювачем не контролюється, то час гальмування стає величиною невизначеною. Ефективність гальмування в цьому випадку у порівнянні з генераторним методом складає 30...40%. При комбінованому способі гальмування використовується комбінація двох описаних способів, тобто на змінну складову вихідної напруги перетворювача накладається постійна складова. Цей спосіб гальмування поєднує в себе переваги обох електричних способів гальмування і дозволяє ефективно гальмувати електродвигун за короткий час без виділення тепла у перетворювачі.

### **Управління перетворювачами частоти.**

Управління перетворювачами частоти здійснюється за допомогою набору параметрів, які дозволяють здійснити вибір, активізацію або заборону тієї або іншої функції, завдання значення параметра, а також контролювати поточне значення параметра. Параметри можна змінювати та встановлювати кнопками мембранної клавіатури пульта управління перетворювача для налагодження потрібних властивостей перетворювача, таких як час розгону, мінімальні та максимальні частоти. Номери вибраних параметрів і встановлені значення параметрів вказуються на чотиризначному цифровому дисплеї. Завдання оптимальних режимів роботи частотно-керованого приводу для забезпечення максимальної ефективності функціонування технологічного процесу – це питання непросте і вимагає від персоналу знання та урахування особливостей як самого процесу, так і обладнання приводу, який використовується. Ось чому іноді, як це зроблено, наприклад, у перетворювачах серії MICROMASTEREco і MIDIMASTEEReco, із всього набору параметрів виділяють групу спеціально підібраних базових параметрів, налагодження котрих дозволяє для більшості простіших випадків застосування швидко здійснити уведення приводу в експлуатацію. Друга група параметрів, зветься експертною, служить для точного налагодження перетворювача. При цьому доступ до другої групи для сторонніх по умовчужанню блокований.

Описаний спосіб управління зручний на етапі уведення і в процесі

експлуатації для оперативної зміни налагоджень перетворювача. Для використання частотно-керованого приводу у складі АСУ ТП необхідно забезпечувати взаємодію перетворювача з іншими учасниками системи управління. Для цього в складі перетворювачів є розвинута система уводу-виводу даних, яка включає в собі дискретні та аналогові входи і виходи, а також послідовні інтерфейси.

У залежності від серії перетворювачі частоти мають від 3 до 6 програмуючих дискретних входів, спроможних ініціювати до 24 різних функцій управління. Всі ці функції можна умовно розділити на декілька груп.

1. До першої групи можна віднести функції управління рухом двигуна, такі як пуск, зупинка, реверс, спосіб гальмування.

2. Другу групу створюють функції управління вихідною частотою перетворювача, таке управління може бути здійснено шляхом вибору значення фіксованої частоти, визначеної для конкретного входу або заданою двійковим кодом стану трьох входів (8 значень). В цю же групу входять функції повільного зменшення або збільшення вихідної частоти при активному стані відповідного дискретного входу.

3. Третя група об'єднує інші функції, які несуть службове навантаження (дозвіл дистанційного управління, скидання признаку помилки).

Для живлення вхідних кіл може бути використане або внутрішнє джерело живлення з вихідною напругою 15 В постійного струму, або зовнішнє джерело з напругою від 7,5 до 33,0 В постійного струму.

Дискретні входи можуть бути активізовані різними способами, у тому числі механічними кнопками панелі управління установкою дискретних виходів різних управляючих пристроїв, таких як програмуючі логічні контролери (ПЛК) або пристрої видаленого уводу-виводу (наприклад, серії ADAM-4000 фірми Advantech).

Обертання двигуна насоса за допомогою управляючого пристрою. Управляючим пристроєм системи з перетворювачем частоти можуть бути логічні модулі. Наявність в цьому модулі годин реального часу дозволяє у заданий час доби через дискретні виходи здійснювати вибір необхідного значення вихідної частоти перетворювача. При цьому може бути корисною особливість

перетворювачів частоти, котра полягає в тому, що при одночасній активізації декількох входів перетворювача, через котрі здійснюється вибір фіксованих частот, вихідна частота буде дорівнювати сумі вибраних значень. Виходи, які не застосовані для вибору частоти, можуть бути використані для пуску і зупинки приводу насоса або для виконання інших функцій.

Наявність аналогових входів у перетворювачів частоти дозволяє здійснювати безперервне і контролююче управління вихідною частотою. Перетворювачі частоти мають один такий вхід, інші - два, що дає їм додаткові можливості по управлінню приводом.

Кожний вхід призначений для виконання визначених функцій.

**Аналоговий вхід №1** може бути використаний для завдання частоти за допомогою сигналу у вигляді струму або напруги. При цьому користувачу доступний ряд цікавих можливостей. Наприклад, при дозволеному аналоговому вхідному управлінні може бути заданий режим запуску перетворювача за допомогою вхідного сигналу за досягненням їм визначеного значення, а у перетворювачах можливе реверсивне управління електродвигуном при використанні біполярного сигналу  $\pm 10$  В.

Ручне управління через аналогові входи дуже просто може бути реалізоване при підключенні до перетворювача зовнішнього потенціометра із опором від 5 до 100 кОм, для живлення котрого у перетворювачі передбачене малопотужне джерело з вихідною напругою 10 В. Сигнал з повзуна потенціометра подається на аналоговий вхід **№1**, при цьому по замовчуванню переміщення повзуна від одного крайнього положення до другого буде викликати зміни значення вихідної частоти

в межах від 0 до 50 Гц. Граничні значення діапазону можуть бути змінені шляхом зміни значень відповідних параметрів перетворювача.

Наявність у перетворювачах частоти вбудованої функції ПД – або ПІ–регулятора дозволяє здійснювати точне регулювання любого зовнішнього параметра, поставленого у залежність від швидкості обертання двигуна: тиску насоса, температури в системах вентиляції, витрат. Для роботи в цьому режимі вимагається застосування відповідного датчика.

**Вхід №2 для зворотного зв'язку.** Основне призначення аналогового входу №2 складається у прийомі сигналу від такого датчика. Приклад, це використання частото – керуючого електроприводу для підтримки постійного тиску в системі водопостачання або вентиляції. Необхідне значення тиску задається через аналоговий вхід №1 за допомогою потенціометра. Датчик тиску, в якості котрого може бути використаний перетворювач частоти, перетворює тиск у трубопроводі в електричний сигнал 4...20 мА, який поступає на другий аналоговий вхід перетворювача частоти. Для електроживлення датчика призначене друге вбудоване джерело живлення з вихідною напругою 15 В і навантажувальною здатністю 50 мА. Завдання коефіцієнтів підсилення пропорційної, інтегральної і диференційної ланок ПД – регулятора здійснюється через відповідні параметри перетворювача.

Всі описані способи управління перетворювачами частоти є прикладами місцевого управління. Крім того, існує можливість і дистанційного управління з доступом до всіх параметрів перетворювача. Ця можливість може бути реалізована через використання вбудованого у кожний перетворювач частоти послідовного інтерфейсу, що відповідає стандарту EIA RS-85.

У мережу передачі даних на базі інтерфейсу RS-485 може бути об'єднано до 31 перетворювача, кожний з котрих має свою унікальну адресу, яка задається через відповідний параметр. Управління перетворювачами, які об'єднані у мережу, здійснює ведучий пристрій, в якості котрого може виступати комп'ютер, ПЛК або зовнішній пульт управління перетворювача. Для обміну даними використовується протокол USS, котрий підтримується перетворювачами частоти всіх серій. Цей протокол реалізує конфігурацію «ведучий-ведений», при котрій ініціатором обміну

є ведучий пристрій, а ведений тільки відповідає на повідомлення, яке передане в його адресу. Крім того, протоколом USS передбачений і широко повідомлений режим обміну, при котрому адресатами повідомлення є всі пристрої мережі. Максимальна швидкість обміну, яка підтримується протоколом USS, дорівнює 19 кбод. Телеграма має фіксовану довжину 14 байт, кожний із котрих має стандартний для пристроїв з асинхронним режимом обміну формат: 1 старт-біт даних, біт контролю парності і стоп-біт. Це, а також доступність докладного описання протоколу, забезпечує користувачу можливість реалізації протоколу USS для власного управляючого пристрою.

Для ряду серій перетворювачів додатково може бути використаний модуль, який дозволяє виконати підключення перетворювача до промислової мережі PROFIBUS-DP. За допомогою такого модуля забезпечується простий і не дорогий спосіб інтеграції частотно-регулюючого приводу в систему автоматизації.

Рамки КРБ не дозволяють більш докладно розказати про всі функціональні можливості і особливості застосування перетворювачів частоти фірми Siemens. Для детального ознайомлення з інформацією по цим питанням слід звертатися до відповідних каталогів.

### **Вибір ПЧ для двигуна електроприводу ліфта.**

Вибраний перетворювач частоти ПЧ повинен бути розрахований на потужність не менше ніж потужність двигуна приводу ліфта яка складає 4,0 кВт з трифазною напругою 380...400 В з частотою змінного струму 50 Гц або 60 Гц із заземленою або ізольованою нейтралю.

Тип перетворювача – скалярний з законом керування з постійним моментом навантаження при регулюванні швидкості обертання ротора АД з співвідношенням напруги і частоти на виході перетворювача:

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

сімейство механічних характеристик частотного електропривода системи ПЧ-АД показана на рис. 2.7.

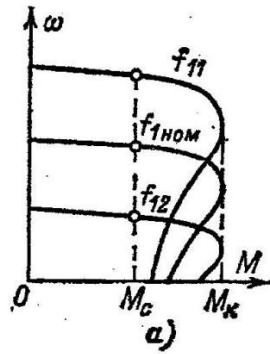


Рисунок 2.7 - Сімейство механічних характеристик частотного електропривода системи ПЧ-АД з законом керування з постійним моментом навантаження при регулюванні швидкості обертання ротора АД.

Приймаємо до встановлення частотний перетворювач частоти фірми Schneider Electric ATV61HC, параметри котрого приведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Паспортні дані перетворювач частоти фірми Schneider Electric ATV61HC

|  |   |
|--|---|
| Тип, виконання                             | Перетворювач частоти фірми Schneider Electric ATV61HC                             |
| Номінальна повна потужність, кВ·А          | 5,0   |
| Номінальна активна потужність двигуна, кВт | 4,0   |
| Номінальний струм навантаження Іном, А     | 12,0  |
| Живляча мережа:                            | 3x380 В, + 10%, - 15%,<br>50(60) Гц ± 2% (із заземленою або ізольованою нейтралю) |
| Вихідна напруга                            | 3·(0...380 В) ± 2% (значення максимальної вихідної напруги програмується)         |
| Коефіцієнт корисної дії (ККД)              | не менше 0,95 (без двигуна)   |
| Коефіцієнт потужності                      | не менше 0,95   |

|  |   |
|--|---|
| Умови навколишнього середовища:  | робоча температура + 1 <sup>0</sup> С...<br>+40 <sup>0</sup> С,<br>вологість до 90%.  |
| Короткочасне допустиме відхилення напруги живлячої мережі, при котрій електропривод зберігає працездатний стан | -40%  |
| Опір ізоляції гальванічно не зв'язаних кіл і відносно корпусу, не менше  | 10 МОм  |
| Електрична міцність ізоляції   | 2500 В, 50 Гц, на протязі 1 хв.   |
| Опції внутрішні  | до 6 аналогових входів; до 2 аналогових виходів;<br>до 6 дискретних входів; до 6 релейних виходів;<br>до 2-х каналів інтерфейсу RS 485<br>стандарту Modbus. |
| Степінь захисту  | IP21  |

Таблиця 2.6 – Функціональні можливості ПЧ

|         |   |
|---------|---|
| Основні | Управління роботою АД у всіх режимах:<br>- пуск за заданим алгоритмом;<br>- тривала робота у заданому діапазоні частот обертання і навантажень;<br>- реверс;<br>- гальмування і зупинка за заданими алгоритмами |
|         | Регулювання технологічного параметра рахунок вбудованого ПЧД-регулятора   |
|         | Захист ПЧ, АД і механізмів в аварійних і нештатних режимах  |

|           |   |
|-----------|---|
|           | Дистанційний прийом і обробка сигналів управління, завдання параметрів і режимів, в тому числі по каналу послідовного зв'язку від управляючих машин і систем вищого рівня |
| Додаткові | Сигналізація, відображення і дистанційне передавання інформації про параметри і режими роботи   |
|           | Урахування відпрацьованого часу   |
|           | Реєстрація відмов, нештатних і аварійних режимів  |



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд перетворювача частоти фірми Schneider Electric ATV61HC виконання IP21 і (основне виконання)

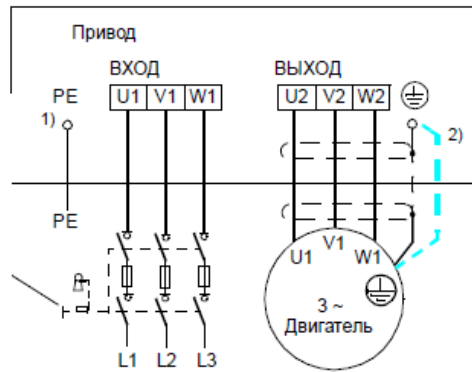


Рисунок 2.6 - Схема підключення силового кола ПЧ фірми Schneider Electric ATV61HC

