

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____	<u>О. КОЛЛАРОВ</u>
(підпис)	(ініціали, прізвище)
«___» _____	2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА

на тему Розрахунок та вибір електроприводу підйомної установки із
векторним керуванням

Виконав студент 4 курсу, групи ЕЛКЗ-19
(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)
та електромеханіка»

_____	_____
Сергій ПАНОВИЧ	(підпис)
(ім'я та прізвище)	

Керівник _____	_____
ст. викл. каф. Е. НЄМЦЕВ	(підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)	

Рецензент _____	_____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)	(підпис)

Нормоконтроль:

_____	Е. НЄМЦЕВ
(підпис)	

(дата)

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____	_____
	(підпис)

(дата)

ЛУЦЬК – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сергію ПАНОВИЧУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Розрахунок та вибір електроприводу підйомної установки із векторним керуванням

керівник роботи Едуард НЄМЦЕВ, ст. викл. каф.

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: _____

Вантажопідйомність 630 кг, швидкість руху 1,5 м/с, число поверхів 5,
висота поверху 3,3 м, напруга живлення 380 В. Ліфт розташований у
торгівельному центрі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Аналіз ліфтової галузі

2. Розрахунок та вибір елементів електромеханічної системи

3. Синтез векторної системи автоматичного керування

4. Моделювання системи електроприводу

5. Розробка заходів з охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Вісім слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 4	Е. НЄМЦЕВ, ст. викл. каф.		
Розділ 5	О. КОЛЛАРОВ зав. каф.		
Нормоконтроль	Е. НЄМЦЕВ, ст. викл. каф.		

7. Дата видачі завдання 08 травня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	08.05.23 – 12.05.23	
2.	Розділ 2	12.05.23 – 19.05.23	
3.	Розділ 3	19.05.23 – 26.05.23	
4.	Розділ 4	28.05.23 – 07.06.23	
5.	Розділ 5	07.06.23 – 12.06.23	
6.			
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис)

Сергій ПАНОВИЧ _____
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Едуард НЄМЦЕВ _____
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Сергій ПАНОВИЧ. Розрахунок та вибір електроприводу підйомної установки із векторним керуванням/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає чотири розділи, висновків, переліку джерел посилання та додатків.

У першому розділі наведено загальні відомості про ліфтові підйомні установки, класифікація ліфтів, розглянуті різновиди кінематичних схем ліфтових підйомних установок.

У другому розділі наведені вимоги до конструкції, виконані розрахунки канатів, ваги кабіни та противаги, сил спротиву руху кабіни та противаги, статичних зусиль.

У третьому розділі здійснено огляд теоретичних відомостей про векторне керування, проведений синтез векторної системи керування, синтез регуляторів струму, потоку та швидкості.

У четвертому розділі було здійснено моделювання системи електроприводу в бібліотеці Simulink програмного пакету MATLAB.

Ключові слова: ліфтова підйомна установка, електропривод, асинхронний двигун, редуктор, канат, розривне зусилля, противага, регулятор, векторне керування, перехідний процес, статичне навантаження, моделювання, MATLAB, Simulink

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ЛІФТОВОЇ ГАЛУЗІ	8
1.1 Загальні відомості про ліфтові підйомні установки	8
1.2 Класифікація ліфтів	10
1.3 Різновиди кінематичних схем ліфтів	13
1.4 Технічна характеристика ліфтових підйомних установок	16
1.5 Влаштування, компоновка та взаємодія вузлів	17
2 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ	20
2.1 Загальна характеристика механізмів підйому	20
2.2 Вимоги до конструкції та параметрів ліфтів	21
2.3 Розрахунок та вибір тягових канатів. Розрахунок ваги кабіни та противаги.	23
2.4 Вибір редуктора та канатоведучого шківа	28
2.5 Розрахунок сил спротиву руху кабіни та противаги	30
2.6 Розрахунок натягу тягових канатів кабіни та противаги в робочих та випробувальних режимах	32
2.7 Розрахунки співвідношення натягу канатів, навантажень канатоведучого шківа	37
2.8 Вибір двигуна та перетворювача частоти	39
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	43
3.1 Теоретичні відомості про принцип векторного керування	43
3.2 Синтез векторної системи керування	47
3.2.1 Синтез регуляторів струму	50
3.2.2 Синтез регулятора потоку	51
3.2.3 Синтез регулятора швидкості	52
4 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	57

ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	61
ДОДАТОК А. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З ЛІФТАМИ	62
ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА	68

ВСТУП

Ліфти стали невід'ємною частиною сучасного середовища, яке люди штучно створили для свого проживання. Протягом короткого часу нам вдалося розробити повністю автоматизовану систему внутрішнього транспорту, яка забезпечує пересування пасажирів та вантажів у будівлях без потреби спеціальних знань чи підготовки.

В Україні та інших країнах, як ближніх, так і далеких, функціонує значна кількість різних типів ліфтів, які задовольняють потреби комунального господарства, промислових підприємств та спеціалізованих об'єктів.

Однак зростаючі потреби суспільства вимагають постійного вдосконалення систем внутрішнього транспорту на основі останніх науково-технічних досягнень.

Оскільки парк ліфтів та інших засобів транспорту шириться, ми повинні постійно вдосконалювати техніку їх монтажу та обслуговування, щоб забезпечити надійність та безпеку їх використання.

Основною передумовою успіху для ліфтобудівних компаній, монтажників та експлуататорів є наявність кваліфікованих кадрів, які постійно оновлюють свої знання та мають творчий потенціал, щоб крокувати в ногу з науковими та технологічними досягненнями.

Застосування сучасних технологій автоматизації та мікропроцесорних систем ставить високі вимоги до якості підготовки фахівців з широким спектром знань, здатних постійно розвивати свої навички та творчий потенціал у швидкозмінній індустрії.

1 АНАЛІЗ ЛІФТОВОЇ ГАЛУЗІ

1.1 Загальні відомості про ліфтові підйомні установки

В наш час відбувається стійке збільшення кількості ліфтів, при цьому постійно шукаються нові конструктивні варіанти, які відповідають потребам ринку і враховують технологічні досягнення в різних галузях промисловості.

Оптимізуються методи і технічні засоби для обслуговування ліфтів. Особлива вага приділяється підвищенню ефективності та якості установки ліфтів.

Завдяки жорсткій конкуренції відчувається постійний тиск на пошук більш ефективних технологій, як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках. Також, широкий спектр вимог клієнтів до ліфтового обладнання спонукає до розробки нових рішень.

Основні тенденції розвитку сучасного ліфтобудування включають:

- Використання новітніх конструкційних і оброблювальних матеріалів, в тому числі композитів.
- Удосконалення дизайну кабін та обладнання з урахуванням вандалостійкості.
- Удосконалення конструкцій всіх систем обладнання ліфта для зменшення рівня шуму та вібрації в будівлі та кабіні ліфта.
- Розширення використання зовнішніх ліфтових установок на зовнішніх стінах житлових і адміністративних вежових будівель.
- Підвищення надійності пристроїв, що забезпечують безпечне користування ліфтами.
- Вдосконалення приводних систем і розширення застосування приводів змінного струму з тиристорним і частотним регулюванням.
- Удосконалення систем керування на основі прогресу в промисловій електроніці та мікропроцесорній техніці.

- Більш широке використання гідравлічних ліфтів плунжерного типу з канатними мультиплікаторами в будівлях невисокої та середньої висоти.
- Комплексний підхід до вирішення проблем внутрішнього транспорту згори, включаючи ліфти, мультикабінні підйомники, ескалатори і пасажирські конвеєри.
- Розширення практики модернізації існуючого ліфтового обладнання.
- Застосування уніфікації та стандартизації для підвищення якості виробництва, зниження вартості масового виробництва та експлуатації.
- Покращення ефективності системи обслуговування ліфтів через застосування передових методів обробки інформації та управління, включаючи впровадження системи самодіагностики на основі мікропроцесора.
- Удосконалення методів проектування ліфтів з використанням сучасних автоматизованих систем проектування.
- Покращення технології виробництва ліфтового обладнання через роботизацію виробничих процесів.
- Підвищення ефективності та якості установки ліфтового обладнання засобами вдосконалення технологій та механізації виробничих процесів.

Ліфт – це стаціонарно встановлена підйомна машина, що працює циклічно, розроблена для перевезення людей та/або вантажів у кабіні, яка переміщується вздовж жорстких прямих направляючих. Кут нахилу цих направляючих до вертикальної лінії не перебільшує 15 градусів. Ліфти є важливою частиною інженерних систем житлових і офісних будівель та інших споруд.

Ліфти використовуються для транспортування пасажирів, авто в багатоповерхових гаражах, вантажів у магазинах та торгових центрах. Вони також важливі для роботи суден річкового і морського флоту і знаходяться на борту великого вантажного та пасажирського авіатранспорту.

Ліфт стає одним з головних та все більш поширених засобів перевезення пасажирів у міських умовах. Його значення продовжує зростати у зв'язку з неуклонним збільшенням кількості поверхів у сучасних будівлях.

Завдання перевезення великої кількості людей всіх вікових груп посилює вимоги до надійності та безпеки експлуатації ліфтів.

Різноманітність типів ліфтів досить велика, і вони мають різні цілі та конструкційні характеристики. Приклад пасажирського ліфта, розташованого в торговому центрі наведений на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Вигляд пасажирського ліфта у торговому центрі

1.2 Класифікація ліфтів

Класифікація ліфтів проводиться по наступним критеріям.

За призначенням:

- пасажирські ліфти: для перевезення людей вгору та вниз.
- вантажно-пасажирські ліфти: для перевезення і людей, і вантажів, із збільшеним простором кабіни та шириною дверей.
- лікарняні ліфти: для транспортування пацієнтів, включаючи тих, хто перебуває на медичних транспортних засобах, з супроводом медичного персоналу.
- вантажні ліфти: для перевезення великих вантажів.
- малі вантажні ліфти: для перевезення менших вантажів в обмеженому просторі, що не призначений для перевезення людей.
- спеціальні або нестандартні ліфти: розроблені для особливих умов застосування, відповідно до специфічних технічних вимог.

За типом приводу:

- електричні ліфти: з електродвигуном змінного або постійного струму.
- гідравлічні ліфти: з приводом у формі підйомного гідроциліндра або лебідки з гідродвигуном обертового типу.

За конструкцією механізму передачі руху:

- канатні ліфти: кабіна переміщується за допомогою тягових канатів.
- ланцюгові, рейкові та гвинтові ліфти: рух кабіни здійснюється за допомогою тягових ланцюгів, гвинтових механізмів або зубчастих рейок.

За способом передачі руху від приводу до канатів:

- ліфти з барабанною лебідкою.

- ліфти з канатоведучим шківом.

За способом кріплення канатів до кабіни:

- ліфти з верхнім підвісом кабіни.
- піджимні ліфти, де канати знаходяться під кабіною.

За типом системи підвісу кабіни:

- ліфти з прямою підвіскою.
- ліфти з поліспаотною підвіскою.
- ліфти з канатним мультиплікатором.

За розташуванням машинного приміщення:

- ліфти з верхнім машинним приміщенням.
- ліфти з нижнім машинним приміщенням.

За типом приводу лебідки:

- ліфти з редукторним приводом.
- ліфти з безредукторним приводом.

За швидкістю підйому:

- повільні ліфти: до 1 м/с.
- швидкі ліфти: від 1,4 до 2 м/с.
- високошвидкісні ліфти: 2 м/с і вище.

За точністю зупинки:

- ліфти з системою точної зупинки.
- ліфти без системи точної зупинки.

1.3 Різновиди кінематичних схем ліфтів

Відповідно до термінології в області ліфтобудування, кінематичною схемою ліфта вважається план розташування канатів. На цих схемах використовуються такі символи: канатоведучий орган представляється кругом з штриховкою посередині, відхиляючі блоки і контршківки - меншим кругом без штриховки, кабіна - великим прямокутником, противага - вузьким прямокутником з горизонтальною штриховкою, підйомні канати - прямою лінією, незалежно від кількості паралельних віток. Основні варіанти таких схем представлені на рисунку 1.2.