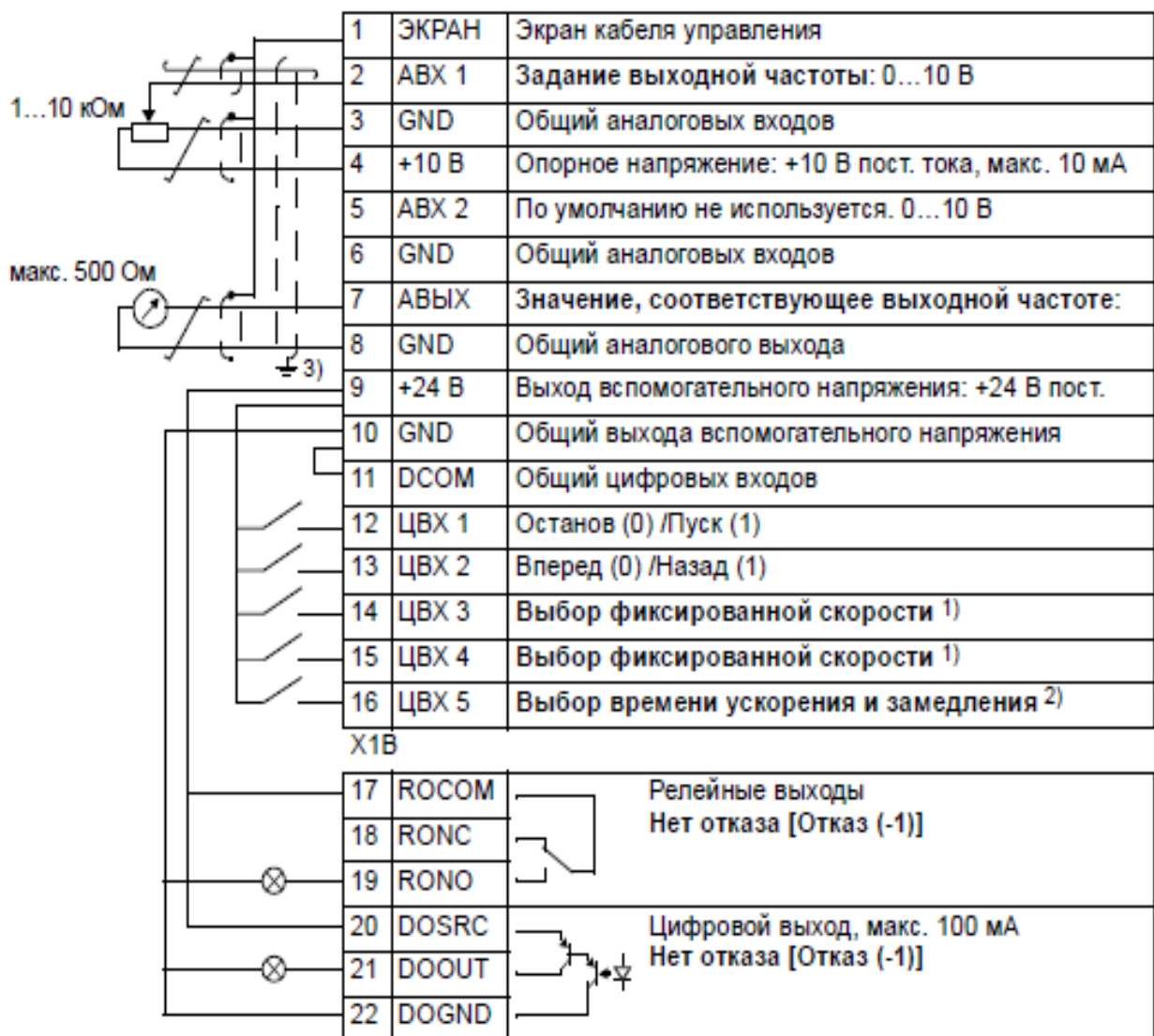


Рисунок 2.7 - Схема підключення електроприводів кола управління ПЧ фірми Schneider Electric ATV61HC

Таблиця 2.7 - Призначення клемників кіл управління

|               |   |
|---------------|---|
| ХТ1           | Призначений для підключення зовнішніх дискретних сигналів (6 дискретних входів R-входу - 2 кОм, I - 10...20 мА).  |
| ХТ2           | програмуючі дискретні виходи (250 В, 3 А).  |
| ХТ3           | багатофункціональний клемник, призначений для підключення зовнішніх пристроїв, до його складу входять клеми:<br>- живлення 24 В, 0,5 А для давача технологічного параметра, дистанційного пульта і та інше;<br>- 2 гальванічно не зв'язаних програмуючих аналогових входи: (0...5 мА, 0(4)...20 мА, 0...10 В);<br>- клеми підключення зовнішньої кнопки «АВАРІЙНИЙ СТОП».   |
| ХТ4           | багатофункціональний клемник, призначений для підключення зовнішніх пристроїв, до його складу входять клеми:<br>- живлення 24 В, 0,5 А для давача технологічного параметра;<br>- 1 аналоговий вхід для підключення зовнішнього потенціометра «ЗАВДАННЯ»;<br>- 3 дискретних виходи (250 В, 0,1 А).   |
| ХТ5           | 1 дискретний вихід «Електропривод включений» (250 В, 3 А) і 1 програмуючий дискретний вихід (250 В, 3 А).   |
| ХТ15,<br>ХТ16 | клемники, що використовують при встановленні додаткових блоків. Клемники ХТ15, ХТ16 встановлюються при наявності таких субблоків розширення:<br>- субблок інтерфейсу RS485;<br>- субблок аналогових виходів (2 програмуючих аналогових виходи 0...5 мА, 0(4)...20 мА, 0...10 В);<br>- субблок аналогових входів (2 гальванічно не зв'язаних програмуючих аналогових входи 0...5 мА, 0(4)...20 мА, 0...10 В);<br>- субблок аналогових входів (4 гальванічно зв'язаних програмуючих аналогових входи 0...5 мА, 0(4)...20 мА, 0...10 В);<br>субмодуль технологічний. |

|      |           |
|------|-----------|
| ХТ6  | Мережа А; |
| ХТ7  | Мережа В; |
| ХТ8  | Мережа С; |
| ХТ9  | Нейтраль; |
| ХТ10 | Вихід U;  |
| ХТ11 | Вихід V;  |
| ХТ12 | Вихід W;  |
| ХТ13 | Rd + ;    |
| ХТ14 | Rd - .    |

**Висновок:** частотний перетворювач фірми Schneider Electric ATV61HC повністю відповідає вимогам до електроприводу вантажно-пасажирського ліфта висотного жилого дома.

## 2.5 Схема частотного електроприводу ліфта системи ПЧ-АД

Для автоматичного управління приводом ліфта приймаємо до встановлення частотний перетворювач фірми Schneider Electric ATV61HC. Ці перетворювачі працюють від промислової трифазної мережі змінного струму із заземленою або ізольованою нейтраллю.

Режим його роботи програмується і забезпечує: плавний розгон і гальмування двигуна; роботу на заданій частоті; зупинку і реверс двигуна; роботу в розімкненій або замкненій системі регулювання, роботу за таймером.

Перетворювачі серії ATV61HC забезпечують захист привода машини від струмів короткого замикання і тривалих струмів перевантаження, при обриві одної із фаз або при не симетрії фазних напруг.

Схема управління електроприводу ліфта приведена на рис. 2.9. ХР1 – трифазний роз'єм;

QS1 – трифазний рубильник;

QF1 – автоматичний вимикач триполюсний;

KM1, KM1:1 – котушка і головні контакти магнітного пускача;

WF1 – перетворювач частоти;

M1 – трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором;

R1 – регулятор частоти обертання ротора двигуна;

R<sub>г</sub> – резистор гальмування;

GB1 – блок харчування 24 В;

SF1 – автоматичний вимикач двополюсний;

SF2 – автоматичний вимикач однополюсний;

K1, K2 – реле електромагнітне;

SB1 – аварійний вимикач;

SB2 – кнопка управління «Стоп»;

SB3 – кнопка управління «Вгору»;

SB4 – кнопки управління «Вниз»;

HL1...HL4 – світлодіодні індикатори;

PE – заземлення;

N – нейтральний провід (занулення).

Перетворювач частоти WF1 забезпечує плавне регулювання частоти обертання вала двигуна M1 в діапазоні 1000...1500 об/хв. що забезпечує регулювання швидкості руху кабіни 1,0...1,5 м, а також захист двигуна від струмів тривалого перевантаження та від струмів короткого замикання.

Включення і відключення двигуна приводу ліфта M1 здійснюється головними контактами трифазного магнітного вимикача KM1:1, котушка якого KM1 підключається за допомогою проміжних реле K1, K2 та їх замикаючих K1:1, K2:1 і розмикальних контактів K1:2, K2:2 шляхом натискання одної із кнопок поста управління SB3 чи SB4 – «Вгору» або «Вниз».

На корпусі перетворювача частоти WF1 розташована клавіатура для його програмування, наприклад, час розгону і гальмування двигуна та інше.

Частота обертання ротора двигуна M1 задається реостатом RP1 за індикатором PV1. Фактична частота обертання визначається індикатором PA1 (на схемі не показані).



Напруга управління знижується від 220 В 50 Гц до 24 В постійного струму за допомогою блоку харчування GB1, тобто до безпечного значення напруги.

Включення і захист кіл управління та сигналізації від струмів короткого замикання здійснюється з боку вищої напруги автоматичним вимикачем SF1, а з боку низької напруги – SF2.

Повторне мимовільне включення машини після короткочасного зникнення електроенергії забезпечується перетворювачем частоти WF1, а також проміжним реле К1 і К2 шляхом розмикання його замикаючих контактів К1:1 і К2:1.

### 3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЛІФТА НА ЕОМ

#### 3.1 Постановка задачі моделювання роботи електропривода на ЕОМ

Одним із важливіших елементів при створенні регулюючого електропривода є розробка енергоефективних законів управління і підвищення ККД самої машини. Метою математичного моделювання є створення системи управління асинхронним електроприводом і забезпечення максимального моменту на валу двигуна при низьких обертах. Тому велике значення має не тільки вибір системи моделювання, але і адекватність самої моделі до процесів, які відбуваються у перетворювачі. Велике значення при векторному управлінні має система координат, тому рівняння руху розглядаються не в стаціонарній системі координат, а системі координат Парка – Горєва [5]. Це дозволило будувати системи управління з асинхронним двигуном (АД) за тими ж принципами, що і системи управління з двигуном постійного струму. При цьому характеристики асинхронного двигуна становляться близькими до характеристик двигуна постійного струму, це дозволяє суттєво підвищити економічну ефективність електропривода з АД.

Моделювання роботи асинхронної машини у режимах двигуна або генератора можна провести за допомогою блоку Asynchronous Machine у пакеті програм MATLAB. Піктограми машини приведені на рис. 3.1.

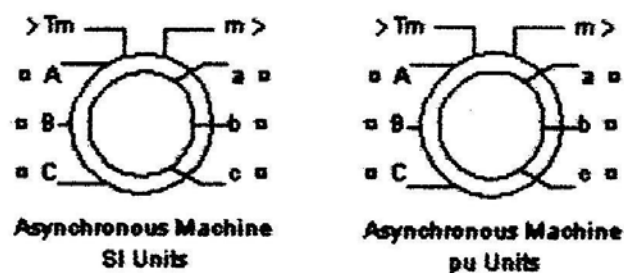


Рисунок 3.1 - Піктограми асинхронної машини

Режим роботи визначається знаком електромагнітного моменту машини.

Порти моделі  $A$ ,  $B$  і  $C$  є виводами обмоток статора машини, а порти  $a$ ,  $b$  і  $c$  – обмотки ротора машини. Порт  $Tm$  призначений для подавання моменту опору

руху. На вихідному порту  $m$  формується векторний сигнал, що складається із 21 елемента: токів, потоків і напруг ротора і статора у нерухомій і обіговій системах координат, електромагнітного моменту, кутової частоти обертання вала, а також його кутового положення. Для зручності витягання змінних машини з вектора в бібліотеці Sim Power Systems передбачений блок Machines Measurement Demux. Модель асинхронної машини включає в себе модель електричної частини, яка представлена моделлю простору стану четвертого порядку, і модель механічної частини у вигляді системи другого порядку. Всі електричні змінні і параметри машини приведені до статора. Вихідні рівняння електричної частини машини записані для двофазної ( $dq$ -вісі) системи координат. На рис. 3.2 приведені схеми заміщення машини.

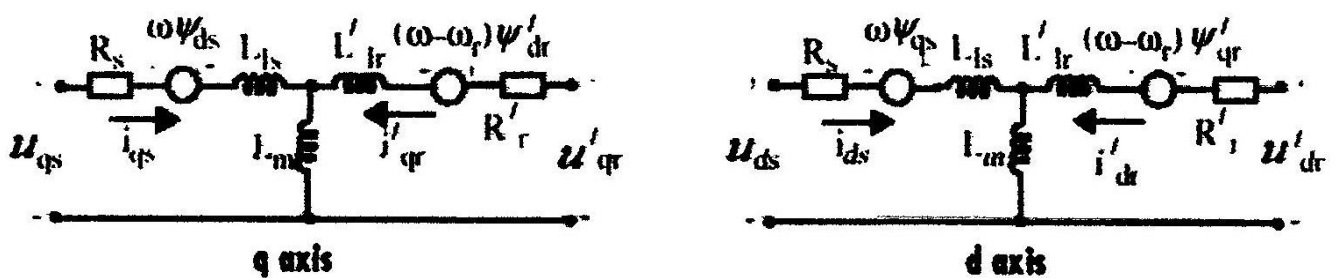


Рисунок 3.2 - Схеми заміщення

Робота асинхронної машини в режимах двигуна і генератора визначається знаком електромагнітного моменту машини.

### 3.2. Розрахунок параметрів схеми заміщення двигуна електропривода ліфта

Для моделювання роботи АД з КЗ ротором на ЕОМ у пакеті програм MATLAB потрібно розрахувати параметри схеми заміщення двигуна (рис. 3.3). Параметри схеми заміщення двигуна в технічних довідниках приведені у відносних одиницях [7].

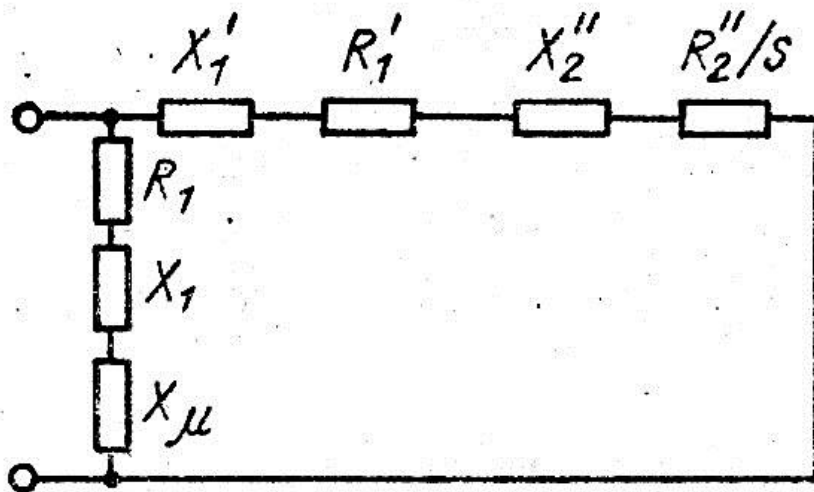


Рисунок 3.3 - Схема заміщення фази асинхронного двигуна

Таблиця 3.1 - Параметри схеми заміщення фази АД серії 4A100L4У3

| Параметри схеми заміщення фази АД у відносних одиницях |                       |         |            |            |
|--|-----------------------|---------|------------|------------|
| $x_{\mu}$  | У номінальному режимі |         |            |            |
|  | $r_1^I$               | $x_1^I$ | $r_2^{II}$ | $x_2^{II}$ |
| 2,4  | 0,067                 | 0,079   | 0,053      | 0,14       |

Для переведення параметрів схеми заміщення з відносних одиниць у фізичні одиниці знайдемо базовий опір двигуна:

$$R_B = \frac{U_{\Phi \text{ ном}}}{I_{\Phi \text{ ном}}} , \quad (3.1)$$

де  $U_{\Phi \text{ ном}}$  – номінальна напруга двигуна,  $U_{\Phi \text{ ном}} = 220 \text{ В}$ ;

$I_{\Phi \text{ ном}}$  – номінальний струм двигуна,  $I_{\Phi \text{ ном}} = 8,62 \text{ А}$ .