Схеми з барабанним канатоведучим органом (рис.1.2 а,б) призначені для коротких висот підйому, оскільки їх максимальна висота обмежена довжиною канату, який барабан може вмістити. Ці системи є корисними для використання у спеціалізованих вантажних ліфтах з короткою висотою підйому або в ситуаціях, коли розміщення противаги ліфта є практично неможливим.

Барабанний канатоведучий орган може бути використаний також при наявності противаги (рис.1.2 в,г), але ця схема не має переваг порівняно з канатоведучим шківом. Незважаючи на це, противага є важливою частиною більшості кінематичних схем. Існують дві основні причини для використання противаги:

1. Економія енергії шляхом балансування ваги вантажної кабіни та покращення динамічних характеристик системи.
2. Забезпечення достатнього тиску для зчеплення канатів з канатоведучим шківом.

Щодо місця розташування машинного відділення, ліфти з верхнім розміщенням машинного відділення мають кращі техніко-економічні показники. Переваги цього розташування полягають у зниженні навантаження на будівлю і шахту, зменшенні потреби в довжині канатів, що збільшує їх довговічність, підвищенні ефективності підйому та зниженні вартості ліфта.

Схема з прямою підвіскою кабіни та противаги (рис.1.2 в) є найпростішою та найбільш підходящою для ліфтів з верхнім розташуванням машинного відділення, оскільки вона максимізує ефективність системи та подовжує життя канатів, звільняючи їх від додаткового навантаження, яке створюють відхиляючі блоки.

Коли розміри кабіни ліфта завеликі, забезпечити вільне переміщення противаги складно. У цьому випадку, може бути встановлено відхиляючий блок з боку противаги, як це ілюструється на рис.1.2 (г). Використання такого блоку може зменшити розміри і вагу канатоведучого шків (КВШ), але це може знизити кут обгортання канату, що може знизити тягову здатність.

Щоб вирішити цю проблему, можна використати схему з контршківом, який дозволяє здійснити подвійний обхід КВШ, виконуючи при цьому роль відхиляючого блоку (рис.1.2 д). Проте використання цієї схеми може погіршити експлуатаційні характеристики канатів через додатковий вигин на контршківі.

Альтернатива цій схемі - встановлення контршків під КВШ (рис. 1.2 е), що особливо ефективно при невеликих розмірах кабіни та при підвищеній вантажопідйомності ліфта.

Поліспадна схема підвісу кабіни (рис. 1.2 ж) корисна, коли одну й ту ж лебідку потрібно використовувати в ліфтах з різною вантажопідйомністю, або коли необхідно збільшити вантажопідйомність ліфта.

Схема з кабіною противагою (рис. 1.2 з) може бути використана, коли важливо зменшити кругове зусилля КВШ, що допомагає запобігти проковзуванню канату.

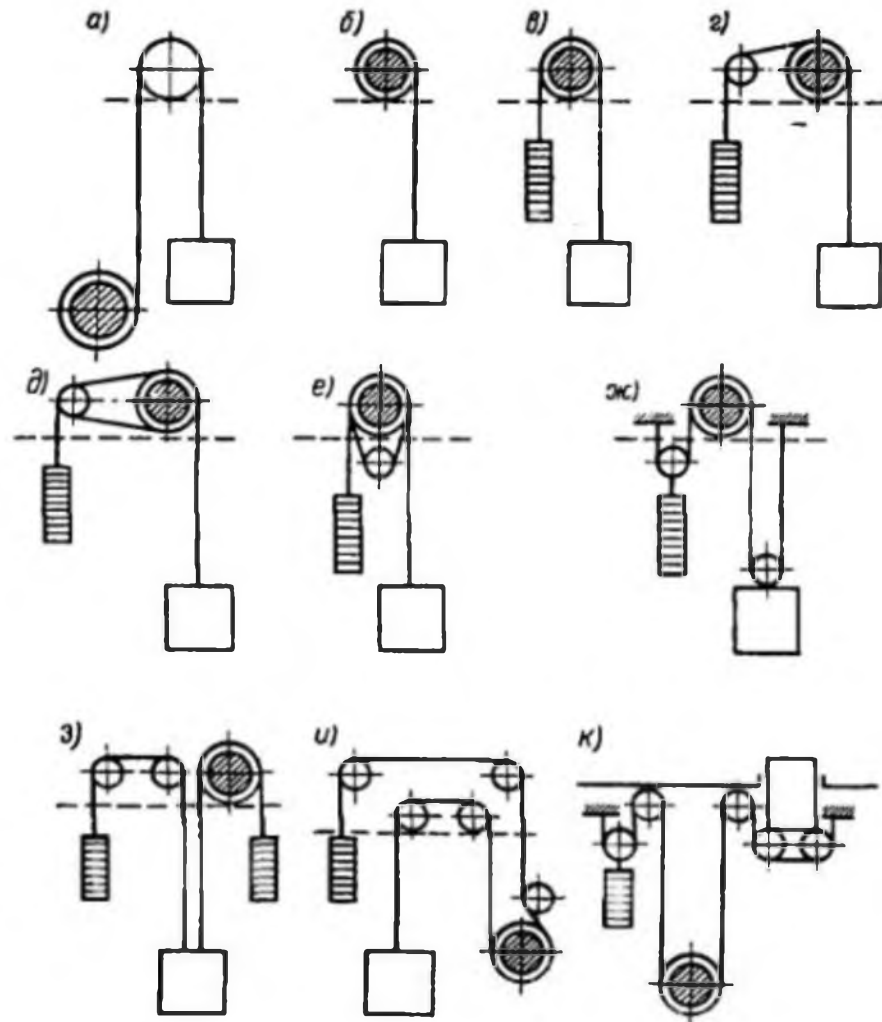


Рисунок 1.2 – Кінематичні схеми ліфтів

Схеми з машинним відділенням, розташованим знизу (рис. 1.2 а,и,к), мають декілька переваг, включаючи легше обслуговування, ремонт обладнання і менше шуму. Але ці схеми не є широко використовуваними через їхні недоліки, такі як:

1. Потреба в додатковому блочному приміщенні, що розташовується вгорі, над шахтою ліфта;
2. Зменшення довговічності канатів і збільшення їх кількості;
3. Підвищення навантаження на структуру будівлі;

4. Зростання капітальних витрат.

У зв'язку з цими недоліками, такі конструкції використовуються в тротуарних ліфтах і в ситуаціях, коли потрібно зменшити рівень шуму в будівлі.

1.4 Технічна характеристика ліфтових підйомних установок

Основними характеристиками ліфта, які визначають його технічні параметри, є його вантажопідйомність, швидкість та прискорення кабіни. Ці параметри встановлюються у відповідності до стандартів і нормативних документів для конкретного типу обладнання.

Вантажопідйомність ліфта обумовлена вагою найважчого вантажу, який ліфт може підняти, не враховуючи вагу самої кабіни та постійно встановлених в ній пристроїв.

Площа підлоги кабіни в ліфті для індивідуального використання визначається залежно від його вантажопідйомності.

У певних випадках допускається використання кабін з більшою площею підлоги, якщо в них встановлена додаткова перегородка з дверима, які блокуються спеціальним ключем. Блокування цих дверей контролюється кінцевим вимикачем.

Враховуючи те, що умови використання ліфтів можуть бути різними, і вони можуть перевозити вантажі різної ваги та розмірів, технологічні норми передбачають різні стандартні розміри кабін для тієї ж вантажопідйомності при проектуванні.

Ліфти з більшою площею підлоги кабіни повинні мати пристрої, які контролюють та індукують перевантаження на рівні більше ніж 10%.

Номінальна швидкість кабіни - це швидкість, з якою кабіна переміщується при нормальних умовах використання. Ця швидкість вибирається зі стандартного набору значень: 0,25; 0,5; 0,71; 1; 1,4; 1,6; 2; 2,8; 4; 5,6; 7; 8 м/с.

Максимальна швидкість кабіни обмежується не лише технічними та економічними факторами, але й фізіологічними межами. При швидкості кабіни більше 4 м/с швидкі зміни барометричного тиску під час руху кабіни можуть негативно впливати на серцево-судинну систему і слуховий апарат людини.

Зупиночна швидкість означає швидкість, при досягненні якої активується механізм, що гарантує високу точність зупинки ліфта.

Ревізійна швидкість - це швидкість, при якій обслуговуючий персонал проводить огляд ліфтового обладнання у шахті, перебуваючи на даху рухомої кабіни.

Ліфти, які мають номінальну швидкість до 0,71 м/с, дозволено обстежувати при русі вниз з використанням номінальної швидкості.

Гранична швидкість - це швидкість, при досягненні якої спрацьовує обмежувач швидкості, який активує уловлювачі.

Розрахункова висота підйому визначається на основі архітектурного і планувального рішення конструкції будівлі. Проте, вона не може невизначено збільшуватись, оскільки з підвищенням висоти підйому значно зменшується корисний об'єм приміщень через необхідність розміщення ліфтового обладнання. Такі втрати корисного об'єму висотних будівель можуть складати до 30%.

Продуктивність ліфта вважається критично важливим параметром. Вона залежить від таких чинників, як вантажопідйомність, швидкість, висота підйому, характеристики пасажиропотоку, схема організації міжповерхових перевезень і так далі. Зазвичай, продуктивність вимірюється кількістю пасажирів або вагою вантажу, які можуть бути транспортовані за одну годину роботи.

1.5 Влаштування, компоновка та взаємодія вузлів

Основний механізм ліфта включає механізм підйому, який працює на основі використання лебідки або гідроциліндра з системою канатів для передачі руху кабіні.

Пасажири або вантажі пересуваються у кабіні, спеціально облаштованій для цих цілей, з дверима, які оснащені пристроями для блокування, що забезпечують безпеку, уникнувши руху кабіни, якщо двері відчинені.

Щоб уникнути зміщення кабіни (або противаги) в боковому напрямку та запобігти її поколиханням під час руху, використовуються направляючі, які протягуються на всю висоту шахти ліфта.

Ці направляючі також допомагають зупиняти кабіну (або противагу) за допомогою уловлювачів у випадку надмірної швидкості під час аварії, і утримують кабіну до моменту її вивільнення з уловлювачів.

Простір, у якому пересувається кабіна і противага, повністю огорожений і відомий як шахта.

На кожному поверсі, що має виходи в шахту, встановлені автоматично закриваються двері з блокувальними пристроями для безпеки.

Приміщення, в якому знаходяться підйомна лебідка та інше відповідне обладнання, називається машинним приміщенням.

У випадку коли машинне приміщення розташоване внизу, а також в деяких інших ситуаціях, над шахтою встановлюються відповідні блоки у спеціальному приміщенні для блоків.

Для уникнення неконтрольованого падіння кабіни (або противаги), ліфт оснащений автоматичною системою, що активує уловлювачі при перевищенні встановленої швидкості. Ця система активується з обмежувача швидкості. Уловлювачі розміщені по обидві сторони рами кабіни (або противаги) і активуються за допомогою каната, який обгортає шків обмежувача швидкості.

Обмежувач швидкості, який служить для контролю максимальної швидкості кабіни, може бути встановлений в машинному або блочному приміщенні, на самій кабіні чи противазі. Коли швидкість кабіни перевищує встановлену норму, обмежувач швидкості втручається, що викликає гальмування каната обмежувача швидкості та активацію уловлювачів.

Керівна станція, яка керує роботою ліфта, разом з іншими пристроями та апаратами, розташована в машинному приміщенні. Датчики замедлення, точної зупинки та контрольні пристрої для шахтних дверей монтується у шахті.

Однак, описана стандартна конструкція пасажирського ліфта не є єдиною. Конструктивні рішення можуть значно варіюватися в залежності від конкретного призначення ліфта, швидкості переміщення кабіни та типу приводу. Наприклад, для швидкісних ліфтів характерні безреукторні приводи постійного струму і використання гідробуферів замість пружин. Також при високих швидкостях в кабіні встановлюється примусова система вентиляції, яка створює невеликий надлишковий тиск у салоні.

Швидкісні ліфти мають свої відмінні особливості щодо конструкції обмежувача швидкості та уловлювачів. Також на дизайн ліфта впливає розміщення машинного приміщення.

У випадку, коли машинне приміщення розміщено в нижній частині, додаткове блочне приміщення облаштовують у верхній частині шахти.

Лікарняні ліфти мають особливості у своїй конструкції - глибокі кабіни та привод, який забезпечує високу точність зупинки та плавність руху кабіни.

2 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Загальна характеристика механізмів підйому

Сучасний ліфт працює на основі системи, що включає канати для переміщення кабіни або противаги та приводний пристрій, що може бути виготовлений у формі лебідки або гідроциліндра з блоком на кінці.

Більшість ліфтів використовують неврівноважені підйомні механізми з канатними лебідками різних конструкцій. Безпека пасажирів та вантажів під час використання ліфтів вимагає відповідності лебідок ряду строгих вимог:

Лебідка має бути розрахована на навантаження, які можуть виникнути під час експлуатації, тестування або в аварійному режимі.

Електричні талі не можуть використовуватись як лебідки в ліфті.

Лебідка повинна мати кінематичний зв'язок між канатоведучим органом та гальмом.

Лебідка має бути обладнана автоматичним колодковим гальмом.

Використання стрічкових гальм не допускається.

У лебідках без редуктора, якщо електропривід не має системи, що утримує кабіну в нерухомості за допомогою моменту електродвигуна, повинні бути встановлені два гальма.

Допускається використання одного двоколодкового гальма, яке включає дві незалежні системи гальмування. Кожна система складається з гальмівної колодки, пружини (або вантажу) та розгальмовуючого електромагніту.

Гальмівний момент, створений кожною колодкою, має забезпечувати утримання кабіни з врахуванням максимального вантажу.

Всі вільні частини обертових валів мають бути захищені, щоб запобігти випадковому контакту з ними. Лебідка ліфта має бути оснащена системою ручного

керування, яка забезпечує переміщення кабіни за допомогою штурвала, що постійно закріплене на валу, або знімного.

Також лебідка має мати пристрій для ручного відключення гальма, який автоматично повертається до режиму гальмування після припинення ручного впливу. У лебідках без редуктора система ручного керування повинна контролюватися спеціальним вимикачем.

Штурвал лебідки повинен мати інструкції про напрямок його обертання для підйому та опускання кабіни. Сила, яку людина вкладає для обертання штурвала, не повинна перевищувати 235 Н при підйому кабіни з максимальним вантажем. Якщо кабіна знімається з уловлювачів за допомогою ручного приводу, то сила не повинна перевищувати 640 Н.

Лебідка з конічними втулочними зчепленнями (КВШ) повинна бути обладнана пристроєм, який забезпечує достатнє зусилля для притиску канатів до обода, щоб підняти кабіну з вантажем без урахування розвантажуючої дії противаги.

Крім того, конструкція лебідки має відповідати вимогам міцності та герметичності.

2.2 Вимоги до конструкції та параметрів ліфтів

Безпека та надійність використання є основними принципами, які лягають в основу проектування, виробництва та використання ліфтового обладнання. Вони відображені в стандартах експлуатації ліфтових підйомних установок.

Окрім того, до ліфтового обладнання висуваються додаткові вимоги: висока точність зупинки на рівні поверхів; плавність руху кабіни під час прискорення та гальмування; комфорт перевезення пасажирів; загальний доступ до ліфта; тиха

робота; дотримання допустимого рівня електромагнітних завад для систем радіозв'язку та телебачення.

Точність зупинки кабіни оцінюється по величині різниці рівнів підлоги кабіни та поверхні площадки. Неправильне розташування кабіни створює небезпеку для пасажирів та може ускладнити перевезення вантажів, особливо при використанні наземного транспорту або монорейкової системи.

При гальмуванні, кабіна з вантажем, що рухається вгору, зупиняється трохи нижче від місця розвантаження, тоді як порожня кабіна пройде більшу відстань та зупиниться вище. Протилежна ситуація спостерігається при русі вниз.

Датчики точної зупинки кабіни встановлюються на такій відстані, що різниця рівнів підлоги кабіни та площадки була однаковою при зупинці кабіни, незалежно від її завантаження та напрямку руху.

Відповідно до рекомендацій ПУБЕЛ, точність зупинки кабіни повинна відповідати визначеним границям: для медичних та вантажних ліфтів з монорейкою ± 15 мм; для всіх інших типів - ± 50 мм. Контрольований привід змінного трифазного струму та привід постійного струму дозволяють досягти вищої точності зупинки. Плавність руху кабіни визначається швидкістю прискорення та гальмування підйомного механізму. Згідно з ПУБЕЛ, максимальне прискорення (сповільнення) кабіни не повинно перевищувати 0.5 м/с^2 для лікарняних ліфтів та 2 м/с^2 для інших типів ліфтів.

Максимальне сповільнення при зупинці кабіни за допомогою кнопки «СТОП» не повинно перевищувати $9,81 \text{ м/с}^2$. У випадку аварійних ситуацій, коли кабіна опускається на амортизатори або буфер, допустимі прискорення до 25 м/с^2 . Фізіологічна реакція на прискорення значно залежить від часу їх впливу. Наприклад, при часі впливу менше $0,04 \text{ с}$, людський організм здатний перенести прискорення близько $30\text{-}40 \text{ м/с}^2$. Саме тому ПУБЕЛ дозволяє короткочасне перевищення прискорення при гальмуванні кабіни.

Комфорт пасажирів визначається часом очікування ліфта, плавністю та точністю зупинки, відсутністю шуму та вібрації в кабіні, якістю вентиляції і освітлення в салоні.

Універсальність використання ліфту передбачає просту та зрозумілу систему управління, яка не вимагає особливих навичок від пасажирів різного віку.

Щоб забезпечити тиху роботу ліфта, приймаються заходи для зниження шуму та запобігання його поширенню через будівельні конструкції. Зокрема, лебідка ліфта та інші вузли обладнання встановлюються на амортизаторах, і до їх конструкції пред'являються високі вимоги щодо рівня шуму і вібрації. Ці вимоги враховуються під час монтажних, профілактичних та ремонтних робіт.

Зниження електромагнітних завад забезпечується якісним екрануванням джерел перешкод обладнання ліфта і встановленням високочастотних фільтрів у живлення ліфта.

На основі вищенаведеного, основні вимоги до електроприводу ліфтів включають високу енергоефективність, широкий діапазон регулювання, надійність та довговічність, плавність розгону та гальмування, точність зупинки кабінки, обмеження динамічних навантажень, тиху роботу та відсутність перешкод для радіотрансляції та телебачення.

2.3 Розрахунок та вибір тягових канатів. Розрахунок ваги кабінки та противаги.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

Параметр	Значення
Вантажопідйомність	$Q = 630 \text{ кг}$
Швидкість руху	$v = 1,5 \text{ м / с}$
Число поверхів	$N_{\text{пов}} = 5$
Висота поверху	$h_{\text{пов}} = 3,3 \text{ м}$

Ліфт розташований у торговельному центрі.

Висота підйому

$$H = N_{нов} \cdot h_{нов} = 16,5 \text{ м}$$

Розміри кабіни:

$$A = 1,2 \text{ м}; B = 1,5 \text{ м}$$

Наближена маса кабіни пасажирського ліфта визначається за виразом:

$$Q_k = (500 \div 550) \cdot A \cdot B, \text{ кг}$$

де A, B – відповідно ширина та глибина кабіни.

$$Q_k = 550 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 990 \text{ кг}$$

Вираз для розрахунку маси противаги:

$$Q_n = Q_k + \varphi Q, \text{ кг}$$

де φ – коефіцієнт урівноваження вантажу кабіни;

Q – маса вантажу, кг.

$$Q_n = 990 + 0,5 \cdot 630 = 1305 \text{ кг}$$

Канати для ліфтів відіграють критичну роль у передачі руху від механізму витягу до кабіни та противаги, де втрати потужності через тертя є мінімальними. Забезпечення безпеки пасажирів напряму залежить від надійності цих канатів, а

отже, до них ставляться високі вимоги щодо міцності та довговічності, які визначені в ПУБЕЛ.

Канати, які використовуються при монтажі ліфтового обладнання, повинні мати відповідні сертифікати, що підтверджують їхню якість відповідно до вимог державних стандартів. Подібні вимоги також стосуються тягових ланцюгів.

Канати, які працюють одночасно при підвісці кабіни (або противаги), мають мати однакові діаметри та структурні властивості. З'єднання тягових канатів механізмів підйому і обмежувачів швидкості недопустиме.

Мінімальний діаметр тягових канатів у ліфтах для перевезення людей повинен бути не менше 8 мм. Кількість паралельних гілок канатів, що підвішують кабіну (або противагу), не повинна бути менше, ніж це вказано в таблиці 4 ПУБЕЛ.

Ліфти використовують тільки подвійно зігнуті канати, які згортаються з волокна дроту навколо центрального ядра у формі конопляного каната, змоченого канатною мастилом. Зазвичай, сталевий канат має 6 ниток та ядро.

Умови експлуатації канатів в ліфтах з канатно-відхиляючою системою включають вигинаючі, розтягуючі, скручуючі та зсувні навантаження, тому важливо мати максимальну площу контакту між дротами у кожному шарі. Цей критерій найкраще виконує канат типу ЛК з лінійним контактом між дротами.

Залежно від структури поперечного перерізу волокон, канати поділяють на ЛК-О - з однаковим діаметром дротів по шарам обгортання, ЛК-Р з різним діаметром дротів. Канати з точковим контактом дротів мають позначення ТК.

При використанні канатів необхідно не тільки забезпечити достатню їх міцність, але й надійне з'єднання з конструктивними елементами ліфта.

Сталеві канати мають розраховуватися на статичне розривне зусилля

$$P = S \cdot K$$

де P – розривне зусилля каната, обране за таблицями ГОСТ або в результаті випробування каната на розрив, Н;

K – коефіцієнт запасу, який приймається в залежності від типу канатоведущого органу, призначення і номінальної швидкості ліфта;

S – розрахунковий статичний натяг однієї гілки каната, Н.

Таблиця 2.2 – Мінімальний коефіцієнт запасу міцності

Лебідка	Швидкість, м/с	Тип ліфта	
		вантажний і малий [$k_{\min}$]	пасажирський, вантажопасажирський, лікарняний [$k_{\min}$]
Барабанна	≤ 1	8	9
Фрикційна	≥ 1	10	12
Фрикційна	1...2	11	13
Фрикційна	2...4	12	14
Фрикційна	≥ 4	13	15

Величина розрахункового натягу гілки канатної підвіски має визначатися за наступними залежностями:

Для канатів підвіски кабіни:

$$S_{\kappa} = \frac{Q + Q_{\kappa} + Q_{mk} + 0,5Q_{nn}}{m} \cdot g, H$$

Для канатів противаги кабіни:

$$S_{\kappa} = \frac{Q_n + Q_{mk} + 0,5 \cdot Q_{nn}}{m} \cdot g, H$$

де Q – вантажопідйомність ліфта, кг;

Q_{κ} – маса кабіни, кг;

Q_n – маса противаги, кг;

Q_{mk} – маса тягових канатів від точки сходу з КВШ до точки підвіски, кг;

Q_{nn} – маса натяжного пристрою канатів, кг;

m – число паралельних віток канатів.