Тоді базовий опір двигуна:

$$R_B = \frac{U_{\Phi \text{ ном}}}{I_{\Phi \text{ ном}}} = \frac{220}{8,62} = 25,5 \text{ Ом.}$$

Отримавши базовий опір можна розрахувати необхідні для моделювання двигуна параметри схеми заміщення в фізичних одиницях:

Активний опір статора:

$$R_1^I = R_B \cdot r_1^I = 25,5 \cdot 0,067 = 1,71 \text{ Ом.} \quad (3.2)$$

Індуктивний опір статора:

$$X_1^I = R_B \cdot x_1^I = 25,5 \cdot 0,079 = 2,01 \text{ Ом.} \quad (3.3)$$

Активний опір ротора:

$$R_2^{II} = R_B \cdot r_2^{II} = 25,5 \cdot 0,053 = 1,35 \text{ Ом.} \quad (3.4)$$

Індуктивний опір ротора:

$$X_2^{II} = R_B \cdot x_2^{II} = 25,5 \cdot 0,14 = 3,57 \text{ Ом.} \quad (3.5)$$

Індуктивний опір гілки намагнічування в схемі заміщення АД з КЗ ротором:

$$X_\mu = R_B \cdot x_\mu = 25,5 \cdot 2,4 = 61,2 \text{ Ом.} \quad (3.6)$$

Для того щоб знайти потрібні значення індуктивностей скористаємося тим, що індуктивний опір прямо пропорційний кутовій частоті і індуктивності, звідки випливає, що індуктивність також прямо пропорційна індуктивному опору та обернено пропорційна кутовій частоті. Враховуючи цей факт індуктивність статора дорівнює:

$$L_1 = \frac{X_1^I}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{2,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 6,40 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.} \quad (3.7)$$

Індуктивність ротора:

$$L_2 = \frac{X_2^{II}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{3,57}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 11,37 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.} \quad (3.8)$$

Індуктивність гілки намагнічування в схемі заміщення АД з КЗ ротором:

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{61,2}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,194 \text{ Гн.} \quad (3.9)$$

Момент інерції ротора двигуна АД з паспортних даних:

$$J_{ДВ} = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведений момент інерції механізму підйому навантаженої кабіни ліфта під час її розгону дорівнює:

$$J_{ПРЗР} = J_{ПР об} + J_{ПР рп} = 0,15 + 0,01 = 0,16 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Ці значення приведенного моменту інерції введемо у модель електропривода ліфта для визначення динамічного моменту навантаження двигуна.

Вихідні та розраховані параметри двигуна запишемо в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 Технічні параметри двигуна електропривода ліфта та параметри схеми заміщення АД для моделі електропривода ліфта

| Двигун 4A100L4У3                                       |                    |                  |                     |                              |               |               |                |
|--|--------------------|------------------|---------------------|------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| $P_{НОМ}$ , кВт  | $n_{НОМ}$ , об/хв. | $\eta_{НОМ}$ , % | $\cos\varphi_{НОМ}$ | $J_{ДВ}$ , кг·м <sup>2</sup> | $U_{НОМ}$ , В | $I_{НОМ}$ , А | $R_{Б}$ , Ом   |
| 4,0  | 1440               | 84,0             | 0,83                | 0,05                         | 380           | 8,61          | 25,5           |
| Параметри схеми заміщення фази АД у відносних одиницях |                    |                  |                     |                              |               |               |                |
| $x_{\mu}$  | $r_1^I$            | $x_1^I$          | $r_2^{II}$          | $x_2^{II}$                   | –             | –             | –              |
| 2,4  | 0,067              | 0,079            | 0,053               | 0,14                         | –             | –             | –              |
| Параметри схеми заміщення фази АД у фізичних одиницях  |                    |                  |                     |                              |               |               |                |
| $X_{\mu}$ , Ом   | $R_1^I$ , Ом       | $X_1^I$ , Ом     | $R_2^{II}$ , Ом     | $X_2^{II}$ , Ом              | $L_1$ , мГн   | $L_2$ , мГн   | $L_{\mu}$ , Гн |
| 61,2   | 1,71               | 2,01             | 1,35                | 3,57                         | 6,40          | 11,37         | 0,194          |

Маючи всі потрібні величини, задаймо їх у модель асинхронного двигуна у середовищі Simulink пакету Matlab і проведемо моделювання.

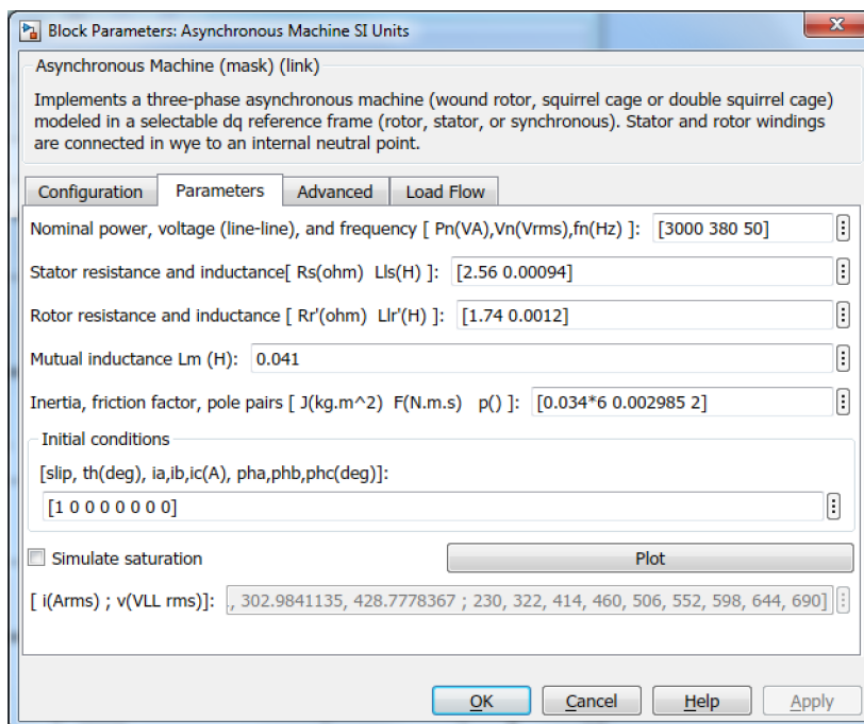


Рисунок 3.4 – Вікно параметрів моделі АД з КЗ ротором

### **Параметри блоку:**

#### **Preset model:**

[Вибір моделі]. Параметр дозволить вибрати модель машини з каталогу.

#### **Show detailed parameters:**

[Показати параметри моделі]. При встановленому прапорцю параметри моделі доступні для перегляду і змін.

#### **Rotor type:**

[Тип ротора]. Значення параметра вибирається зі списку:

- Squirrel-Cage – короткозамкнений ротор, або «біляча клітка»;
- Wound – фазний ротор.

#### **Reference frame:**

[Система координат]. Значення параметра вибирається зі списку:

- Rotor – нерухома відносно ротора;
- Stationary – нерухома відносно статора;
- Synchronous – обертана разом з полем.

#### **Nom.power, L-L volt.andfrequency [Pn(VA), Vn(V), fn(Hz)]:**

[Номінальна потужність Pn (ВА), діюча лінійна напруга Un (В) та номінальна частота fn (Гц).

#### **Stator [Rs (Ohm) Lls (H)]:**

[Активний опір Rs (Ом) і індуктивність Ls (Гн) статора].

#### **Rotor [Rr (Ohm) Llr' (H)]:**

[Активний опір Rr (Ом) і індуктивність Lr (Гн) ротора].

#### **Mutual inductance Lm (H):**

[Взаємна індуктивність (Гн)].

#### **Inertia, friction factor and pairs of poles [J (kg·m<sup>2</sup>) F (N·m·s)p]:**

[Момент інерції J (кг·м<sup>2</sup>), коефіцієнт тертя F (Н·м·с) і число пар полюсів p].

#### **Initial conditions [sth (deg) isa, isb, isc (A) phA, phB, phC (deg)]:**

[Початкові умови]. Параметр задається у вигляді вектора, кожний елемент котрого має наступні значення:

- s – ковзання;
- th – фаза (град.);
- isa, isb, isc – початкові значення струмів статора (А);

-  $\varphi_A$ ,  $\varphi_B$ ,  $\varphi_C$  – початкові фази струмів статора (град.). Початкові умови машини можуть бути обчислені за допомогою блоку Powergui.

### 3.3 Моделювання роботи електропривода ліфта з АД

Схема моделювання роботи електропривода ліфта з використанням асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором представлена нижче (рис. 3.5).

Схема містить джерело трифазного живлення, трифазний вимірювач напруги і струму обмоток статора двигуна, трифазний асинхронний двигун, графобудівник динамічної механічної характеристики, осцилографи та вимірювальні прилади.

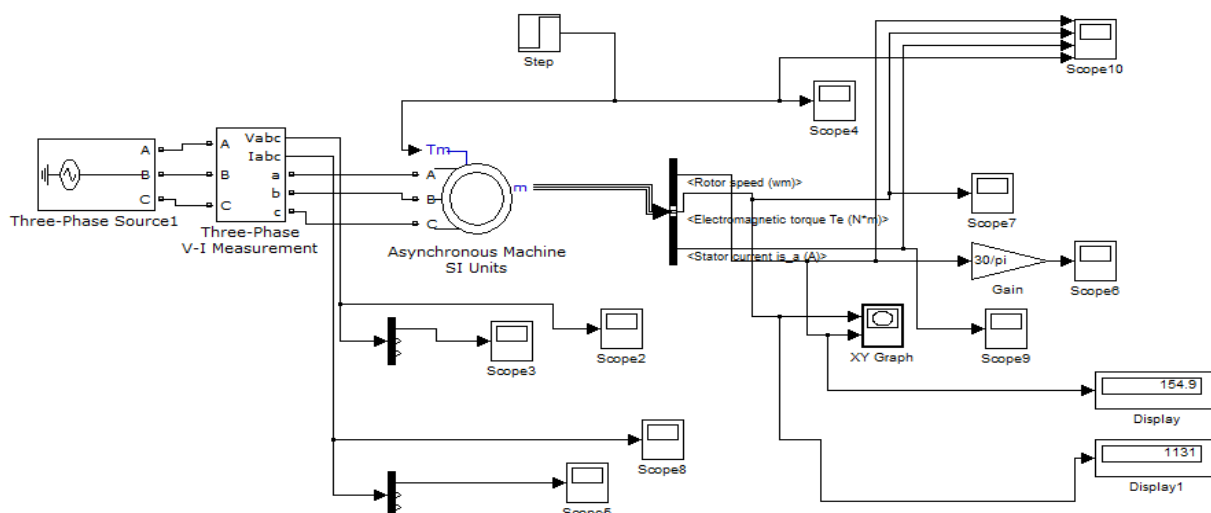


Рисунок 3.5 – Схема моделі електропривода ліфта з АД з КЗ ротором

Навантаження на валу двигуна дорівнює розрахованому приведенному статичному моменту навантаження та не змінюється під час роботи ліфта.

Динамічний момент навантаження двигуна під час його розгону схема моделі електропривода забезпечує автоматично відповідно введеному значенню приведенного моменту інерції механізму руху кабіни ліфта.

Нижче представлений графік залежності швидкості (по вісі ординат) та електромагнітного моменту двигуна (по вісі абсцис) при розгоні АД. Ця залежність називається механічною характеристикою двигуна АД.

Нижче представленні результати моделювання процесу прямого пуску АД з

КЗ ротором в середовищі Simulink, пакету Matlab.

Рисунок 3.6 – Діаграма напруги живлення двигуна

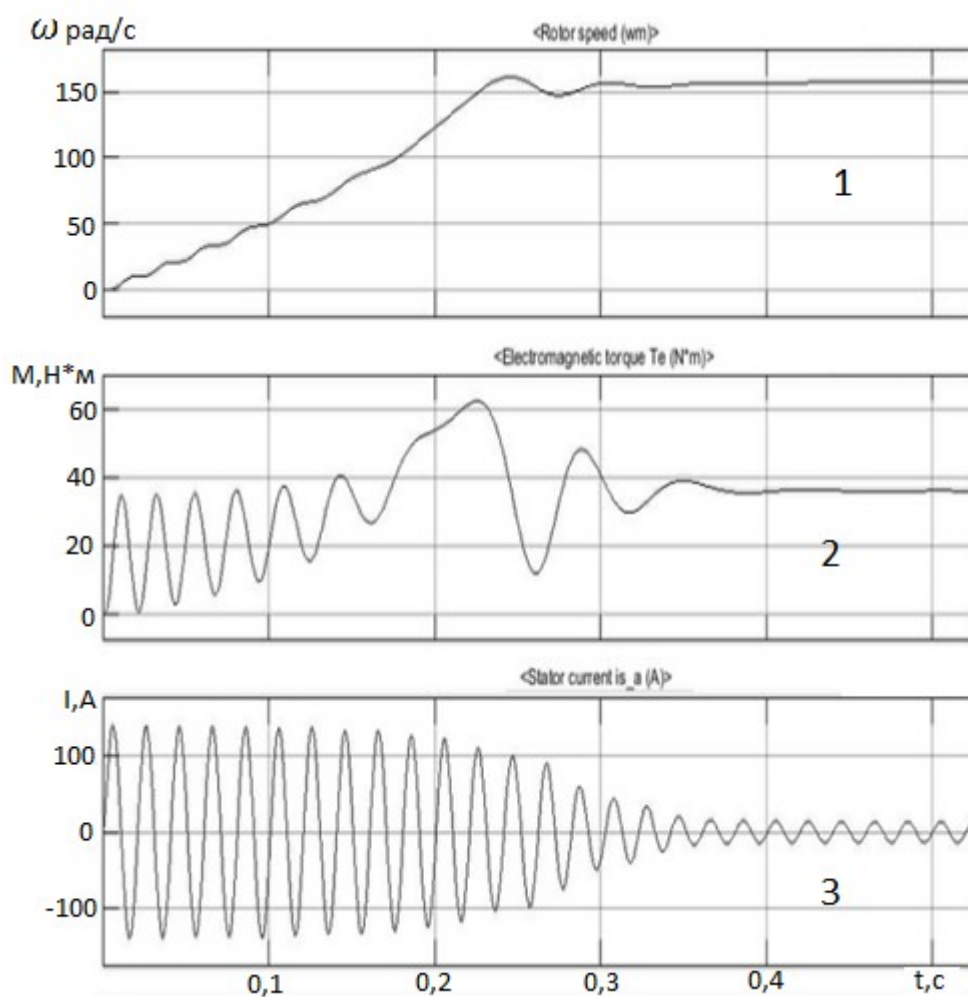


Рисунок 3.7 – Діаграми:

- 1 – кутової швидкості обертання ротора двигуна;
- 2 – електромагнітного моменту на валу ротора двигуна;
- 3 – струму статора двигуна

З часової діаграми швидкості ротора АД (1) визначаємо, що час розгону АД до сталої кутової швидкості ротора до  $\omega = 152$  рад/с складає 0,4 с.