Маса 1 метру тягового канату

$$q_{mk} = q_k \cdot m, \text{ кг} / \text{ м}$$

Прийmemo $q_k = 0,487 \text{ кг} / \text{ м}$

Маса тягових канатів

$$Q_{mk} = q_{mk} \cdot m \cdot (H + 3) = 0,5 \cdot 4 \cdot (16,5 + 3) = 39 \text{ кг}$$

$$S_k = \frac{990 + 630 + 183,6 + 0,5 \cdot 200}{m} \cdot 9,81 = 4,3 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$S_n = \frac{1305 + 39 + 0,5 \cdot 200}{4} \cdot 9,81 = 3,54 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$P = S_k \cdot K = 56 \text{ кН}$$

Приймаємо канат з параметрами:

Діаметр

$$d = 11,5 \text{ мм}$$

Погонна маса канату

$$q_{mk.\phi} = 0,487 \text{ кг} / \text{ м}$$

Розривне зусилля канату

$$P = 66150 \text{ кН}$$

$$Q_{mk.\phi} = m \cdot q_{mk.\phi} \cdot (H + 3) = 37,97 \text{ кЗ}$$

$$K_{\phi} = \frac{P \cdot m}{(Q + Q_{\kappa} + Q_{mk.\phi}) \cdot g} = 16,27$$

Правильному вибору канату має відповідати умова

$$K_{\phi} \geq K$$

$$16,27 > 13$$

Умова міцності виконується, отже канат обрано вірно.

2.4 Вибір редуктора та канатоведучого шківа

Передатне число редуктора знаходиться з урахуванням кінематичної схеми ліфта за наступною формулою:

$$i_p = \frac{\pi \cdot D \cdot n_n}{v \cdot 60}$$

де D – розрахунковий діаметр КВШ, м;

n_n – номінальна частота обертання валу двигуна, об/хв;

v – розрахункове значення лінійної швидкості кабіни, м/с.

$$i_p = \frac{3,14 \cdot 0,75 \cdot 950}{1,5 \cdot 60} = 24,87$$

Вибираємо редуктор РГСЛ-160-25 з передатним числом 25. Загальний вигляд наведений на рисунку 2.1



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд ліфтового редуктора РГСЛ-160-25

Після вибору редуктора лебідки робиться уточнення діаметра барабана (КВШ) за кінематичною умовою, яка гарантує забезпечення номінальної швидкості руху кабіни з похибкою в межах 15%.

$$D = \frac{60 \cdot v \cdot i_p}{\pi \cdot n_n}$$

$$D = \frac{60 \cdot 1,5 \cdot 25}{3,14 \cdot 950} = 0,754 \text{ м}$$

Залишаємо діаметр шківа 0,75 м, оскільки отримане значення лежить у межах норми.

2.5 Розрахунок сил спротиву руху кабіни та противаги

Розглянемо розрахунок з опору руху більш детально з урахуванням розрахункових схем, наведених на рис.2.2.

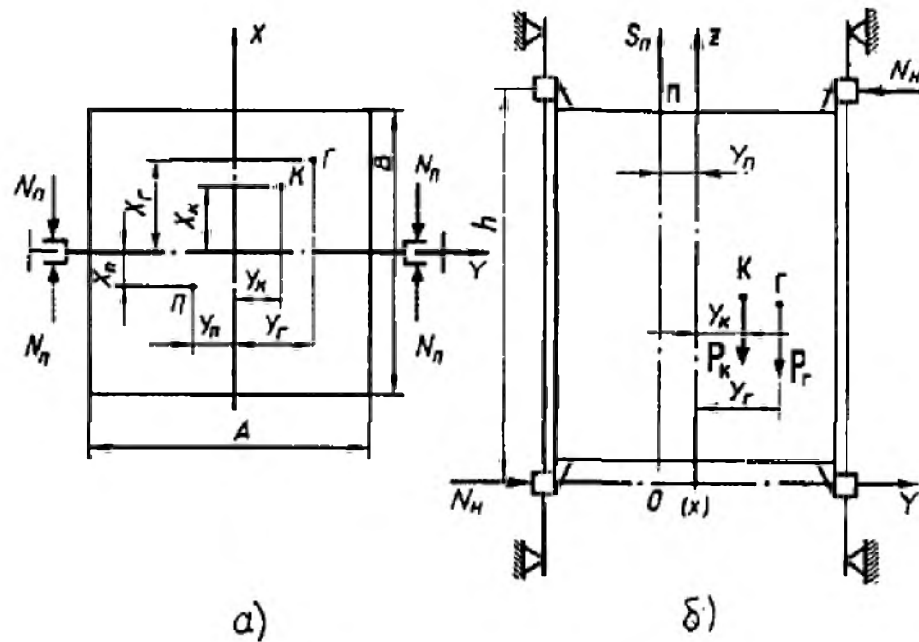


Рисунок 2.2 – Схеми до визначення опорних реакцій башмаків кабіни
(а – горизонтальна, б – вертикальна проекції кабіни)

X_n, Y_n – координати зміщення точки підвісу кабіни приймаються в межах $(0,03 \div 0,1)$ м; X_k, Y_k – величина повздовжнього і поперечного зміщення центра мас кабіни, залежить від конструкції дверей кабіни та може бути прийнята в межах $(0,02 \div 0,1)$ м; $X_o = B / 6$; $Y_o = A / 6$ – визначаються з припущенням, що розрахунковий вантаж рівномірно розподілений певним чином.

Відстань між башмаками по вертикалі:

$$h_o = h_k + 0,25 = 2 + 0,25 = 2,25 \text{ м}$$

де h_k – висота кабіни;

Нормальні тиски (кабіна без вантажу)

$$N_{нк} = \frac{Q_{\kappa} (Y_{\kappa} + Y_n)}{h_{\sigma}} g = \frac{990 \cdot (0,06 + 0,05)}{2,25} \cdot 9,81 = 474,8 H$$

$$N_{нк} = \frac{Q_{\kappa} (X_{\kappa} + X_n)}{2h_{\sigma}} g = \frac{990 \cdot (0,06 + 0,05)}{2 \cdot 2,25} \cdot 9,81 = 237,4 H$$

Нормальні тиски для вантажу без врахування маси кабіни:

$$N_{нв} = \frac{Q \cdot (Y_{\sigma} + Y_n)}{h_{\sigma}} g = \frac{630 \cdot (0,2 + 0,05)}{2,25} \cdot 9,81 = 686,7 H$$

$$N_{нв} = \frac{Q \cdot (X_{\sigma} + X_n)}{2h_{\sigma}} g = \frac{630 \cdot (0,25 + 0,05)}{2 \cdot 2,25} \cdot 9,81 = 412 H$$

Опір руху кабіни напрямними при башмаках ковзання:

$$\begin{aligned} F_{\kappa} &= (2 \cdot N_{нк} + 4 \cdot N_{нк}) \cdot \omega + 0,0015 \cdot Q_{\kappa} \cdot g = \\ &= (2 \cdot 474,8 + 4 \cdot 237,4) \cdot 0,12 + 0,0015 \cdot 990 \cdot 9,81 = 242,47 H \end{aligned}$$

де $\omega = 0,12$ – коефіцієнт опору руху башмаків ковзання.

Сила опору руху вантажу при башмаках ковзання:

$$F_{\sigma} = (2 \cdot N_{нв} + 4N_{нв}) \cdot \omega = (2 \cdot 686,7 + 4 \cdot 412) \cdot 0,12 = 362,58 H$$

Сила опору руху противаги при башмаках ковзання:

$$F_n = 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot Q_n \cdot g = 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1305 \cdot 9,81 = 96 \text{ H}$$

2.6 Розрахунок натягу тягових канатів кабіни та противаги в робочих та випробувальних режимах

Розраховані надалі режими 5, 6 характеризуються рухом кабіни завантаженої на 110% номінального значення. Останній режим відповідає режиму статичних випробувань ліфта. За вимогами ПУБЕЛ статичні випробування виконується впродовж 10 хвилин, а кабіна розташована в нижньому положенні. Малі вантажні ліфти та вантажні без провідника

Для пасажирських ліфтів з прямою підвіскою приймається випробовуються з навантаженням $1,5Q$. Інші з вантажем на рівні $2Q$.

Формули для розрахунку натягу канатів обираються виходячі з режимів роботи ліфта та залежать від кінематичної схеми. В нашому випадку кабіна та противага на безпосередньому підвісі.

1. Завантажена кабіна внизу, підйом.

– натяг канатів кабіни

$$S_{\kappa 1} = (Q + Q_{\kappa}) \cdot g + F_{\kappa} + F_{\sigma} + Q_{mk} \cdot g$$

$$S_{\kappa 1} = (630 + 990) \cdot 9,81 + 242,47 + 362,58 + 39 \cdot 9,81 = 16,88 \text{ кН}$$

– натяг канатів противаги

$$S_{n1} = (Q_n + Q_y) \cdot g - F_n$$

$$S_{n1} = (13050 + 24,3) \cdot 9,81 - 96 = 12,94 \text{ кН}$$

2. Завантажена кабіна зверху, спуск.

– натяг канатів кабіни

$$S_{\kappa 2} = \left((Q + Q_{\kappa} + Q_{n\kappa} + Q_y) \cdot g + F_{\kappa} + F_{\epsilon} \right)$$

$$S_{\kappa 2} = (630 + 990 + 6,98 + 24,3) \cdot 9,81 + 242,47 + 362,58 = 16,8 \text{ кН}$$

– натяг канатів противаги

$$S_{n2} = Q_n \cdot g - F_n + Q_{m\kappa} \cdot g$$

$$S_{n2} = 13050 \cdot 9,81 - 96 + 39 \cdot 9,81 = 13,09 \text{ кН}$$

3. Порожня кабіна внизу, підйом

– натяг канатів кабіни

$$S_{\kappa 3} = Q_{\kappa} \cdot g - F_{\kappa} + Q_{m\kappa} g$$

$$S_{\kappa 3} = 990 \cdot 9,81 - 242,47 + 39 \cdot 9,81 = 9,85 \text{ кН}$$

– натяг канатів противаги

$$S_{n3} = (Q_n + Q_y) \cdot g + F_n$$

$$S_{n3} = (13050 + 24,3) \cdot 9,81 + 96 = 13,14 \text{ кН}$$

4. Порожня кабіна вверху, спуск

– натяг канатів кабіни

$$S_{\kappa 4} = (Q_{\kappa} + Q_{n\kappa} + Q_y) \cdot g - F_{\kappa}$$

$$S_{\kappa 4} = (990 + 6,98 + 24,3) \cdot 9,81 - 242,47 = 9,78 \text{ кН}$$

– натяг канатів противаги

$$S_{n4} = (Q_n \cdot g + F_n) + Q_{m\kappa} \cdot g$$

$$S_{n4} = 13050 \cdot 9.81 + 96 - 242.47 = 13.3 \text{ кН}$$

5. Перевантажена на 10% кабіна вниз, режим підйому. Динамічні випробування.

– натяг канатів кабіни

$$S_{\kappa 5} = S_{\kappa 1} + 0,1 \cdot Q \cdot g$$

$$S_{\kappa 5} = 16880 + 0.1 \cdot 630 \cdot 9,81 = 17.5 \text{ кН}$$

– натяг канатів противаги

$$S_{n5} = S_{n1} = 12,94 \text{ кН}$$

6. Перевантажена на 10% кабіна вверху, режим спуску. Динамічні випробування.

– натяг канатів кабіни

$$S_{\kappa 6} = S_{\kappa 2} + 0,1 \cdot Q \cdot g$$

$$S_{\kappa 6} = 16800 + 0.1 \cdot 630 \cdot 9.81 = 17.42 \text{ кН}$$

– натяг канатів противаги

$$S_{n6} = S_{n2} = 13,1 \text{ кН}$$

7. Завантажена кабіна внизу, підйом.

– натяг канатів кабіни

$$S_{\kappa 7} = \left((Q + Q_{\kappa}) \cdot g - F_{\kappa} - F_{\epsilon} \right) + Q_{m\kappa} \cdot g$$

$$S_{\kappa 7} = (630 + 990) \cdot 9.81 - 242.47 - 362.6 + 39 \cdot 9.81 = 15,67 \text{ кН}$$

– натяг канатів противаги

$$S_{n7} = S_{n3} = 13,14 \text{ кН}$$

8. Завантажена кабіна вверху, спуск.

– натяг канатів кабіни

$$S_{\kappa 8} = \left((Q + Q_{\kappa} + Q_{n\kappa} + Q_y) \cdot g - F_{\kappa} - F_{\epsilon} \right)$$

$$S_{\kappa 8} = (630 + 990 + 6.98 + 24.3) \cdot 9.81 - 242.47 - 362.6 = 15,59 \text{ кН}$$

– натяг канатів противаги

$$S_{n8} = S_{n4} = 13,3 \text{ кН}$$

9. Порожня кабіна внизу, підйом

– натяг канатів кабіни

$$S_{\kappa 9} = Q_{\kappa} \cdot g + F_{\kappa} + Q_{m\kappa} \cdot g$$

$$S_{\kappa 9} = 990 \cdot 9.81 + 242.47 + 39 \cdot 9.81 = 10.34 \text{ кН}$$

– натяг канатів противаги

$$S_{n9} = S_{n1} = 12,94 \text{ кН}$$

10. Порожня кабіна вверху, спуск

– натяг канатів кабіни

$$S_{\kappa 10} = (Q_{\kappa} + Q_{nk} + Q_y) \cdot g$$

$$S_{\kappa 10} = (990 + 6.98 + 24.3) \cdot 9.81 = 10 \text{ кН}$$

– натяг канатів противаги

$$S_{n10} = S_{n2} = 13,1 \text{ кН}$$

11. Статичне випробування ліфта, кабіна перевантажена на 100% вниз.

– натяг канатів кабіни

$$S_{\kappa 11} = (2Q + Q_{\kappa}) \cdot g + Q_{mk} \cdot g$$

$$S_{\kappa 11} = (2 \cdot 630 + 990) \cdot 9.81 + 39 \cdot 9.81 = 22,46 \text{ кН}$$

– натяг канатів противаги

$$S_{n11} = Q_n \cdot g$$

$$S_{n11} = 13050 \cdot 9.81 = 12,8 \text{ кН}$$

2.7 Розрахунки співвідношення натягу канатів, навантажень канатоведучого шківів

Співвідношення натягів канатів визначається для всіх 11 режимів розглянутих в пункті 2.6 за формулою:

$$\psi_i = \frac{S_{i\max}}{S_{i\min}}$$

де $S_{i\max}$ та $S_{i\min}$ – найбільше та найменше значення величини натягу канатів підвіски кабіни в i -ому режимі.

$$\psi_1 = \frac{S_{1\max}}{S_{1\min}} = \frac{16.88}{12.94} = 1.304$$

$$\psi_2 = \frac{S_{2\max}}{S_{2\min}} = \frac{16.8}{13.09} = 1.284$$

$$\psi_3 = \frac{S_{3\max}}{S_{3\min}} = \frac{13.14}{9.85} = 1.333$$

$$\psi_4 = \frac{S_{4\max}}{S_{4\min}} = \frac{13.3}{9.78} = 1.358$$

$$\psi_5 = \frac{S_{5\max}}{S_{5\min}} = \frac{17.5}{12.94} = 1.352$$

$$\psi_6 = \frac{S_{6\max}}{S_{6\min}} = \frac{17.42}{13.1} = 1.331$$

$$\psi_7 = \frac{S_{7\max}}{S_{7\min}} = \frac{15.67}{13.14} = 1.193$$

$$\psi_8 = \frac{S_{8\max}}{S_{8\min}} = \frac{15.59}{13.3} = 1.174$$

$$\psi_9 = \frac{S_{9\max}}{S_{9\min}} = \frac{12.94}{10.34} = 1.252$$

$$\psi_{10} = \frac{S_{10\max}}{S_{10\min}} = \frac{13.1}{10} = 1.31$$

$$\psi_{11} = \frac{S_{11\max}}{S_{11\min}} = \frac{22.46}{12.8} = 1.754$$

Консольне навантаження КВШ так само визначається для кожного режиму за формулою:

$$P_{Ki} = S_{Ki} + S_{Pi}$$

де i – порядковий номер режиму.

$$P_{K1} = S_{K1} + S_{P1} = 16,88 + 12,94 = 29,82 \text{ кН}$$

$$P_{K2} = S_{K2} + S_{P2} = 16,8 + 13,09 = 29,89 \text{ кН}$$

$$P_{K3} = S_{K3} + S_{P3} = 9,85 + 13,14 = 29,89 \text{ кН}$$

$$P_{K4} = S_{K4} + S_{P4} = 9,78 + 13,3 = 23,06 \text{ кН}$$

$$P_{K5} = S_{K5} + S_{P5} = 17,5 + 12,94 = 30,44 \text{ кН}$$

$$P_{K6} = S_{K6} + S_{P6} = 17,42 + 13,1 = 30,51 \text{ кН}$$

$$P_{K7} = S_{K7} + S_{P7} = 15,67 + 13,14 = 28,81 \text{ кН}$$

$$P_{K8} = S_{K8} + S_{P8} = 15,59 + 13,3 = 28,87 \text{ кН}$$

$$P_{K9} = S_{K9} + S_{P9} = 10,34 + 12,94 = 23,28 \text{ кН}$$

$$P_{K10} = S_{K10} + S_{P10} = 10 + 13,1 = 23,1 \text{ кН}$$

$$P_{K11} = S_{K11} + S_{P11} = 22,46 + 12,8 = 35,26 \text{ кН}$$

Знаходимо величину окружного навантаження КВШ для режиму підйому невірноваженого вантажу:

$$P_1 = S_{1\max} - S_{1\min} + 0.02 \cdot S_{1\max} = 16.88 - 12.94 + 0.02 \cdot 16.88 = 4.27 \text{ кН}$$

$$P_2 = S_{2\max} - S_{2\min} + 0.02 \cdot S_{2\max} = 16.8 - 13.09 + 0.02 \cdot 16.8 = 4,05 \text{ кН}$$

$$P_3 = S_{3\max} - S_{3\min} + 0.02 \cdot S_{3\max} = 13.14 - 9.85 + 0.02 \cdot 13.14 = 3,55 \text{ кН}$$

$$P_4 = S_{4\max} - S_{4\min} + 0.02 \cdot S_{4\max} = 13.3 - 9.78 + 0.02 \cdot 13.3 = 3,77 \text{ кН}$$

$$P_5 = S_{5\max} - S_{5\min} + 0.02 \cdot S_{5\max} = 17.5 - 12.94 + 0.02 \cdot 17.5 = 4,9 \text{ кН}$$

$$P_6 = S_{6\max} - S_{6\min} + 0.02 \cdot S_{6\max} = 17.42 - 13.1 + 0.02 \cdot 17.42 = 4.68 \text{ кН}$$

$$P_7 = S_{7\max} - S_{7\min} + 0.02 \cdot S_{7\max} = 15.67 - 13.14 + 0.02 \cdot 15.67 = 2.85 \text{ кН}$$

$$P_8 = S_{8\max} - S_{8\min} + 0.02 \cdot S_{8\max} = 15.59 - 13.3 + 0.02 \cdot 15.59 = 2.63 \text{ кН}$$

$$P_9 = S_{9\max} - S_{9\min} + 0.02 \cdot S_{9\max} = 12.94 - 10.34 + 0.02 \cdot 12.94 = 2.87 \text{ кН}$$

$$P_{10} = S_{10\max} - S_{10\min} + 0.02 \cdot S_{10\max} = 13.1 - 10 + 0.02 \cdot 13.1 = 3.33 \text{ кН}$$

$$P_{11} = S_{11\max} - S_{11\min} + 0.02 \cdot S_{11\max} = 22.46 - 12.8 + 0.02 \cdot 22.46 = 10.1 \text{ кН}$$

2.8 Вибір двигуна та перетворювача частоти

Розрахунок необхідної потужності приводу лебідки:

$$N_{\partial} = \frac{P_{\max} \cdot V}{\eta_{\text{леб}}} = \frac{4,273 \cdot 10^3 \cdot 1,5}{0.75} = 8.55 \text{ кВт}$$

Зважаючи на коефіцієнт запасу для врахування динамічних навантажень отримаємо:

$$P_{\partial\partial} = K_{\text{з}} \cdot N_{\partial\partial} = 1.2 \cdot 8,55 = 10,26 \text{ кВт}$$

Обираємо двигун 4A160S6У3 потужністю 11 кВт, частотою обертання 974 об/хв. Параметри обраного двигуна зведені в таблицю 2.3. Загальний вигляд представлений на рисунку 2.3



Рисунок 2.3 –Загальний вигляд двигуна 4A160S6У3

Таблиця 2.3 – Паспортні дані асинхронного двигуна серії 4A160S6У3

Номінальна потужність	11 кВт
Номінальна напруга	$U_n=380 \text{ В}$
Число пар полюсів	3
Момент інерції	$0,14 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Номінальний ККД	86%
Коефіцієнт потужності	0.86
Перевантажувальна здатність	2
Номінальне ковзання	0.027
Критичне ковзання	0.15
Номінальна частота напруги	50 Гц

При виборі пристрою для перетворення частоти, важливо врахувати електричний струм, який споживає двигун, адже потужність двигуна залежить від максимального струму. Маючи на увазі, що двигун працює в важких умовах і має короткий час на прискорення, можуть виникнути ситуації зі значними перевантаженнями. В таких випадках, струм може перевищити номінальне значення. Також важливо, щоб перетворювач частоти підтримував векторне управління, оскільки воно є незамінним при необхідності високої швидкодії системи на зміни навантаження.

На базі розрахунків проведених раніше, обираємо перетворювач частоти виробника ABB типу ABB ACS310 рис. 2.4 з паспортними даними, приведеними в таблиці 2.4.



Рисунок 2.4 – Вигляд перетворювача частоти ABB ACS310

Таблиця 2.4 – Паспортні дані перетворювача частоти ABB ACS310

Серія	ACS310
Потужність	15 кВт
Вхідна фазність	3-ф/380 В
Вихідна фазність	3-ф/380 В
Вихідна частота	500 Гц
Номінальний струм	31 А
ККД перетворювача	97.2%

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Теоретичні відомості про принцип векторного керування

Векторне управління, основні засади якого були сформовані у 1970-х роках, пройшло значну трансформацію в результаті ретельних наукових досліджень і розвитку сфери напівпровідникової енергетичної електроніки та мікропроцесорних систем. Нині цей метод широко використовується у електроприводах, що випускаються на промислову масштабу по всьому світу.

Така технологія стала реальністю завдяки математичному представленню трифазного асинхронного двигуна за допомогою векторів, що дають змогу орієнтуватись у електричному просторі.

Основна ідея векторного управління асинхронним двигуном полягає в можливості окремого керування швидкістю і потокозчепленням двигуна. Для цього струм двигуна спочатку вимірюється в статичній координатній системі α - β , після чого він трансформується в обертову систему координат d-q, що ілюструється на рисунку 3.1.

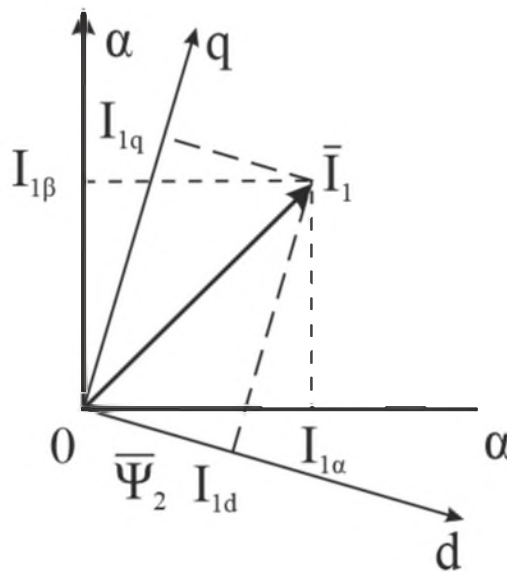


Рисунок 3.1 – Взаємне розташування ортогональних систем координат

При орієнтації осі α за вектором потокозчеплення ротора довжина вектора визначає величину потокозчеплення, а проєкція пропорційна кутовій швидкості валу двигуна.