Максимальний електромеханічний момент двигуна під час розгону АД (2) складає  $M_E=60$  Нм, а сталий –  $M_E=37$  Нм.

Амплітуда пускового струму АД  $I_M= 120$  А більш ніж сталою  $I_M= 20$  А у 6 разів (3).

Електромеханічна динамічна характеристика АД з КЗ ротором (4) отримана за допомогою графобудівника.

### 3.4 Моделювання роботи електропривода ліфта системи ПЧ-АД

Модель електропривода з перетворювачем частоти ПЧ-АД представлена нижче. В моделі використовується система управління із зворотним зв'язком за швидкістю двигуна, яка забезпечує широкий діапазон регулювання швидкості. Схема містить джерело трифазного живлення з ШІМ, трифазний вимірювач напруги і струму обмоток статора двигуна, осцилографи та вимірювальні прилади. Закон зміни частоти струму аперіодичний. Навантаження на валу двигуна ідентичне моделюванню при прямому пуску.

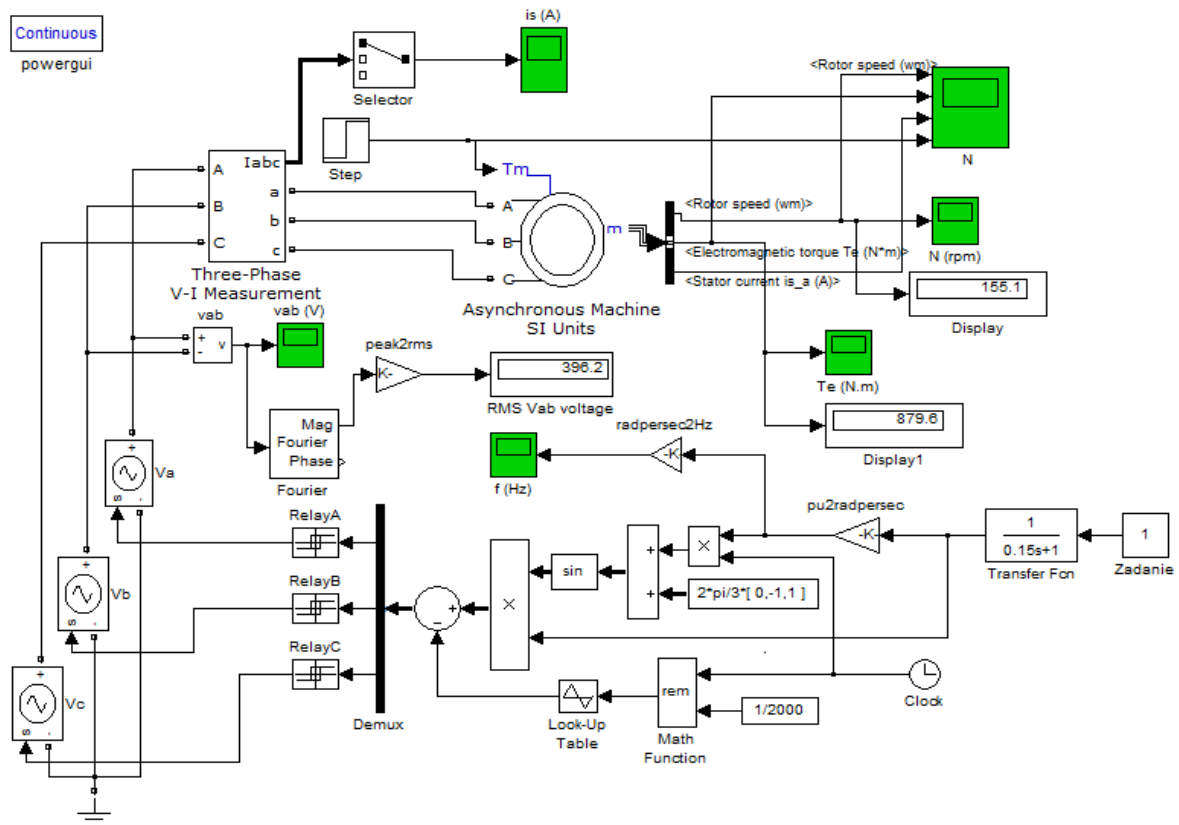


Рисунок 3.9 – Схема моделі електропривода ліфта системи ПЧ-АД

Результати моделювання роботи електропривода системи ПЧ-АД при збільшенні частоти напруги ПЧ від 25 Гц до 37 Гц і до 25 Гц.

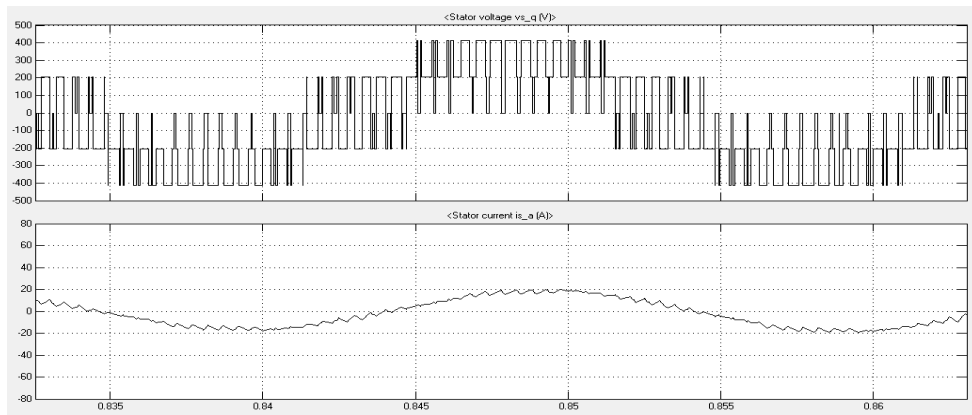


Рисунок 3.10 – Загальний вигляд ШІМ-модульованої квазісинусоїдальної напруги і струму фази статора АД, який згладженого індуктивністю фази

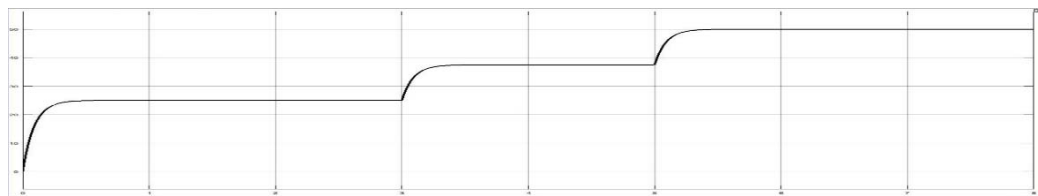


Рисунок 3.11 – Діаграма зміни частоти вихідної напруги ПЧ: 25, 37, 50 Гц

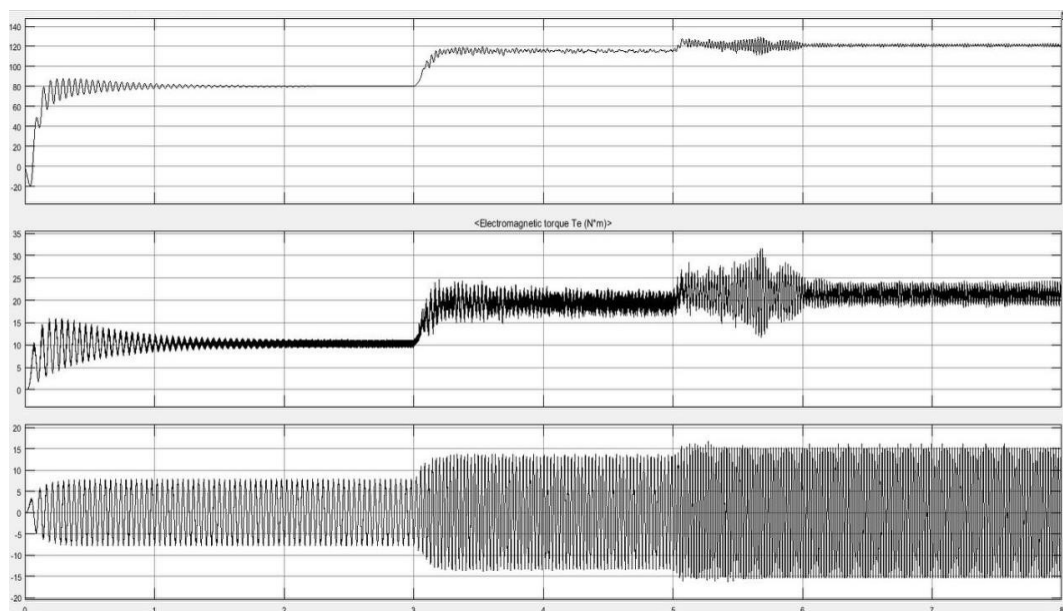
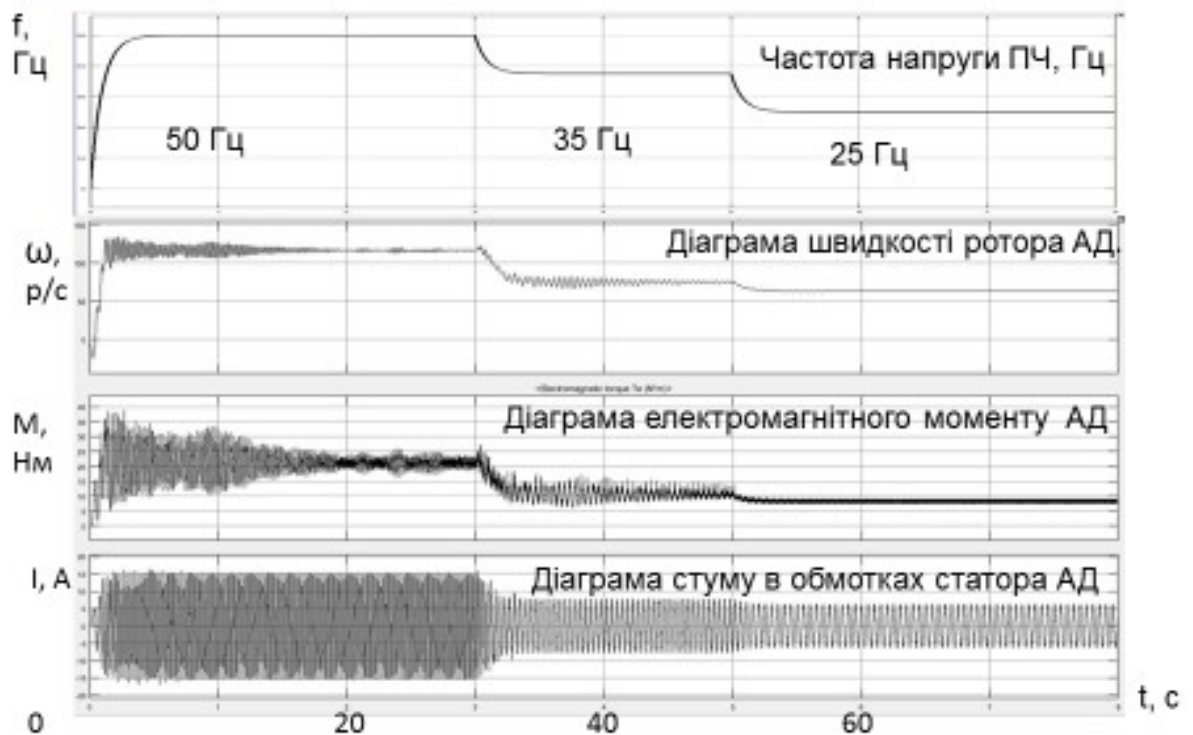


Рисунок 3.12 – Діаграми:

- а – кутовою швидкості обертання ротора АД;
- б – електромагнітного моменту на валу ротора АД;
- в – струму обмотки статора АД

Частотний електропривод ліфта системи ПЧ-АД працює надійно при збільшенні частоти напруги живлення від 25 до 50 Гц.

Результати моделювання роботи електропривода системи ПЧ-АД при збільшенні частоти напруги ПЧ від 25 Гц до 37 Гц і до 25 Гц.



Частотний електропривод ліфта системи ПЧ-АД працює надійно при зменшенні частоти напруги живлення від 50 до 25 Гц.

### 3.5. Висновки і пропозиції

При прямому пуску асинхронного двигуна напруга живлення АД 380 В з частотою 50 Гц подаються незмінними. Спостерігається великий пусковий струм АД з КЗ ротором, пусковий струм у 5...6 разів більше номінального. Тривалість пускового часу двигуна при відсутності завантаження складає біля 0,4 с, а струм зменшується до номінального значення. Розгін ротора АД до номінальної частоти обертання теж складає біля 0,4 с, електромагнітний момент двигуна спочатку значно збільшується, а після розгону АД зменшується до номінального значення.

При пуску АД із перетворювачем частоти ПЧ напруга живлення АД і частота змінного струму поступово зростають до номінальних значень 380 В 50 Гц за 0,5

с, імпульси пускового струму двигуна значно зменшуються, а час розгону двигуна позростає від 0,3...0,4 с до 0,5...0,7 с.

Частотний електропривод ліфта системи ПЧ-АД працює надійно як при збільшені частоти напруги живлення від 50 до 25 Гц, так і при зменшені частоти напруги живлення від 50 до 25 Гц.

Механічні удари електропривода при пуску преса з ПЧ будуть менше, ніж при прямому пуску.

Розімкнена схема керування електроприводом ліфта системи ПЧ-АД з перетворювачем частоти ПЧ і трифазний асинхронний двигун серії 4А100S4У3 потужністю 4,0 кВт забезпечать необхідну точність підтримки 5,0% в заданому діапазоні регулювання частоти обертання ротора двигуна 1000...1500 об/хв., тобто забезпечать нормальну роботу вантажно-пасажирського ліфта з швидкістю руху кабіни 1,0...1,5 м/с та с прискоренням і уповільненням 1,0...1,5 м/с<sup>2</sup>.