На рисунку 3.2 прийняті наступні позначення: i_d , i_q – проєкції струмів у системі координат d-q, яка обертається з частотою θ_c ; i_α , i_β – проєкції струмів в стаціонарній системі координат жорстко пов'язаної зі статором; i_A , i_B , i_C – фазні струми статора.

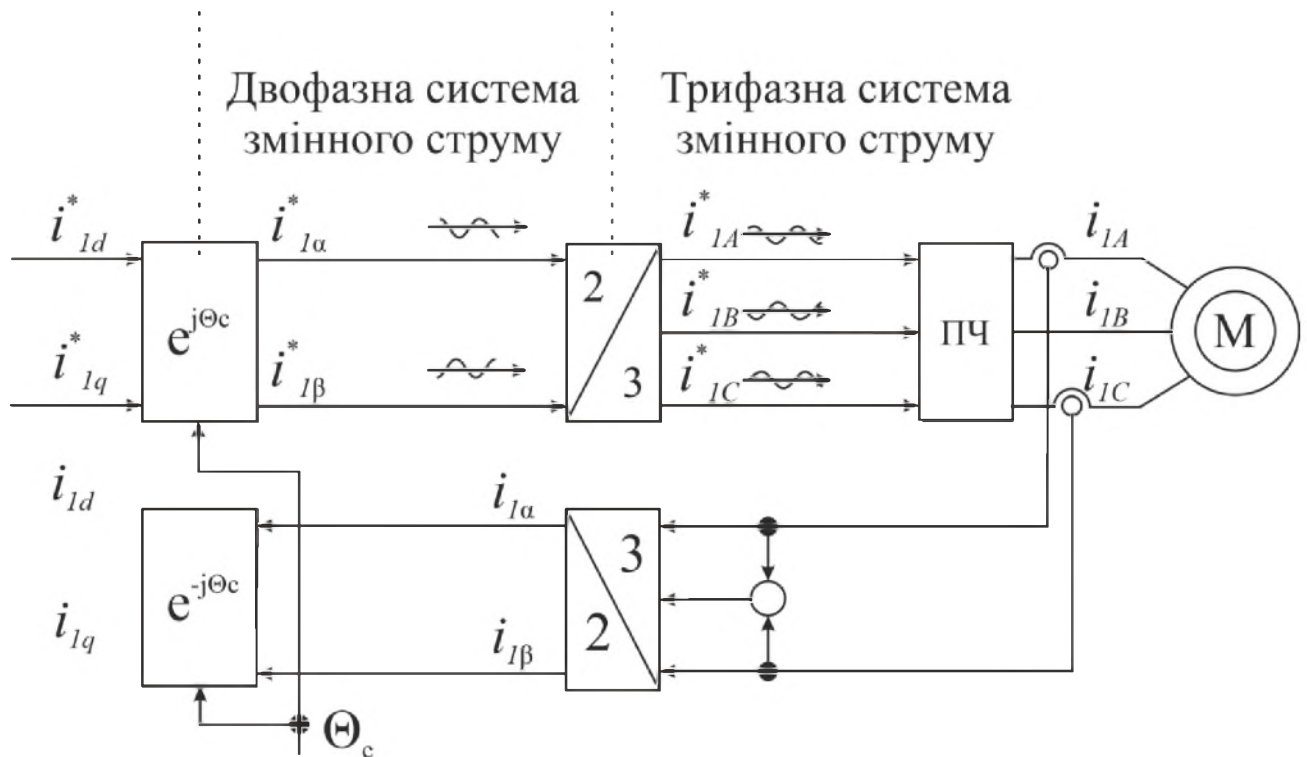


Рисунок 3.2 – Схема координатних перетворень у векторній системі управління АД

Даний рисунок ілюструє функціональну схему векторної системи управління. За допомогою цієї схеми ми можемо бачити, що керовані параметри проходять кроки перетворення координат, які відомі як "Перетворення Кларка і Парка". Процес перетворення відбувається у два етапи:

1. Першим кроком є перехід від обертової системи координат d-q, яка обертається з частотою θ_s , до нерухомої системи координат α - β , тісно зв'язаної зі статором.

2. Другим етапом є перетворення з системи координат α - β до трифазної системи координат ABC.

Отже, контрольовані величини проходять через ці два основних перетворення в процесі векторного управління.

Перетворення Кларка використовує трьохфазні струми - i_A , i_B та i_C , з метою визначення величин струмів у двофазній ортогональній системі координат статора, що орієнтована по осям i_α і i_β . Після отримання цих двох струмів у нерухомій системі координат статора, вони перетворюються у відповідні компоненти струмів i_d та i_q в системі координат d-q. Це вже відбувається за допомогою так званого перетворення Парка.

Перетворення Кларка.

Коли вісь α суміщається з віссю x:

$$\begin{aligned} i_\alpha &= i_a \\ i_\beta &= \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot i_a + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot i_b \\ i_a + i_b + i_c &= 0 \end{aligned}$$

Перетворення Парка:

$$\begin{aligned} i_d &= i_\alpha \cdot \cos \theta + i_\beta \cdot \sin \theta, \\ i_q &= -i_\alpha \cdot \sin \theta + i_\beta \cdot \cos \theta. \end{aligned}$$

Зворотні математичні перетворення Парка і Кларка:

Математичні перетворення від обертової системи координат α - β до нерухомої x - y :

$$\begin{aligned}i_{\alpha} &= i_d \cdot \cos \theta - i_q \cdot \sin \theta, \\i_{\beta} &= i_d \cdot \sin \theta + i_q \cdot \cos \theta.\end{aligned}$$

Формули переходу від двофазної ортогональної x - y до трифазної природної abc :

$$\begin{aligned}i_a &= i_{\alpha}, \\i_b &= -\frac{1}{2} \cdot i_{\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_{\beta}, \\i_c &= -\frac{1}{2} \cdot i_{\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_{\beta}.\end{aligned}$$

Коли вісь d орієнтована за вектором потокозчеплення ротора, можна встановити аналогію між системами керування електроприводом з асинхронним двигуном і двигуном постійного струму, що видно на структурних схемах на рисунку 3.3. Така аналогія нашо́вхує нас на думку, що керування координатами електроприводу змінного струму схоже на керування координатами електроприводу постійного струму.

Структурна схема асинхронного двигуна, представлена на рисунку 3.3, допомагає нам зрозуміти принципи керування асинхронним двигуном, хоча вона є спрощеною.

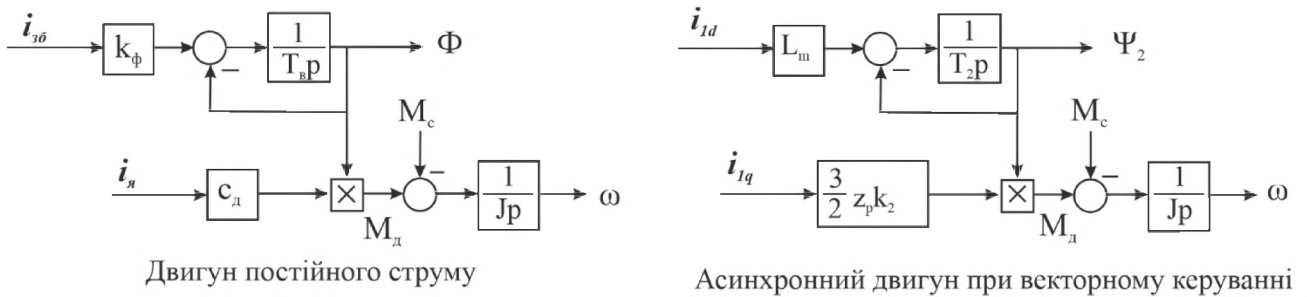


Рисунок 3.3 – Аналогія між структурними схемами двигунів

На рисунку вище прийняті такі позначення: $i_{3б}$, i_a – відповідно струм збудження, якоря; T_3 – стала часу обмотки збудження; k_ϕ – коефіцієнт, що враховує конструкцію двигуна; c_d – стала двигуна; J – момент інерції; M_d – момент двигуна; M_c – момент статичного опору; i_{ld} , i_{lq} – реактивна і активна складові струму статора; k_2 – коефіцієнт електромагнітної зв'язку ротора; T_2 – електромагнітна стала двигуна; z_p – число пар полюсів

3.2 Синтез векторної системи керування

Однією з переваг використання векторного керування є можливість створення високодинамічних систем електроприводу з широким спектром застосування і практично будь-якими потрібними діапазонами регулювання швидкості. Векторне керування призначене для забезпечення закону частотного керування $\tilde{\Psi}_r = const$, тобто, воно надає необхідні статичні і динамічні характеристики електроприводам за допомогою розподіленого регулювання механічних (швидкість, момент) та магнітних (потокосцеплення або магнітний потік) координат. Векторне управління враховує взаємне розташування узагальнених векторів електромагнітних величин.

В силових схемах таких приводів, як правило, використовується частотний перетворювач на базі некерованого випрямника і автономного інвертора напруги

на сигнали у нерухомій системі координат (система α, β), а потім у нерухому систему А, В, С.

Компоненти струму статора, які були виміряні за допомогою датчиків струму, перетворюються назад до системи координат d, q за допомогою обернених перетворень. Регулятори внутрішніх контурів регулювання струму статора, як правило, є пропорційно-інтегральними.

Вимірювання основних компонентів потокозчеплення $\tilde{\Psi}_m$ проводяться за допомогою датчиків Холла або вимірювальних обмоток у системі координат А, В, С. Компоненти потокозчеплення ротора $\tilde{\Psi}_r$ розраховуються в давачі потокозчеплення ротора за відповідними формулами, без урахування коефіцієнта передачі датчиків Холла.

$$\begin{cases} \psi_{r\alpha} = k_r^{-1} \psi_{m\alpha} - L_{r\sigma} i_{s\alpha}, \\ \psi_{r\beta} = k_r^{-1} \psi_{m\beta} - L_{r\sigma} i_{s\beta}. \end{cases}$$

Сигнали амплітуди та фази вектора визначаються у векторному аналізаторі. Сигнал, пропорційний модулю вектора потокозчеплення ротора, надходить до блока порівняння регулятора потокозчеплення, який, як правило, є ПІ-типу. Гармонійні сигнали $\cos \theta_k$ та $\sin \theta_k$ використовуються в перетвореннях координат $2 \rightarrow 2$ через їх включення до відповідних перетворювачів координат (ПК $2 \rightarrow 2$).

Швидкість обертання ротора електродвигуна вимірюється за допомогою тахогенератора закріпленого на валу двигуна. Регулятор швидкості, зазвичай, пропорційний або пропорційно-інтегральний, залежно від потреби в системі.

Регулятор швидкості (РШ), як правило, є або пропорційним (П-) або пропорційно-інтегральним (ПІ-), в залежності від потреби у наданні системі астатичних властивостей.

Структурна схема векторної системи управління з орієнтацією за потокозчепленням ротора включає два канали регулювання: канал потоку та канал

регулювання швидкості обертання ротора. Регулятор потоку, регулятор струму і перетворювач частоти є частиною каналу потокозчеплення.

3.2.1 Синтез регуляторів струму

Запишемо передавальну функцію розімкненого контуру стабілізації струму:

$$W_{\text{роз.к.стаб.І}}(p) = W_{PC}(p) \cdot \frac{k_{\Pi}}{T_n \cdot p + 1} \cdot \frac{1/R_e}{T_{1e} \cdot p + 1},$$

де R_{1e} – сумарний активний опір фази двигуна,

$$R_{1e} = R_s + k_r^2 \cdot R_r$$

де $k_r = \frac{L_m}{L_r}$

Бажаний вигляд передавальної функції розімкненого контуру стабілізації струму:

$$W_{\text{б.роз.к.стаб.І}}(p) = \frac{1/k_{\text{зз.с}}}{a_c \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot (T_{\mu} \cdot p + 1)}$$

де $k_{\text{зз.с}}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом.