## 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Монтаж електрообладнання електроприводу ліфту

Монтаж електроприводу ліфта здійснюється після етапу розрахунку і проектування. Погоджений робочий проект розглядається фахівцями компанії для замовлення необхідного обладнання та матеріалів. Важливим етапом перед монтажної підготовки є конструкторське проектування повітророзподільної мережі. Спеціаліст складає ескізи повітроводів, враховуючи проектну документацію та особливості об'єкта, як правило виїжджаючи на місце. Грамотно складені ескізи дозволяють оперативне виготовити у заводських умовах повітроводи, потім і швидко змонтувати їх на будівельному майданчику.

Монтаж електроприводу ліфта завжди ведеться в суворій відповідності з БНіП та [5]. Як правило, спочатку монтуються вертикальні ділянки повітроводів і мережевих елементів, потім горизонтальні і, нарешті, приступають до монтажу електропривода ліфта з наступною обв'язкою їх по повітрю, теплу і електриці з автоматикою.

Перед монтажем електродвигуна фахівці піддають його ретельному огляду з метою виявлення пошкоджень чи інших дефектів, які перешкоджають монтажу електродвигуна або нормальній роботі.

При огляді електродвигуна перевіряють збереження ізоляції та кріплень лобових частин обмотки, а також наявність всіх деталей електродвигуна. Мегомметром перевіряють стан ізоляції обмоток. У разі зниження опору ізоляції нижче 0,5 МОм обмотки піддають сушінню.

Температуру і режим сушіння контролюють термометрами (термопарами) або мегомметром, та регулюють періодичними відключеннями струму або розгальмовуванням і обертанням ротора на знижених обертах, при яких машина вентилюється і охолоджується. Сушіння проводять при температурі 70 - 90°C.

У процесі монтажу електродвигунів задіяні тільки справні електродвигуни, опір ізоляції обмоток яких відповідає нормам.

Монтаж електродвигунів виробляється на чавунних або сталевих плитах, на металевих рамах або кронштейнах, а найчастіше на чавунних санчатах, які

прикріплюються анкерними болтами до залізобетонного фундаменту.

При монтажі електродвигунів керуються ПУЕ [1], та інструкціями заводу-виробника.

Електродвигуни, які надійшли у зібраному вигляді, на місці монтажу не розбирають, якщо їх правильно транспортували і зберігали.

Підготовка таких машин до монтажу включає в себе наступні технічні операції:

- зовнішній огляд;
- очищення фундаментних плит і лап станин;
- промивання фундаментних болтів уайтспіритом і перевірка якості різьблення (прогін гайок);
- огляд виводів;
- огляд стану підшипників;
- перевірка зазорів між кришкою і вкладнем підшипника ковзання, валом і ущільненням підшипників, вимірювання зазорів між вкладнем підшипника ковзання і валом;
- перевірка повітряного зазору між активною частиною сталі ротора і статора;
- перевірка вільного обертання ротора і відсутність зачеплень вентиляторів за кришки; перевірка мегомметром опору ізоляції всіх обмоток, щіткової траверси і ізольованих підшипників.

Огляд електродвигунів проводять на стенді у спеціально виділеному в цеху приміщенні.

Про виявлені дефектів електромонтажник повинен відразу же повідомити бригадира, майстра або керівника монтажу. Якщо зовнішніх пошкоджень не виявлено, електродвигун продувають стисненим повітрям. При цьому спочатку перевіряють подачу по трубопроводу сухого повітря, для цього струмінь повітря направляють на будь-яку поверхню. При продуванні ротор електродвигуна провертають вручну, перевіряючи вільне обертання вала в підшипниках. Зовнішній двигун обтирають ганчіркою, змоченою в гасі.

### **Промивання підшипників перед монтажем електродвигуна.**

Промивання підшипників ковзання під час монтажу роблять у такий спосіб. З підшипників видаляють залишки олії, відвернувши спускні пробки. Потім, загвинтивши їх, у підшипники заливають гас і обертають руками якір або ротор. Далі вигвинчують спускні пробки і дають стекти всьому гасу. Після промивання підшипників гасом їх необхідно промити маслом, яке забирає із собою залишки гасу. Тільки після цього їх заповнюють свіжим маслом 1/2 або 1/3 об'єму ванни. Мастило в підшипниках кочення при монтажі машин не міняють. Заповнення мастилом підшипника не повинно перевищувати 2/3 вільного об'єму підшипника.

**Вимірювання опору ізоляції електродвигуна перед монтажем.** У електродвигуна трифазного струму з короткозамкненим ротором проводять вимірювання опору ізоляції тільки обмоток статора по відношенню один до одного і до корпусу. Це можна зробити, якщо тільки виведені всі 6 кінців обмотки. Якщо виведено в коробку вводів тільки 3 кінця обмоток, то вимірювання проводять тільки по відношенню до корпусу.

Ізоляцію обмоток електродвигунів вимірюють мегомметром на 1 кВ для машин напругою до 1 кВ.

Якщо результати вимірювань опору ізоляції задовольняють нормам, то ці електродвигуни можуть бути включені в роботу без сушіння ізоляції обмоток, за результатами вимірювань складається акт. Такі електродвигуни доставляють до місця монтажу, і встановлюють за місцем згідно з проектом.

Підйом електродвигуна масою до 50 кг можна виконувати вручну, при установці їх на низькі фундаменти.

З'єднання електродвигунів з механізмом виконують за допомогою муфт або через передачу (ремінну). При всіх способах з'єднання потрібна перевірка положення двигуна рівнем в горизонтальній площині у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Для цього зручніше користуватися «валовим» рівнем, так як цей рівень має в основі виїмку в вигляді «хвоста»; його зручно накладати безпосередньо на вал електродвигуна.

Електродвигуни, які встановлюються безпосередньо на бетонній підлозі або

фундаменті, вивіряють, підкладаючи під лапи електродвигуна металеві підкладки для регулювання їх в горизонтальній площині.

Дерев'яні прокладки не підходять, тому що вони при заливанні фундаменту набухають і збивають зроблену вивірку, а при затягуванні болтів спресовуються.

При ремінних передачах необхідно дотримуватися паралельності валів електродвигуна і механізму, який обертається ним, а також збігу середніх ліній по ширині шківів. Якщо ширина шківів однакова, а відстань між центрами валів не перевищує 1,5 м, вивірку проводять, сталеву вивірковою лінійкою.

Для цього лінійку прикладають до торців шківів і підганяють електродвигун, так щоб лінійка торкалася двох шківів у 4 точках. Якщо відстань між центрами валів більше 1,5 м, а вивіркова лінійка відсутня, то вивірку в цьому випадку роблять за допомогою струни і тимчасово встановлюють на шківів скоби. Центри валів підганяють для отримання однакових відстаней від скоб до струни. Вивірку також можна проводити тонким шнуром.

Вважають, що виміри виконані правильно, якщо різниця між цими сумами не перевищує 0,03...0,04 мм. В іншому випадку, вимірювання повторюють більш ретельно.

Затягування гайок фундаментних болтів стандартними ключами без надставок проводять рівномірно в два - три обходи в необхідній послідовності. Починають з фундаментних болтів, розташованих на осях симетрії опорної частини, після чого затягують найближчі до них болти, а потім, поступово віддаляючись від осі симетрії затягують інші.

#### **4.2 Технологія ремонту електрообладнання електроприводу ліфта**

Мета ремонту - відновлення втраченої працездатності та усунення виниклих в механізмах і вузлах відмов, які є наслідком зношування деталей, поломок і інших причин, за наявності яких не можлива нормальна експлуатація установки. Планування і підготовка ремонтів.

Планування ремонтів електродвигунів ведеться відповідно до вимог «Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж» (ПТЕ) по системі планово-попереджувальних ремонтів (ППР).

Планово-попереджувальний ремонт включає в себе комплекс заходів [8]: технічне обслуговування та нагляд під час роботи; періодичне проведення поточних і капітальних ремонтів; проведення профілактичних випробувань відповідно до вимог «Норми випробування електрообладнання».

Періодичність і терміни проведення ремонтів електродвигунів ув'язуються з ремонтом агрегатів, які приводяться до дії. Це сприяє зниженню трудовитрат на центрування агрегату з двигуном, підготовку робочого місця оперативним персоналом. Періодичність ремонтів встановлюється за графіком, затвердженим головним інженером підприємства.

При плануванні термінів капітальних і поточних ремонтів враховується технічний стан електродвигунів, обумовлений в процесі експлуатації (стан підшипників, нагрівання активних частин). Щорічні графіки ремонтів складаються в електроцеху підприємства, яке експлуатує електродвигун, і погоджуються з підрядною організацією, яка виконує ремонт електродвигунів.

У відповідності з графіком ремонту ведеться підготовча робота, яка включає в себе: складання графіка работ із зазначенням переліку пристосувань, необхідних для ремонту електродвигунів і термінів їх виготовлення або доставки на ремонтну площадку; заготовлення необхідних матеріалів і запчастин; підготовку протипожежних заходів і заходів з техніки безпеки; розробку та узгодження із суміжними цехами проекту організації спеціальних работ. Ці роботи виконуються персоналом експлуатуючої та підрядної організацій.

До виведення електродвигунів у ремонт всі вище перелічені підготовчі роботи мають бути закінчені, ремонтний персонал повинен бути укомплектований в бригади, ознайомлений з обсягом майбутніх работ і конструктивними особливостями електродвигунів. До початку работ керівник ремонту повинен ознайомитися зі звітною документацією про раніше виконані на цих електродвигунах ремонтах, звертаючи особливу увагу на результати попереднього ремонту, на час, відпрацьований підшипниками після їх заміни та зміни мастила, на значення повітряних зазорів і зазорів у підшипниках, на результати

випробувань. Повинні бути також враховані зауваження про роботу електродвигунів (перегрівання обмотки, активної сталі, вібраційний стан, температура підшипників).

Організація робочих місць для ремонту двигунів.

Найбільш прогресивною формою ремонтного обслуговування електродвигунів є централізований ремонт в умовах майстерні, виробничих ремонтних підприємств (ВРП), оснащених необхідним обладнанням та оснащенням для виконання всіх трудомістких розбірно-складальних і ремонтних операцій.

Будь-який вид типового ремонту, для виконання якого необхідно від'єднання електродвигуна від рами і агрегату, доцільно виконувати в умовах спеціальної майстерні.

Для виконання будь-якого виду ремонту прогресивними методами, що забезпечують високу продуктивність праці і якість ремонту, майстерня повинна обладнуватися енергетичними розводками (стиснене повітря, водопровід, електроживлення на різних напругах) і мати у своєму складі: камеру для пневмогідравлічного очищення електродвигунів, установку для миття деталей, фарбувальну і сушильну камери, стапелі для розбирання електродвигунів з вертикальним валом, кантувачі для статорів, підставки для статорів, підставки для установки і прокручування роторів, верстат для балансування роторів, верстат для виготовлення пазових клинів, свердлильний і заточувальний верстати, комплект знімачів (гідравлічних та гвинтових), комплект пристосувань для витягання секцій обмоток статорів електродвигунів, стелажі для розміщення вузлів і деталей при розбиранні електродвигунів та верстаки для ремонту вузлів і деталей електродвигунів.

При виконанні в майстерні відновлювального ремонту електродвигунів крім перерахованого вище обладнання до її складу повинні входити: камера для відпалу всипних обмоток, установка для вилучення всипних обмоток, намотувальні верстати, просочувальна ванна і установка для заливки підшипників ковзання.

При відсутності майстерень для централізованого ремонту електродвигунів

можуть бути організовані ремонтні майданчики.

Під «ремонтним майданчиком» мається на увазі вільна площа, яка призначена для перевантажувальних операцій і розміщення при капітальному ремонті складальних одиниць і деталей устаткування, ремонтних пристроїв і оснащення, а також для виконання ремонтних операцій, які за умовами технології необхідно проводити поблизу ремонтного обладнання. Ремонтні майданчики повинні обладнуватися енергетичними розводками.

Під енергетичними розводками маються на увазі розводки кисню, ацетилену, стисненого повітря тиском 40...60 Па і технічної води тиском 4...5 Па, а також стаціонарна електромережа напругою 380/220 В для забезпечення електрозварювальних робіт, підключення електроінструменту через перетворювач частоти напругою 36 В (220 Гц) і переносних ламп через трансформатор 220/12 В.

Ремонтний майданчик повинен мати загальне та місцеве електроосвітлення.

Захист електродвигунів повинно бути виконано у відповідності з ПУЕ. На електродвигунах, у яких можливе систематичне перевантаження з технічних причин, встановлюється захист від перевантаження, діючий на сигнал, автоматичне розвантаження механізму або на відключення. При відключенні електродвигуна відповідального механізму від дії захисту і відсутності резервного електродвигуна допускається повторне включення електродвигуна після ретельної перевірки схеми управління, захисту та самого електродвигуна.

Електродвигуни, які тривалий час перебувають у резерві, повинні бути постійно готові до негайного пуску; їх необхідно періодично оглядати та випробувати разом з механізмами за графіком, затвердженим технічним керівником Споживача. При цьому у електродвигунів зовнішнього розташування, які не мають обігріву, повинні перевірятися опір ізоляції обмотки статора і коефіцієнт абсорбції.

Електродвигуни повинні бути негайно відключені від мережі в наступних випадках:

- при нещасних випадках з людьми;
- поява диму або вогню з корпусу електродвигуна, а також з його

пускорегулювальної апаратури;

- поломка приводного механізму;
- різке збільшення вібрації підшипників механізму;
- нагрівання підшипників понад допустимої температури, встановленої в інструкції заводу - виробника;
- значне зниженням числа обертів, яке супроводжується швидким нагріванням електродвигуна.

Якщо робота на електродвигуні або що приводиться ним у рух механізмі пов'язана з дотиком до струмоведучих і обертових частин, електродвигун повинен бути відключений з виконанням технічних заходів, які запобігають його помилкове включення. При цьому у двошвидкісного електродвигуна повинні бути відключені і розібрані обидва ланцюги живлення обмоток статора.

Робота, яка не пов'язана з дотиком до струмоведучих або обертових частин електродвигуна і приведенням у рух механізму, може проводитися на працюючому електродвигуні. Не допускається знімати огороження обертових частин працюючих електродвигуна і механізму.

При роботі на електродвигуні допускається встановлення заземлення на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднує електродвигун з секцією РУ, щитом, складанням.

Якщо роботи на електродвигуні розраховані на тривалий термін, не виконуються або перервані на кілька днів, то від'єднана та відключена від нього кабельна лінія має бути заземлена також з боку електродвигуна. У тих випадках, коли перетин жил кабелю не дозволяє застосовувати переносні заземлення, у електродвигунів напругою до 1000 В допускається заземлювати кабельну лінію мідним провідником перерізом не менше перетину жили кабелю, чи з'єднувати між собою жили кабелю та ізолювати їх. Таке заземлення або з'єднання жил кабелю слід враховувати в оперативній документації нарівні з переносним заземленням.