Приймаємо $a_c = 2$ відповідно до настройки регулятора на модульний оптимум, $T_{\mu} = T_n$.

Знайдемо передавальну функцію регулятора:

$$W_{PC}(p) = \frac{1/k_{33.c}}{2 \cdot T_n \cdot p \cdot (T_n \cdot p + 1)} \cdot \frac{T_n \cdot p + 1}{k_n} \cdot \frac{T_{1e} \cdot p + 1}{1/R_{1e}} = \frac{T_{1e} \cdot p + 1}{2 \cdot k_{33.c} T_n \cdot p \cdot k_n \cdot 1/R_{1e}}$$

Позначаючи:

$$T_{II} = \frac{2 \cdot k_{33.c} \cdot T_n \cdot k_n}{R_{1e}}$$

Тоді вираз має вигляд:

$$W_{PC}(p) = \frac{T_{1e} \cdot p + 1}{T_{II} \cdot p}$$

3.2.2 Синтез регулятора потоку

Запишемо передавальну функцію розімкненого контуру стабілізації потоку:

$$W_{роз.к.стаб.П}(p) = W_{P\Pi}(p) \cdot W_{зам.к.стаб.}(p) \cdot \frac{k_r L_r}{T_2 p + 1}$$

Передавальна функція замкненого контуру регулювання струму:

$$W_{зам.к.стаб.П}(p) = \frac{W_{роз.к.стаб.П}(p)}{1 + W_{роз.к.стаб.П}(p) \cdot k_{33.c}} = \frac{1/k_{33.c}}{2 \cdot T_n \cdot p + 1}$$

Бажана передавальна функція розімкнутого контуру стабілізації потоку:

$$W_{\text{б.роз.к.стаб.П}}(p) = \frac{1/k_{33.n}}{a_c \cdot T_{\mu c} \cdot p \cdot (T_{\mu c} \cdot p + 1)}$$

Приймаємо відповідно $a_c = 2$, $a_n = 2$ до налаштування регулятора на МО і некомпенсовану постійну часу приймаємо $T_{\mu c} = a_n T_n$.

Знайдемо передавальну функцію регулятора:

$$W_{\text{РП}}(p) = \frac{1/k_{33.c}}{2 \cdot 2 \cdot T_n \cdot p \cdot (2 \cdot T_n \cdot p + 1)} \cdot \frac{2 \cdot T_n \cdot p + 1}{1/k_{33.c}} \cdot \frac{T_2 p + 1}{k_r L_r} = \frac{k_{33.c.1} (T_2 \cdot p + 1)}{4 \cdot T_n \cdot p \cdot k_{33.n} \cdot L_m}$$

Позначаємо:

$$T_{\text{П}} = \frac{k_{33.n} \cdot 4 \cdot T_n \cdot L_m}{k_{33.c.1}}$$

Тоді вираз матиме вигляд:

$$W_{\text{РП}}(p) = \frac{T_2 p + 1}{T_{\text{П}} \cdot p}$$

3.2.3 Синтез регулятора швидкості

Запишемо передавальну функцію розімкнутого контуру стабілізації швидкості:

$$W_{роз.к.стаб.III}(p) = \frac{1}{|\Psi_2| \cdot k_{33.n}} \cdot W_{PIII}(p) \cdot W_{зам.к.стаб.I}(p) \cdot |\Psi_2| \cdot \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_r \cdot \frac{1}{J \cdot p}$$

Передавальна функція замкненого контуру регулювання струму:

$$W_{зам.к.стаб.I}(p) = \frac{W_{роз.к.стаб.I}(p)}{1 + W_{роз.к.стаб.I}(p) \cdot k_{33.c}} = \frac{1 / k_{33.c.2}}{2 \cdot T_n \cdot p + 1}$$

Бажана передавальна функція розімкнутого контуру стабілізації потоку:

$$W_{б.роз.к.стаб.III}(p) = \frac{1 / k_{33.u}}{a_c \cdot T_{\mu c} \cdot p \cdot (T_{\mu c} p + 1)}$$

Приймаємо відповідно $a_c = 2$, $a_u = 2$ до настройки регулятора на МО, а не компенсувати постійну часу $T_{\mu c} = a_u \cdot T_n$.

Знайдемо передавальну функцію регулятора:

$$\begin{aligned} W_{PIII}(p) &= \frac{1 / k_{33.u}}{2 \cdot 2 \cdot T_n \cdot p \cdot (2 \cdot T_n \cdot p + 1)} \cdot \frac{2 \cdot T_n \cdot p + 1}{1 / k_{33.c}} \cdot \frac{2 \cdot k_{33.n} \cdot J \cdot p}{3 \cdot z_p \cdot k_r} = \\ &= \frac{k_{33.n} \cdot k_{33.c.2} \cdot J}{3 \cdot z_p \cdot k_r \cdot 2 \cdot T_n \cdot k_{33.u}} = k_{пу} \end{aligned}$$

Сталі часу

$$T_{1e} = \sigma \cdot \frac{L_s}{R_{1e}}$$

$$T_2 = \sigma \cdot \frac{L_r}{R_r}$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за потоком:

$$k_{33.n} = \frac{U_{н.з.}}{\Psi_2}$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом в контурі потокозчеплення:

$$k_{33.c.1} = \frac{U_{н.з.}}{I_{1d\bar{o}}}$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом в контурі регулювання моменту:

$$k_{33.c.2} = \frac{U_{н.з.}}{I_{1d\bar{o}}}$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$k_{33.m} = \frac{U_{н.з.}}{\omega_{r.\bar{o}}}$$

Коефіцієнт передачі перетворювача по напрузі і стала часу:

$$k_n = \frac{U_{\bar{o}}}{U_{н.з.}}$$

$$T_n = 0,001 \text{ c}$$

Для виконання розрахунку регуляторів і складових моделі маємо задатися базисними значеннями координат електроприводу.

Амплітудне значення номінальної фазної напруги обмотки статора, В

$$U_{\bar{o}} = \sqrt{2} \cdot U_{\phi.n.}, \text{ В}$$

$$I_{1d\bar{o}} = I_{1d}, \text{ А}$$

$$I_{1q\bar{o}} = k_{\max} \cdot I_{1q}, \text{ А}$$

де $k_{\max}$ – перевантажувальна здатність двигуна за моментом

$$k_{\max} = \frac{M_{\max}}{M_n}$$

Номінальна кутова частота напруги статора

$$\omega_{\bar{o}} = 2 \cdot \pi \cdot f_{c.n.}, \text{ рад/с}$$

Кутова частота обертання ротора

$$\omega_{r.\bar{o}} = \frac{\omega_{\bar{o}}}{z_p}, \text{ рад/с}$$

Електромагнітний момент

$$M_{\bar{o}} = k_{\max} \cdot \frac{P_n}{\omega_{p.\bar{o}}}, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Потокозчеплення ротора

$$\Psi_{2\delta} = \Psi_2 = L_m \cdot I_{1d}, \text{ Вб}$$

Розрахунок проєкцій струмів

$$I_{1d} = \sqrt{2} \cdot I_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{-R_s \cdot \sin \varphi - X_s \cdot \cos \varphi}{X_m} \right)^2 + \left(\frac{X_s \cdot \sin \varphi + R_s \cdot \cos \varphi - \frac{U_1}{I_1}}{X_m} \right)^2}$$

$$I_{1q} = \sqrt{2} \cdot I_1 \cdot \sqrt{\left(\cos \varphi - \frac{-R_s \cdot \sin \varphi - X_s \cdot \cos \varphi}{X_m} \right)^2 + \left(-\sin \varphi - \frac{X_s \cdot \sin \varphi + R_s \cdot \cos \varphi - \frac{U_1}{I_1}}{X_m} \right)^2}$$

4 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

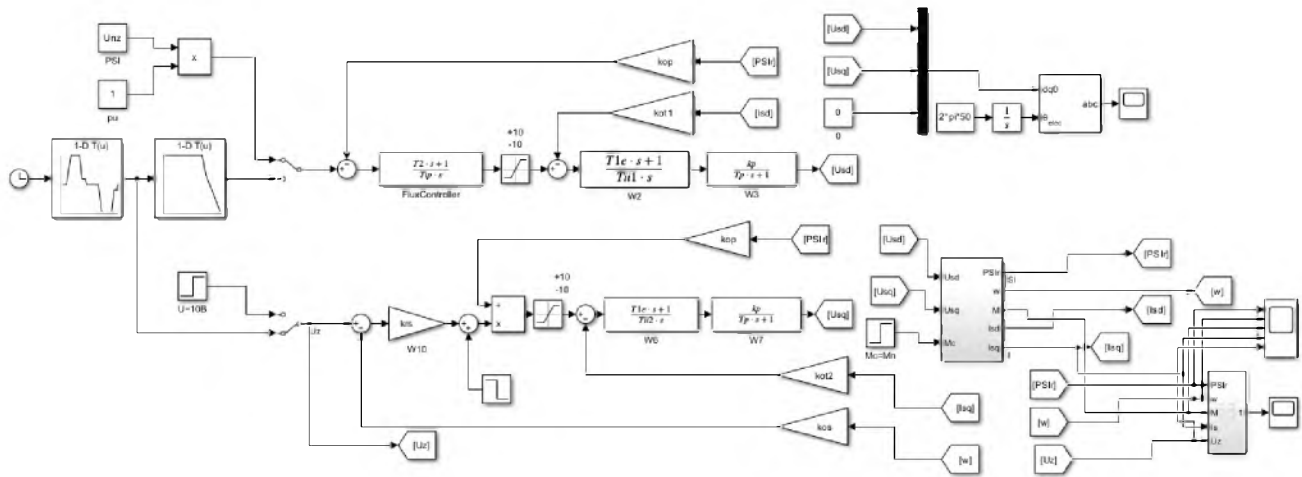


Рисунок 4.1 – Модель векторної системи керування створена у Simulink

На рисунку 4.1 представлена модель векторної системи керування асинхронним двигуном, зібрана у Simulink.

Регулятор швидкості П-типу представлений блоком Gain W10. Регулятор потокозчеплення представлений передавальною функцією в блоці FlowController. Регулятори струму W2, W6 реалізовані у вигляді блоків Transfer Function. Перетворювач частоти представлений блоками W3, W7. Статичний момент навантаження подається як стрибкоподібний сигнал на вході Mc підсистеми асинхронного двигуна.

Структурна модель асинхронного двигуна у координатах d-q із блоком компенсації для усунення впливу перехресних та зворотних зв'язків на якість перехідних процесів система векторного керування наведена на рисунку 4.2, схована у підсистему.

Модель уособлює наявність двох каналів регулювання присутніх в системі векторного управління – модуля потокозчеплення ротора та електромагнітного моменту. Складові, які відповідають проєкціям векторів напруги та струму статора

на вісь d , називають «потокоутворюючими», а проєкції на вісь q – «моментоутворюючими».