Перед допуском до робіт на електродвигунах, здатних до обертання за рахунок з'єднаних з ними механізмів (димососи, вентилятори, насоси), штурвали запірної арматури (засувки, вентиля, шибері) повинні бути замкнені на замок.

Крім того, вжито заходів щодо гальмування роторів електродвигунів або розчеплення з'єднувальних муфт. Необхідні операції з запірною арматурою повинні бути узгоджені з начальником зміни технологічного цеху, дільниці із записом в оперативному журналі.

Зі схем ручного дистанційного і автоматичного управління електроприводами запірної арматури, направляючих апаратів повинна бути знята напруга. На штурвалах засувки, шиберів, вентилів повинні бути вивішені плакати «Не відкривати! Працюють люди», а на ключах, кнопках керування електроприводами запірної арматури – «Не вмикати! Працюють люди».

На однотипних або близьких за габаритами електродвигунах, встановлених поруч із двигуном, на якому належить виконати роботу, повинні бути вивішені плакати «Стій! Напруга» незалежно від того, перебувають вони в роботі чи зупинені.

При необхідності проведення випробування в процесі роботи порядок включення електродвигуна (для опробування) повинен бути наступним:

- виконавець робіт видаляє бригаду з місця роботи, оформляє закінчення роботи і здає наряд оперативному персоналу;
- оперативний персонал знімає встановлені заземлення, плакати, виконує складання схеми;
- після випробування при необхідності продовження роботи на електродвигуні оперативний персонал знову підготовлює робоче місце і бригада за нарядом повторно допускається до роботи на електродвигуні.

Робота на обертовому електродвигуні без дотику з струмоведучими і обертовими частинами може проводитися за розпорядженням.

### **4.3 Технічне обслуговування електрообладнання електроприводу ліфта**

Безперебійна робота ліфтів може бути забезпечена тільки при дотриманні вимог до їх експлуатації, своєчасному ремонті та від того, наскільки якісно проведено технічне обслуговування ліфтів.

Як правило, основні несправності ліфта виникають внаслідок зносу

механічних деталей і вузлів, порушення нормальної роботи електроапаратів і електроустаткування і не умілого користування.

Передчасний знос деталей виникає в результаті конструктивних дефектів, невідповідності матеріалів розрахунковим даним, порушення точності виготовлення і чистоти обробки. Зміни у стані електричних контактів і механізмів, що забезпечують безпеку користування ліфтом, можуть привести до аварії і навіть до нещасного випадку.

Загублені в процесі експлуатації технічні властивості ліфта повертають шляхом технічного обслуговування і ремонту, який виконується за системою планово-запобіжного ремонту (ПЗР).

Технічним обслуговуванням ліфтів називається сукупність засобів по технічному контролю за роботою механізмів і апаратів ліфта, дотриманню «Правил устрою і безпечної експлуатації ліфтів» і комплексу робіт, які передбачають очищення, змащування, регулювання, налагодження, профілактичний ремонт і ревізію устаткування та апаратури ліфтів, а також пуск ліфтів в роботу після їх вимушеної зупинки.

Для технічного обслуговування ліфтів у ряді міст створені спеціалізовані ділянки, ремонтні управління, трести і інші організації з постійним штатом механіків і інженерно-технічних працівників, а також виробничі бази - майстерні або заводи.

Спеціалізовані організації використовують новітні досягнення науки і техніки, передові методи праці, науково обґрунтовані норми і сучасну технологію ремонтних робіт.

Організацію робіт можна будувати двома способами. При першому технічне обслуговування ліфтів проводить одна група працівників, а ремонт - інша. При другому технічне обслуговування і всі види ремонтів проводить комплексна бригада з 2...4 осіб. Другий спосіб має перевагу, оскільки відповідальність за безперебійну роботу ліфтів і їх своєчасний і якісний ремонт покладена на одних і тих же людей. Знаючи, що своєчасно не усунені несправності викличуть збільшення об'єму ремонтних робіт, члени бригади протягом всього

міжремонтного періоду проводять роботи, які полегшують їх працю і скорочують терміни при проведенні річного ремонту. Кількість ліфтів, яка обслуговується однією бригадою, визначається залежно від складності їх конструкції, числа поверхів, інтенсивності роботи і віддаленості ліфтів.

Технічне керівництво бригадами здійснюють інженерно-технічні працівники.

Контроль якості технічного обслуговування ліфтів і ремонту здійснюють спеціально виділені і підготовлені для цієї мети працівники. Щорічно повний огляд і випробування ліфтів проводять інженери-контролери Держміськтехнагляду. Крім того, огляд із проведенням статичного і динамічного випробування проводять після заміни кабіни, канатів кабіни або канатів противаги, після заміни електродвигуна на електродвигун іншої характеристики, капітального ремонту або заміни лебідки, гальма, ловців і обмежувача швидкості. При зміні електричної схеми управління або заміні електропроводки ланцюга управління, а також при зміні конструкції кінцевого вимикача, дверних контактів, замків шахтних дверей, поверхових перемикачів або центрального поверхового апарату слід частково оглянути ліфт без статичного і динамічного випробування.

Всі заходи, які спрямовані на забезпечення безаварійної роботи ліфта, не можуть повністю зробити неможливими появи окремих дрібних несправностей, які викликають його непередбачену зупинку.

Технічне обслуговування (ТО) включає в себе діагностику стану двигуна, проведення обов'язкових (планових) заходів і усунення виявлених несправностей. Планове технічне обслуговування передбачає періодичне обслуговування двигуна і проводиться незалежно від стану двигуна. Непланове технічне обслуговування (поточний ремонт) проводиться при виявленні відхилень в роботі двигуна, виявлених при плановому технічному обслуговуванні або при аварійній зупинці двигуна під час експлуатації.

Захист електродвигунів повинен бути виконаний у відповідності з ПУЕ. На електродвигунах, у яких можливе систематичне перевантаження з технічних причин, встановлюється захист від перевантаження, діючий на сигнал, автоматичне розвантаження механізму або на відключення. При відключенні

електродвигуна відповідального механізму від дії захисту і відсутності резервного двигуна допускається повторне включення електродвигуна після ретельної перевірки схеми управління, захисту та самого електродвигуна.

Електродвигуни механізмів, технологічний процес, яких регулюється по струму статора, а також механізмів, схильних до технологічного перевантаження, повинні бути оснащені амперметрами, встановлюваними на пусковому щиті або панелі.

Електродвигуни, які тривалий час перебувають у резерві, повинні бути постійно готові до негайного пуску; їх необхідно періодично оглядати та випробувати разом з механізмами за графіком, затвердженим технічним керівником Споживача. При цьому у електродвигунів зовнішнього розташування, які не мають обігріву, повинні перевірятися опір ізоляції обмотки статора і коефіцієнт абсорбції.

Електродвигуни повинні бути негайно відключені від мережі в наступних випадках:

- при нещасних випадках з людьми;
- поява диму або вогню з корпусу електродвигуна, а також з його пускорегулювальної апаратури;
- поломка приводного механізму;
- різке збільшення вібрації підшипників механізму;
- нагрівання підшипників понад допустимої температури, встановленої в інструкції заводу виробника;
- значне зниження числа обертів, що супроводжується швидким нагріванням електродвигуна.

Якщо робота на електродвигуні або що приводиться ним у рух механізмі пов'язана з дотиком до струмоведучих і обертових частин, електродвигун повинен бути відключений з виконанням технічних заходів, що запобігають його помилкове включення. При цьому у двошвидкісного електродвигуна повинні бути відключені і розібрані обидві ланцюги живлення обмоток статора.

Робота, яка не пов'язана з дотиком до струмоведучих або обертових частин

електродвигуна і приведенням у рух механізму, може проводитися на працюючому електродвигуні. Не допускається знімати огороження обертових частин працюючих електродвигуна і механізму.

При роботі на електродвигуні допускається встановлення заземлення на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднує електродвигун з секцією РУ, щитом, складанням.

Якщо роботи на електродвигуні які розраховані на тривалий термін, не виконуються або перервані на кілька днів, то від'єднана та відключена від нього кабельна лінія має бути заземлена також з боку електродвигуна. У тих випадках, коли перетин жил кабелю не дозволяє застосовувати переносні заземлення, у електродвигунів напругою до 1000 В допускається заземлювати кабельну лінію мідним провідником перерізом не менше перетину жили кабелю, чи з'єднувати між собою жили кабелю та ізолювати їх. Таке заземлення або з'єднання жил кабелю слід враховувати в оперативній документації разом з переносним заземленням.

Перед допуском до робіт на електродвигунах, здатних до обертання за рахунок з'єднаних з ними механізмів (димососи, вентилятори, насоси), штурвали запірної арматури (засувки, вентиля, шибері) повинні бути замкнені на замок.

Крім того, вжито заходів щодо гальмування роторів електродвигунів або розчеплення з'єднувальних муфт. Необхідні операції з запірною арматурою повинні бути узгоджені з начальником зміни технологічного цеху, дільниці із записом в оперативному журналі.

Зі схем ручного дистанційного і автоматичного управління електроприводами запірної арматури, направляючих апаратів повинна бути знята напруга. На штурвалах засувки, шиберів, вентилів повинні бути вивішені плакати "Не відкривати! Працюють люди.", а на ключах, кнопках керування електроприводами запірної арматури - "Не вмикати! Працюють люди."

На однотипних або близьких за габаритом електродвигунах, встановлених поруч із двигуном, на якому належить виконати роботу, повинні бути вивішені плакати "Стій! Напруга." незалежно від того, перебувають вони в роботі чи зупинені.

При необхідності проведення випробування в процесі роботи порядок включення електродвигуна (для опробування) повинен бути наступним:

- виконавець робіт видаляє бригаду з місця роботи, оформляє закінчення роботи і здає наряд оперативному персоналу;
- оперативний персонал знімає встановлені заземлення, плакати, виконує складання схеми;
- після випробування при необхідності продовження роботи на електродвигуні оперативний персонал знову підготовляє робоче місце і бригада за нарядом повторно допускається до роботи на електродвигуні.

Робота на обертовому електродвигуні без дотику з струмоведучими і обертовими частинами може проводитися за розпорядженням.

#### Технічне обслуговування (ТО)

Періодичність ТО встановлюється у залежності від виробничих умов, але не частіше 1 разу на 2 місяці. При ТО треба робити:

- чистку електродвигунів від забруднень (видалення з доступних частин масла, вологи і пилу);
- перевіряти стан контактних кілець і щіток у електродвигунів з фазним ротором;
- перевіряти надійність заземлення і з'єднання електродвигунів з приводними механізмами;
- необхідно періодично контролювати режим роботи, не перевантажувати електродвигуни;
- справний стан болтових з'єднань електродвигунів.

Періодичність капітальних і поточних ремонтів електродвигунів, визначає технічний керівник Споживача. У залежності від місцевих умов, як правило, поточний ремонт та обдування електродвигунів повинні проводитися одночасно з ремонтом механізмів.

При ПР (поточних ремонтах) повинно проводитися:

- розбирання електродвигуна, внутрішня чистка його;
- заміна мастила підшипників, (заміна мастила в підшипниках при нормальних

умовах експлуатації повинна проводитися через 4000 годин роботи, але не частіше ніж 1 раз на рік). При роботі електродвигуна в курній і вологому середовищі зміна мастила повинна проводитися частіше, залежно від місцевих умов;

- вимірювання опору ізоляції обмоток від корпусу, при виявленні зниження опору ізоляції обмотки статора необхідно негайно вжити заходів до її відновлення відповідно до ПТЕЕС;

- після збирання електродвигуна роблять пробний пуск, під час якого переконуються у відсутності стуків і вібрацій, зачеплення вентилятора об кожух.

Профілактичні випробування і вимірювання на електродвигунах повинні проводитися відповідно до норм випробувань електрообладнання.

Для контролю наявності напруги на групових щитках і збірках електродвигунів повинні бути встановлені вольтметри або сигнальні лампи.

Для забезпечення нормальної роботи електродвигуна необхідно підтримувати напругу на шинах в межах від 100 до 105% номінального. У випадках необхідності допускається робота електродвигуна при відхиленні напруги від  $-5$  до  $+10\%$  номінального.

Вібрація електродвигуна, повинна бути виміряна на кожному підшипнику, вона не повинна перевищувати величин, зазначених у паспорті.

Контроль за навантаженням електродвигунів, щітковим апаратом, вібрацією, температурою елементів і охолоджувальних середовищ електродвигуна (обмотки і осердя статора, повітря, підшипників), догляд за підшипниками (підтримання необхідного рівня масла) і пристроями підведення охолоджувального повітря, а також операції з пуску і зупинки електродвигуна повинен здійснювати персонал підрозділу, обслуговуючого механізму.

## **5 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **5.1 Організація безпечного монтажу вантажно-пасажирського ліфта**

Загальні вимоги. Ліфти повинні бути спроектовані, виготовлені, змонтовані і введені в експлуатацію, модернізовані, реконструйовані у відповідності з вимогами «Правила улаштування електроустановок» [1] (далі - ПУЕ) та інших чинних нормативних документів. Відступи від вимог цих Правил дозволяються в порядку, установленому чинним законодавством.

Виготовлення, монтаж, модернізація, ремонт, реконструкція і експлуатація ліфтів повинні проводитись за технічною документацією спеціалізованої організації (підприємства) (далі - спеціалізована організація).

Кожний виготовлений ліфт підприємством-виробником повинен бути забезпечений паспортом згідно з додатком 1 цих Правил і документацією згідно з ГОСТ 22011-95.

Монтаж ліфта згідно з ДСТУ 36.1-001 та інструкція з монтажу підприємства-виробника, модернізація - згідно з ДСТУ 36.1-002.

Ліфти повинні відповідати умовам їх експлуатації (кліматичні фактори, агресивність або вибухонебезпечність середовища, режим роботи, вітрові навантаження, сейсмічність району установлення).

#### **Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів ДНАОП 0.00-1.02-99**

1. Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів (далі - Правила) поширюються на: електричні та гідравлічні ліфти (далі - ліфт) вантажопідйомністю 40 кг та більше; електричні багатокабінні пасажирські підйомники безперервної дії; будівельні підйомники.

2. Правила не поширюються на ліфти, які установлені: в шахтах гірничої промисловості, на судах та інших плавучих спорудах, на літаках та інших апаратах, які літають.

3. Правила установлюють норми та вимоги до проектування, конструкції, виготовлення, монтажу, ремонту, технічного обслуговування, експлуатації, модернізації, реконструкції та заміни ліфтів і підйомників, які спрямовані на

забезпечення їх безпечної експлуатації.

### **Монтаж механічного обладнання електричних ліфтів.**

Двері шахти. Всі входні і завантажувальні прорізи повинні бути обладнані дверима. Двері шахти можуть бути обертально-розкривними, розсувними або комбінованими. Відчинення (зачинення) дверей може здійснюватись вручну або автоматично.

Вертикально-розсувні двері шахти можуть бути встановлені лише на вантажний малий і вантажний ліфти, в яких не дозволяється транспортування пасажирів за умови виконання таких вимог:

- а) стулки дверей повинні бути підвішені не менше ніж на двох тримаючих елементах;
- б) коефіцієнт запасу міцності тримаючих елементів повинен бути не менше ніж 8;
- в) стулки дверей, які зачиняються (відчиняються) вручну, повинні бути врівноваженими.

Обертально-розкривні і комбіновані двері шахти повинні відчинятися тільки назовні.

У дверей шахти, які зачиняються автоматично, у разі попадання між стулками перешкод повинен спрацьовувати пристрій реверсу. Таким пристроєм може бути і пристрій реверсу дверей кабіни. Останні 50 мм переміщення кожної ведучої дверної панелі можуть знаходитись за зоною дії цього пристрою.

Зусилля статичного затиску автоматичних і комбінованих дверей не повинне перевищувати 150 Н. Ця вимога не відноситься до першої третини шляху переміщення дверей.

Кінетична енергія дверей шахти і механічних елементів, з якими вони жорстко зв'язані, не повинна перевищувати 10 Дж.

Середня швидкість зачинення розсувних дверей розраховується для всього шляху її переміщення, крім:

- а) 25 мм з кожного кінця шляху переміщення дверей з центральним відкриттям;

б) 50 мм з кожного кінця шляху переміщення дверей з боковим відкриттям.

У випадку, коли з'єднані між собою двері кабіни і шахти діють одночасно, вимоги цього пункту відносяться до їх об'єднаного дверного механізму.

Двері шахти повинні мати суцільну огорожу. Дозволяється часткова огорожа дверей металевою сіткою або склом, які дозволені для огорожі шахти; при цьому на висоту не менше 1000 мм від рівня посадкової вантажної площадки двері повинні мати суцільну огорожу без застосування скла (за винятком дверей панорамних ліфтів).

У разі прикладання ззовні до суцільної огорожі дверей шахти в будь-якому місці перпендикулярно до площини стулки навантаження 300 Н прогин не повинен бути більше 15 мм, залишкова деформація не дозволяється. Навантаження повинно бути рівномірно розподіленим на площі 5 см<sup>2</sup> круглої чи квадратної форми.

У разі прикладання до будь-якої точки сітки огорожі дверей шахти перпендикулярно площині сітки навантаження 150 Н прогин сітки не повинен бути більше 25 мм.

У дверях шахти ліфта, до кабіни якого не дозволяється вхід людей, оглядові отвори дозволяється не виконувати за умови наявності сигналізації про перебування кабіни на рівні вантажної площадки.

Ширина або діаметр оглядового отвору дверей шахти повинні бути не більше 120 мм і не менше 50 мм.

Площа оглядового отвору повинна бути:

а) у ліфта самотійного користування - не менше 300 см<sup>2</sup>;

б) у ліфта, в кабіні якого не дозволяється транспортування людей, а також який експлуатується в супроводі ліфтера, - не менше 20 см<sup>2</sup>.

У разі ширини оглядового отвору більше 80 мм, його нижній край повинен бути розташований на висоті не менше 1000 мм від рівня посадкової (завантажувальної) площадки.

У вантажного ліфта з внутрішнім або зовнішнім керуванням дозволяється доведення кабіни з швидкістю руху кабіни не більше 0,15 м/с до рівня завантажувальної площадки з відчиненими дверима шахти і кабіни, якщо рівень

підлоги кабіни перебуває в межах 150 мм від рівня підлоги вантажної площадки.

Автоматичний замок повинен мати конструкцію та бути встановлений так, щоб виключалася можливість відмикання дверей ззовні шахти.

Відмикання дверей, замкнених автоматичним замком, ззовні шахти, повинне виконуватися тільки обслуговуючим персоналом за допомогою спеціального пристрою, конструкція якого розроблена підприємством - виробником ліфта.

У разі встановлення ліфта в шахті, яка огорожена металевою сіткою, повинно бути виконане додаткове огороження металевим листом товщиною не менше 1 мм з бокової сторони шахти, з боку якої знаходиться ролик автоматичного замка.

Розмір огорожі повинен бути не менше 400 × 600 (ширина × висота) мм, а розміщення за висотою - симетричне відносно ролика автоматичного замка.

У ліфта з обертально-розкривними дверима, крім огороження з бокової сторони, повинна бути огорожена ділянка з боку посадкової (завантажувальної) площадки, яка розміщена безпосередньо над роликом автоматичного замка, висотою не менше 300 мм і обмежена об'язкою дверного прорізу і стояком шахти.

Двері шахти, які зачиняються вручну, крім автоматичного замка, повинні бути обладнані неавтоматичним замком або пристроєм, який утримує двері в зачиненому стані.

Лебідка і блоки. Лебідка ліфта та елементи її кріплення повинні бути розрахованими на навантаження, які виникають у робочому режимі, під час випробування ліфта, а також під час зняття кабіни (противаги) з уловлювачів.

Барабанна лебідка або лебідка з зірочкою, які застосовуються в ліфті, який обладнаний противагою, повинні бути також розрахованими на навантаження, які виникають під час посадки противаги на буфер (упор), крім випадків, коли відсутні буфери (упори) для взаємодії з противагою.

Барабанна лебідка або лебідка з зірочкою не повинні застосовуватись у ліфті, номінальна швидкість якого перевищує 0,63 м/с.

Використання електричної талі як лебідки ліфта не дозволяється.

Спадання канатів (ланцюгів) з приводних і напрямних елементів повинно бути неможливим як у робочих режимах ліфта, так і під час його випробування.

Між приводними елементами канатів або ланцюгів (канат, тяговий шків,

барабан, зірочка) і гальмовим шківом повинен бути нерозривний кінематичний зв'язок.

## **5.2 Організація охорони праці і техніки безпеки при обслуговуванні ліфта**

Ліфтами слід користуватися у повній відповідності з Правилами і безпечної експлуатації ліфтів [3].

Кожен знов встановлений або реконструйований вантажний ліфт необхідно зареєструвати в органах Держнагляду охорони праці. Експлуатація ліфта допускається тільки після його огляду і випробування, а також письмового дозволу інспектора Держнагляду охорони праці.

Ліфти, що діють, підлягають огляду і випробуванню в строк, який в Держнаглядом охорони праці. Експлуатація ліфта, у якого закінчилися вказівки в його паспорті, термін подальшого випробування, не допускається для експлуатації.

Стіни шахти ліфта, розташованого усередині будинку, що декілька поверхів, а також перекриття шахти виготовляються з вогнетривких або напіввогнетривких матеріалів.

Шахту і кабінку ліфта необхідно захищати та . Огорожі шахти ліфта в межах нижнього поверху допускається виконувати для зручності огляду і обслуговування знімними щитами. Кабінку вантажного ліфта можна металевою сіткою з дроту, діаметром не менше 1, 2 мм, з отворами не більше 20 мм за умови пристрою внизу кабіни огорожі металевих листів заввишки від рівня підлоги не менше 1000 мм.

Прямок ліфта, машинне приміщення, приміщення верхніх блоків, майданчик перед дверима ліфтів, проходи і коридори, що ведуть до ліфта, необхідно обладнати стаціонарним електричним освітленням.

Машинне відділення ліфта має бути ізольованим, сухим, добре вентильованим. Прохід до машинного відділення має бути вільним.

У машинному відділенні і приміщенні верхніх блоків забороняється:

- установка механізмів і приладів, що не мають відношення до ліфта; зберігання змащувальних олій і вогнебезпечних матеріалів.

На зовнішній стороні всіх дверей шахти ліфта прикріплюються таблички з

вказівкою ліфта (вантажний, вантажний з провідником) і його допустима вантажопідйомність. На дверях першого поверху або біля них вивішується реєстраційний номер ліфта.

Біля дверей шахти на всіх поверхах і усередині кабіни необхідно вивісити інструкцію про правила користування ліфтом, зважаючи на правила охорони праці.

Технічний нагляд за ліфтом доручається особі, що має посвідчення про проходження спеціального навчання і права нагляду за ліфтами. У паспорті кожного ліфта заноситься прізвище, ім'я, по батькові і підпис особи, що відповідає за справний стан і безпечну дію ліфта.

Технічний огляд ліфта проводиться не частіше одного разу на десять днів. У разі виявлення неполадок в роботі ліфта його необхідно негайно зупинити.

На основному завантажувальному поверсі вказується номер телефону, по якому необхідно повідомити про несправність ліфта.

Після закінчення роботи ліфт необхідно відключити від живлячої мережі.

Двері машинного відділення, приміщення верхніх блоків і вхід в приямок необхідно замикати на замок; ключі зберігаються у чергового електрика, який обслуговує ліфт.

## **6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА**

### **6.1 Розрахунок економічної ефективності від модернізації електроприводу вантажно-пасажирського ліфта жилого будинку**

У даному розділі КРБ проводимо розрахунок економічної ефективності від модернізації системи керування електроприводу вантажно-пасажирського ліфта жилого будинку.

У приводі вантажно-пасажирського ліфта застосовано повільне автоматичне регулювання швидкості руху кабіни шляхом модернізації електроприводу за допомогою додатково встановленого перетворювача частоти. Регулювання частоти обертання приводного вала лебідки дозволяє оптимізувати процес розгону, руху і гальмування кабіни ліфта та виключає її поштовхи.

Після модернізації електроприводу вантажно-пасажирського ліфта зменшується питома витрата енергії для руху кабіни, підвищується ККД електропривода, зменшується витрата електроенергії та зростає надійність роботи ліфта.

У порівнянні з базовою системою управління нова система має наступні переваги:

- забезпечує плавний рух кабіни ліфта при пуску та гальмуванні кабіни;
- зниження зносостійкості механізмів;
- покращення показників економії електроенергії;
- підвищення ефективності та надійності системи;
- збільшення строку служби ліфта;
- можливість дистанційного управління процесом руху кабіни.

Визначимо ефективність застосування нової системи управління електропривода ліфта шляхом зіставлення показників базового та нового варіантів.

При зіставленні варіантів технічних рішень по впровадженню нових видів обладнання і технологічних процесів використовують метод зрівняльної економічної ефективності. При цьому методі основними показниками є мінімум приведених витрат, котрий є сумою річних експлуатаційних витрат та капітальних

вкладень, приведених до одної розмірності у відповідності з нормативним коефіцієнтом ефективності.

Капітальні вкладення включають в собі всі одночасні витрати: відпускну ціну нової техніки, витрати на її транспортування, монтаж і налагодження, витрати на демонтаж старого обладнання та інше:

$$Z = C + E_H \cdot K, \quad (6.1)$$

де  $C$  – сума річних експлуатаційних витрат, грн.;

$K$  – капітальні вкладення, грн.;

$E_H$  – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень,  $E_H = 0,08 \dots 0,20$  (для нової техніки  $E_H = 0,20$ ).

Повні експлуатаційні витрати базового і нового варіантів:

$$Z_{BB} = Z_{EB} + Z_{PB} + Z_{AB} + Z_{MB}, \quad (6.2)$$

$$Z_{BH} = Z_{EH} + Z_{PH} + Z_{AH} + Z_{MH}, \quad (6.3)$$

де  $Z_{EB}$ ,  $Z_{EH}$  – витрати на електроенергію базового і нового варіантів;

$Z_{PB}$ ,  $Z_{PH}$  – витрати на ремонт електропривода базового і нового варіантів;

$Z_{AB}$ ,  $Z_{AH}$  – витрати на амортизацію електропривода базового і нового варіантів;

$Z_{MB}$ ,  $Z_{MH}$  – витрати на допоміжні матеріали для ремонту електропривода базового і нового варіантів;

$B, H$  – індекси « $B$ » і « $H$ » відносяться до базового і нового варіантів.

Річний економічний ефект від модернізації електропривода ліфта за експлуатаційними витратами згідно формули:

$$Z_{EF} = Z_{EB} - Z_{EH}. \quad (6.4)$$

де  $Z_{BB}$ ,  $Z_{BH}$  – повні експлуатаційні витрати базового і нового варіантів.

Строк окупності капітальних витрат розраховують за формулою:

$$T_{OK} = \frac{K_H - K_B}{Z_{BB} - Z_{BH}}, \quad (6.5)$$

де  $T_{OK}$  – строк окупності капітальних витрат, рік;

$K_B$ ,  $K_H$  – капітальні вкладення базового і нового варіантів;

$Z_{BB}$ ,  $Z_{BH}$  – повні експлуатаційні витрати базового і нового варіантів.

## 6.2 Визначення капітальних витрат для базового і нового варіантів

Кошториси на обладнання для базового і нового варіантів приведені у табл.

6.1.

Таблиця 6.1 – Визначення кошторису капітальних витрат для нового та базового варіантів

| Назва електрообладнання                | N, шт. | Кошторисна вартість |              |              |              |
|--|--------|---------------------|--------------|--------------|--------------|
|  |        | Базова              |              | Нова         |              |
|  |        | за шт., грн.        | Всього, грн. | за шт., грн. | Всього, грн. |
| Перетворювач частоти                   | 1      | -                   | -            | 12500        | 12500        |
| Релейно-контакторна система управління | 1      | 6500                | 6500         | 2500         | 2500         |
| Двигун                                 | 1      | 4200                | 4200         | 4200         | 4200         |
| Всього                                 |        |                     | 10700        |              | 19200        |
| Транспортні розходи (13%)              |        |                     | 1391         |              | 2496         |
| Всього ціна обладнання                 |        |                     | 12091        |              | 21696        |
| Монтажні роботи (10%)                  |        |                     | 1070         |              | 1920         |
| Капітальні вкладення, всього           |        |                     | 13161        |              | 23616        |

Кошторис капітальних витрат для нового та базового варіантів складає:

$$K_B = 13161 \text{ грн.}, K_H = 23616 \text{ грн.}$$

## 6.3 Розрахунок основного фонду зарплати

Розрахуємо оплату праці за існуючим тарифом. Так як установка є установкою з напругою до 1000 В, номінальна напруга живлення  $U = 0,4$  кВ, то згідно ПУЕ обслуговувати дану установку можуть 2 робочих, у котрих розряд не нижче четвертого, а група допуску - не нижче третього за електробезпечністю. Один робочий обслуговував та ремонтує  $n = 4$  вантажно-пасажирського ліфта висотного будинку.

Тарифна ставка електромонтажника 1-го розряду  $T_{C1}$  складає 16,0 грн./год., а тарифна ставка робочого 4-го розряду  $T_{C4}$  на 27% більше:

$$T_{C4} = 1,27 \cdot T_{C1} . \quad (6.6)$$

Тоді:

$$T_{C4} = 1,27 \cdot T_{C1} = 1,27 \cdot 16,0 = 20,32 \frac{\text{грн.}}{\text{год.}}$$

Розрахуємо місячну заробітну плату електромонтажника 4-го розряду за існуючим тарифом:

$$З_T = T_{C4} \cdot m = 20,32 \cdot 25 \cdot 8 = 4064 \text{ грн.}$$

де  $T_{C4}$  - це тарифна ставка робочого IV розряду;

$m$  – кількість робочих днів у місяці,  $m = 25$ .

Оплата праці за професійну і майстерну діяльність:

$$П_{ПМ} = \frac{З_T \cdot Н_{ПМ}}{100} , \quad (6.7)$$

де  $Н_{ПМ}$  – надбавка за професійну діяльність (для робітників четвертого розряду складає 10%).

Тоді:

$$П_{ПМ} = \frac{З_T \cdot Н_{ПМ}}{100} = \frac{4064 \cdot 10}{100} = 406 \text{ грн.}$$

Оплата праці за шкідливі умови праці:

$$П_{УП} = \frac{(З_T + П_{ПМ}) \cdot Н_{УП}}{100} . \quad (6.8)$$

Тоді:

$$П_{УП} = \frac{(З_T + П_{ПМ}) \cdot Н_{УП}}{100} = \frac{(4064 + 406) \cdot 17}{100} = 760 \text{ грн.}$$

де  $Н_{УП}$  - надбавка за умови праці, для четвертого розряду складає 17%.

Всього постійна заробітна плата складає:

$$З_{\text{пост}} = З_T + П_{ПМ} + П_{УП} . \quad (6.9)$$

Тоді:

$$З_{\text{пост}} = З_T + П_{ПМ} + П_{УП} = 4064 + 406 + 760 = 5230 \text{ грн.}$$

Оплата премій  $P = 15 \dots 20\%$ :

$$P_{\text{ПР}} = \frac{Z_{\text{ПОСТ}} \cdot P}{100}, \quad (6.10)$$

Тоді:

$$P_{\text{ПР}} = \frac{Z_{\text{ПОСТ}} \cdot P}{100} = \frac{5230 \cdot 18}{100} = 941 \text{ грн.}$$

Всього основна заробітна плата:

$$Z_{\text{ОСН}} = Z_{\text{ПОСТ}} + P_{\text{ПР}}. \quad (6.11)$$

Тоді:

$$Z_{\text{ОСН}} = Z_{\text{ПОСТ}} + P_{\text{ПР}} = 5230 + 941 = 6171 \text{ грн.}$$

Розрахуємо додаткову заробітну плату (10,0%):

$$Z_{\text{ДОП}} = Z_{\text{ПОСТ}} \cdot 0,1. \quad (6.12)$$

Тоді:

$$Z_{\text{ДОП}} = Z_{\text{ПОСТ}} \cdot 0,1 = 5230 \cdot 0,1 = 523 \text{ грн.}$$

Знайдемо суму відрахування у фонд соціального страхування, що складає 22,% від суми додаткової і основної заробітної плати:

$$Z_{\text{ПФ}} = \frac{22,0 \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}})}{100}. \quad (6.13)$$

Тоді:

$$Z_{\text{ПФ}} = \frac{22,0 \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}})}{100} = \frac{22,0 \cdot (6171 + 523)}{100} = 1493 \text{ грн.}$$

Загальний фонд оплати праці двох робочих електромеханіків 4-го розряду за рік (12 місяців) на один вантажно-пасажирський ліфт складає:

$$\Phi = \frac{2 \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}} + Z_{\text{ПФ}}) \cdot 12}{n}, \quad (6.14)$$

де  $n$  – вантажно-пасажирських ліфтів,  $n = 4$ .

Тоді:

$$\Phi = \frac{2 \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}} + Z_{\text{ПФ}}) \cdot 12}{n} = \frac{2 \cdot (6171 + 523 + 1493) \cdot 12}{4} = 49686 \text{ грн.}$$

## 6.4 Розрахунок експлуатаційних витрат для базового і нового варіантів

6.4.1 Витрати на електроенергію для базового варіанту складають:

$$Z_E = P \cdot n_0 \cdot m_0 \cdot T, \quad (6.15)$$

де  $P$  - потужність двигуна,  $P = 4,0$  кВт;

$n_0$  - кількість робочих годин у день,  $n_0 = 16$  год.;

$m_0$  - кількість робочих днів у році,  $m_0 = 365$ ;

$T$  - тариф на вартість електроенергії,  $T = 2,95$  грн./кВт·год.

Тоді:

$$Z_{EB} = P \cdot n_0 \cdot m_0 \cdot T = 4,0 \cdot 16 \cdot 365 \cdot 2,95 = 34690 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію при встановленні частотного перетворювача зменшуються на 10%:

$$Z_{EH} = Z_{EB} - 0,1 \cdot Z_{EB} . \quad (5.16)$$

Тоді:

$$Z_{EH} = Z_{EB} - 0,1 \cdot Z_{EB} = 34690 - 0,1 \cdot 34690 = 31220 \text{ грн.}$$

#### 6.4.2 Витрати на поточний ремонт обладнання електропривода вантажно-пасажирського ліфта

При використанні ПЧ зменшуються пускові струми, втрати енергії в кабелях, збільшується надійність всієї установки, таким чином кількість поломів зменшується, а надійність системи електропривода зростає. Плануючі витрати на поточний ремонт та обслуговування при базовому варіанті складають 5%, а при новому 3% від капіталовкладень для базового і нового варіантів.

Кошторис капітальних витрат для нового та базового варіантів складає:

$$K_B = 13161 \text{ грн.}, K_H = 23616 \text{ грн.}$$

Тоді:

$$Z_{PB} = 0,05 \cdot K_B , \quad (6.17)$$

тоді:

$$Z_{PB} = 0,05 \cdot 13161 = 658 \text{ грн.}$$

Тоді:

$$Z_{PH} = 0,03 \cdot K_H , \quad (6.18)$$

тоді:

$$Z_{PH} = 0,03 \cdot K_H = 0,03 \cdot 23616 = 708 \text{ грн.}$$

6.4.3 Витрати на амортизаційні відрахування:

$$Z_A = E_H \cdot K, \quad (6.19)$$

де  $E_H = 0,08 \dots 0,20$  – норма амортизаційних відрахувань,  $E_H = 0,20$ .

Тоді:

$$Z_{AB} = E_{HB} \cdot K_B = 0,20 \cdot 13161 = 2632 \text{ грн.}$$

$$Z_{AH} = E_{HH} \cdot K_H = 0,20 \cdot 23616 = 4723 \text{ грн.}$$

6.4.4 Витрати на допоміжні матеріали для ремонту при базовому варіанті складають  $k_B = 10,0\%$ , а при новому  $k_H = 5,0\%$  від фонду оплати праці:

$$Z_M = k \cdot \Phi. \quad (6.20)$$

Тоді:

$$Z_{MB} = k_B \cdot \Phi = 0,10 \cdot 49686 = 4969 \text{ грн.},$$

$$Z_{MH} = k_H \cdot \Phi = 0,05 \cdot 49686 = 2485 \text{ грн.}$$

6.4.5 Повні експлуатаційні витрати базового і нового варіантів згідно формулам (6.2) і (6.3) складають:

$$Z_{BB} = Z_{EB} + Z_{PB} + Z_{AB} + Z_{MB} = 34690 + 658 + 2632 + 4969 = 42949 \text{ грн.},$$

$$Z_{BH} = Z_{EH} + Z_{PH} + Z_{AH} + Z_{MH} = 21220 + 708 + 4723 + 2485 = 29136 \text{ грн.}$$

## 6.5 Розрахунок річної економічної ефективності та строку окупності

6.5.1 Розрахуємо річний економічний ефект від модернізації електроприводу вантажно-пасажирського ліфта за експлуатаційними витратами згідно формули (6.4):

$$Z_{EF} = Z_{EB} - Z_{EH} = 42949 - 29136 = 13813 \text{ грн.}$$

6.5.2 Строк окупності капітальних витрат на модернізацію електроприводу ліфта згідно формули (6.5) складає:

$$T_{OK} = \frac{K_H - K_B}{З_{ВБ} - З_{ВН}} = \frac{23616 - 13161}{42949 - 29136} = \frac{10455}{13813} = 0,74 \text{ років.}$$

**Висновок.** Річний економічний ефект від модернізації електроприводу ліфта за експлуатаційними витратами складає  $З_{ЕФ} = 13813$  грн./рік, а строк окупності капітальних витрат дорівнює  $T_{OK} = 0,74$  років.

Модернізація електроприводу ліфта економічно доцільна.

## 7. РЕЗУЛЬТАТИВНА ЧАСТИНА

### 7.1 Рекомендації щодо надійної та безперебійної роботи електроприводу ліфта

Питання надійної і безперебійної роботи електроприводів ліфтів та енергозбереження в останні роки набуває усе більшої актуальності. Це обумовлено безперервним зростанням цін на основні енергоресурси, що призводить до збільшення вартості електроенергії. З іншого боку зниження енерговитрат дозволяє зменшити собівартість виробленої продукції, що значно покращує її конкурентоспроможність

Енергозбереження на виробництві, по суті, зводиться до зниження втрат енергії у споживачів. Враховуючи, що, як правило, основними споживачами на виробництві є електродвигуни, можна зробити висновок, що одним із пріоритетних завдань енергозбереження є зниження втрат в електроприводі.

В даний час найбільшого поширення в електроприводах ліфтів набули асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором. Однак у більшості механізмів використовується черв'ячний редуктор, який не дозволяє передавати енергію у зворотному напрямку. Можливість повернення енергії назад у мережу дозволила б значно збільшити енергозбереження, але в даний час це вимагає застосування досить дорогого устаткування і істотної зміни механічної частини привода.

Зменшення витрат електроенергії в електроприводах ліфтів та збільшення надійності їх роботи забезпечують наступні заходи:

- а) заміна старих двигунів на нові, більш економічні;
- б) впровадження економічних способів регулювання швидкості руху кабін;
- в) блокування роботи ліфта з пристроями відкривання і закривання дверцят кабін;
- г) усунення відхилень від проекту;
- д) усунення експлуатаційних дефектів;

е) впровадження автоматичного керування електроприводами ліфтів.

Регулювання швидкості руху кабін здійснюється зміною швидкості приводного двигуна. Найбільшу економію електроенергії можливо отримати регулюванням швидкістю приводного двигуна, – до 25%. Для цього використовують багато швидкісні двигуни з фазним ротором.

Значно скорочуються витрати електроенергії, якщо не допустити відхилень від розробленого проекту під час монтажу і налагодження обладнання.

Впровадження автоматичного керування електроприводами руху кабін ліфтів зменшує витрати електроенергії в електроприводах ліфтів та збільшує надійність їх роботи.

## **7.2 Висновки і пропозиції щодо прийнятих проектних рішень**

В розділі «Вступ» показано, що більш ніж 70% виробленої електроенергії споживається системами електроприводів виробничих машин. Електроприводи з частотним керуванням системи ПЧ-АД дозволяють заощаджувати до 10...15% енергії споживання і поліпшувати управління технологічними процесами.

В розділі «1 Загальна характеристика роботи» описані технічні характеристики вантажних і пасажирських ліфтів, обґрунтована актуальність теми, обраний об'єкт та мета модернізації електроприводу вантажно-пасажирського ліфта.

В розділі «2 Розрахунково-конструкторська частина» описана конструкція і технічні характеристики вантажно-пасажирського ліфта, розрахована кінематична схема ліфта, потужності двигуна і перетворювача частоти для електроприводу ліфта.

В розділі «3. Моделювання роботи електроприводу на OEM» розроблена математична модель електропривода вантажно-пасажирського ліфта у середовищі MATLAB Simulink і результати модулювання його роботи на EOM.

В розділі «4 Організаційна та технологічна частина» описана організація та технологія монтажу, ремонту і обслуговування електроприводу ліфта.

В розділі «5 Монтаж і експлуатація ліфтів та охорона праці» розкрито

організаційні та технічні заходи електробезпеки під час монтажу, ремонту та випробувань електроприводу ліфта.

В розділі «6 Економічна частина» приведений розрахунок економічної ефективності від модернізації електроприводу вантажно-пасажирського ліфта. Економічний ефект від модернізації електроприводу вантажно-пасажирського ліфта 13813 грн./рік, строк окупності 0,74 роки.

В розділі «7 Результативна частина» приведені висновки і рекомендації за прийнятими в роботі рішеннями.

Модернізація електроприводу вантажно-пасажирського ліфта технічно і економічно доцільна та пропонується для впровадження у громадянському будівництві України.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. – Київ: Міненерговугілля, 2017. – 617 с.
2. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Видання офіційне. – Київ: Міненерговугілля, 2018. – 361 с.
3. Ліфти пасажирські, вантажні та підйомники  
Джерело: [http://translift.com.ua/ua/statti/shcho-krashche-vstanoviti-vantajniy-lift-abo-pidyomnik\\_.html](http://translift.com.ua/ua/statti/shcho-krashche-vstanoviti-vantajniy-lift-abo-pidyomnik_.html)
4. Пасажирські та вантажні ліфти, їх особливості  
Джерело: <https://lift.kiev.ua/passazhirskie-i-gruzovye-lifty-ih-osobennosti/>
5. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — Київ: Знання, 2009. — 400 с. — ISBN 978-966-346-644-6.
6. Півняк Г. Г. Електричні машини: навч. посіб. / Г. Г. Півняк та ін. – Д.: НГУ, 2003. – 328 с. – ISBN 966-8271-36-X.
7. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / О.П. Чорний, А.В. Луговой, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, О.В. Садовой. – Кременчук, 2001. – 410 с.
8. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.
9. Моделювання електромеханічних систем.  
Джерело: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/15658/1/Modelyuvannia\\_asunhron\\_system.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/15658/1/Modelyuvannia_asunhron_system.pdf)
10. Рудницький В.Г. Внутрішньо цехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. – 280 с.
11. Монтаж, наладка і експлуатація електрообладнання. Джерело: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/11538/3/ciganov-montazh-elektroobl-lekc-2022.pdf>
12. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів СВО «Бакалавр» спеціальності 141 – «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка», галузі знань 14 – «Електрична інженерія» / Укладачі: П.І. Осадчук, В.Ф. Бабіч, А.А. Галіулін, Є.П. Штепа.  
– Одеса: ОНТУ, 2021. – 55 с.