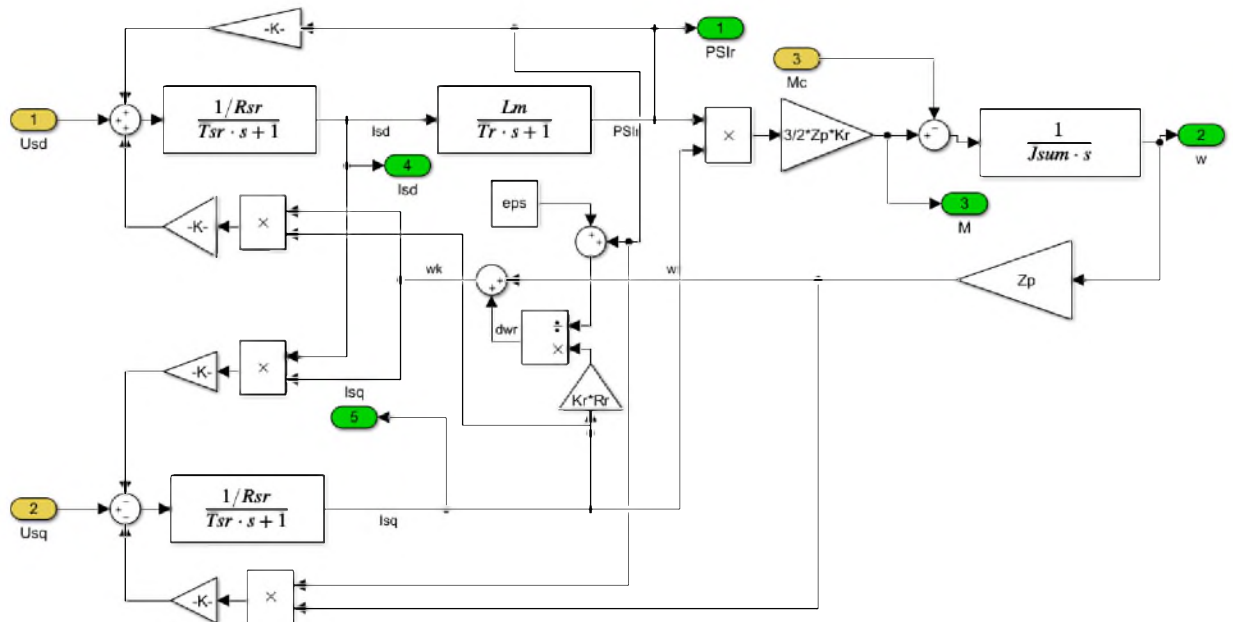


Рисунок 4.2 – Модель асинхронного двигуна у координатах d-q

Запис миттєвих значень вимірюваних величин проходить у відносних одиницях, шляхом заведення сигналів у підсистему, що зображена на рисунку 4.3. У цьому блоці виконується ділення входних змінних на їхні базисні значення. Перед подачею сигналів на вихід вони об'єднуються блоком Mux для подальшої передачі на блок осцилографа Scope.

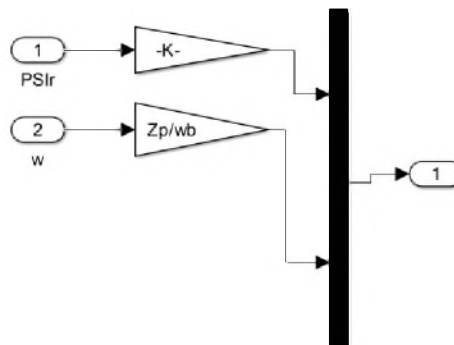


Рисунок 4.3 – Підсистема об'єднання сигналів

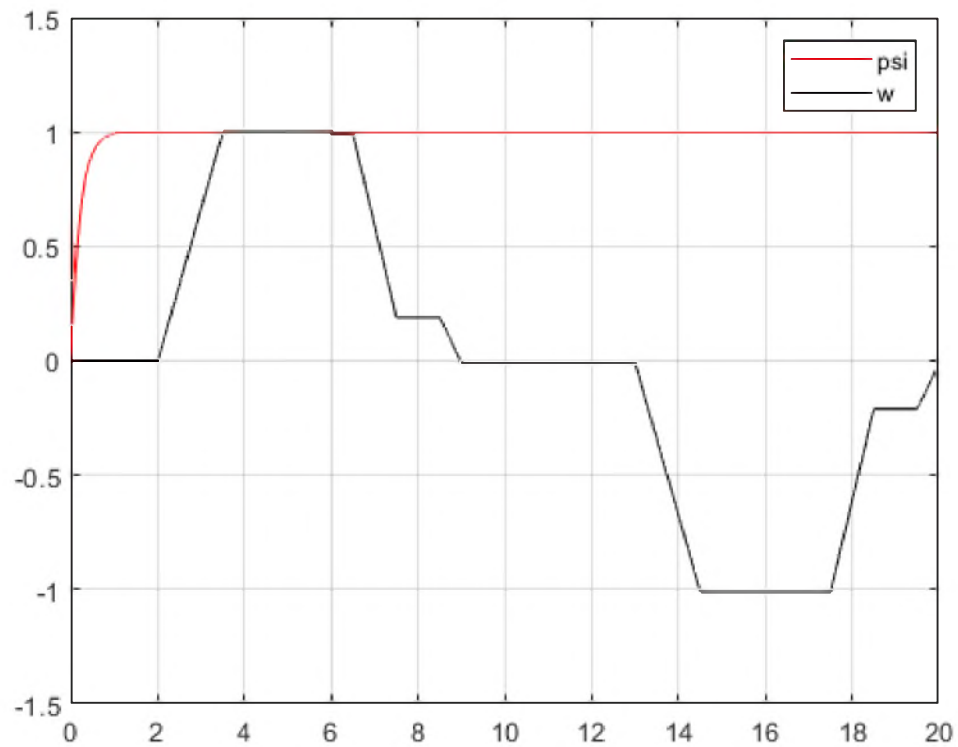


Рисунок 4.4 – Результати моделювання у відносних одиницях

За знятими осцилограмами, які представлені на рисунку 4.4 можна зробити висновок, що розроблена система електропривода приводить до руху та зупиняє кабінку ліфта із бажаним прискоренням на визначеній швидкості швидкістю, тим самим закладену теоретичну тахограму ліфта.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі були розглянуті питання сучасного стану ліфтової галузі, розглянуті кінематичні схеми ліфтів. Дана оцінка технічним можливостям та обмеженням, що накладаються на ліфти згідно технічних норм.

За відомими вихідними даними визначені параметри кабіни, противаги, проведений розрахунок і вибір канатів. Виконана перевірка згідно критерію статичного розривного зусилля. Для забезпечення руху ліфта з бажаною швидкістю обраний редуктор РГСЛ-160-25 з передатним числом 25. Як привод обрано асинхронний двигун з короткозамкненою обмоткою 4A160S6Y3 потужністю 11 кВт і частотою обертання 974 об/хв. Векторне керування в асинхронному електроприводі має забезпечити перетворювач частоти ABB ACS310 потужністю 15 кВт.

Розроблено електромеханічну систему на базі перетворювача частоти та асинхронного двигуна із векторним керуванням за потокозчепленням ротора. Для цього проведено синтез регуляторів і контурів струму, потокозчеплення та швидкості. У бібліотеці Simulink програмного пакету MATLAB складено імітаційну модель розробленої системи електроприводу. Отримано графіки перехідних процесів швидкості, потокозчеплення та моменту.

За отриманими результатами моделювання можна дійти висновку, що спроектована система векторного керування працює цілком адекватно, а перехідні процеси та тахограма задовольняють заданим критеріям. Розгін і гальмування приводного двигуна відбувається із заявленою швидкістю.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Григоров О. В. Ліфти : навч. посібник / О.В. Григоров, В.В. Стрижак, С.О. Губський, та ін. – Х.: НТУ«ХП», 2016. – 172 с.
2. Толочко О. І. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КП», 2016. – 150 с. Іл.
3. Лифты : учебник для вузов / под общ. ред. Д. П. Волкова. -М. : Изд-во АСВ, 1999. - 480 с.
4. Архангельский Г. Г. Эксплуатация и расчет лифтовых установок / Г. Г. Архангельский, А. А. Вайнсон, А. А. Понов. - М. : МИСИ, 1980,- 128 с.
5. Архангельский Г. Г. Основы расчета и проектирования лифтов / Г. Г. Архангельский, А. А. Ионов. - М.: МИСИ, 1985. - 73 с.
6. Волков Д. П. Надежность лифтов и технология их ремонта / Д. П. Волков, П. И. Чутчиков. - М. : Стройиздат, 1985. - 130 с.
7. Волков Д. П. Диагностирование узлов и подсистем лифтов / Д. П. Волков, П. И. Чутчиков, А. К. Прокофьев. - М. : Стройиздат, 1981,-128с.
8. НПАОП 0.00-1.02-08. Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів
9. ДСТУ 3552-97. Ліфти пасажирські та вантажні. Терміни та визначення.

ДОДАТОК А. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З ЛІФТАМИ

А.1 Монтаж електрообладнання ліфта

Випробування ліфта проводять з метою переконатися, що монтаж обладнання й електропроводки виконаний у відповідності з технічною документацією.

Перед випробуванням ліфта:

- виробляють змащення механізмів ліфта, заливають масло в редуктор лебідки і привід дверей до верхньої ризики маслопоказчика. Наявність вологи в редукторах та олії не допускається, пуск редуктора без мастила категорично забороняється;
- перевіряють надійність роботи гальмівного пристрою;
- відсутність в шахті ліфта сторонніх предметів;
- опір ізоляції електрообладнання;
- правильність включення електродвигуна.

Опір ізоляції гальмового електромагніту і трансформаторів повинне бути не менше 0,5 МОм, електродвигуна лебідки - не менш 1 МОм, електродвигуна дверей - не менше 2 МОм. Якщо опір ізоляції не менше допустимих меж, зазначене електрообладнання піддають сушінню.

Опір ізоляції електродвигунів, гальмового електромагніту, трансформаторів перевіряють також у випадках, коли між закінченням монтажу і здачею ліфта в експлуатацію пройшло багато часу, особливо якщо зазначене електрообладнання знаходилося в неопалюваному сирому приміщенні.

Опір ізоляції вимірюють мегомметром на напрузі 500В.

Переконавшись, що всі двері шахти і кабіни закриті і замкнені, приступають до випробування ліфта. Для цього з кабіни, яка опускається від штурвала вручну при вимкненому ввідному пристрої, перевіряють зазори між виступаючими частинами кабіни, шахти і дверей шахти в зоні верхніх трьох поверхів.

Перевірку посадки кабіни на уловлювачі і зняття її з уловлювачів проводять при вимкненому ввідному пристрої шляхом обертання штурвала і натискання на контрольний упор обмежувача швидкості. Кабіни з уловлювачів знімають тільки вручну.

Поставивши кабіну нижче рівня верхнього поверху, включають ввідний пристрій і автоматичний вимикач. Перемикач режимів роботи ставлять в положення “ Керування з машинного приміщення ” і натискають на кнопку - Кн “ Вниз ” в шафі керування.

Посадку кабіни на уловлювачі виробляють впливом на контрольний упор обмежувача швидкості після того, як кабіна досягне номінальної швидкості. Для перевірки правильності регулювання обмежувача швидкості поміщають канат струмок меншого діаметру і виробляють пуск кабіни вниз з машинного приміщення. При досягненні номінальної швидкості уловлювачі повинні спрацювати, а вимикач уловлювачів розірвати ланцюг управління.

Перевірку уловлювачів виробляють в зоні верхніх трьох поверхів.

Регулювання ліфта після перевірки уловлювачів виробляють з кабіни при роботі ліфта в режимі “ Ревізія

При підготовці гальма до роботи змащують консистентним мастилом всі шарнірні з'єднання. Попадання мастила на поверхні накладок і гальмівного шківа недоступно. Усі шарнірні з'єднання повинні легко провертатися, колодки самовстановлюватися по зовнішній поверхні гальмівного шківа і фіксуватися у цьому положенні щодо важелів при розгальмуванні системи.

Пружини гальма встановлюють по розмірам, зазначеним на бирках. Регулювання гальмівного моменту в межах 6-8 кгсм виробляють однаковим зміною довжини пружини з допуском ± 1 мм в однаковому напрямі (обидві підтискають або обидві послаблюють). З допомогою гвинтів між якорем і корпусом електромагніту встановлюють зазор в межах 3-4 мм, що відповідає зазору 0,5 - 0,8 мм між накладками і гальмівним шківом в розгальмованому стані.

Зазор між клинами уловлювачів і спрямовуючої повинен бути дорівнює 3 мм. Клини повинні спрацьовувати одночасно з обох сторін, що досягається регулюванням за допомогою стяжний муфти, вимикач уловлювачів повинен спрацьовувати до зіткнення клинів з направляючої (при ході клинів вгору на 11 мм). Після перевірки спрацьовування положення вимикача фіксується відгином планки.

Після цього ставлять кабіну точну зупинку. При цьому:

- зазор між порогами дверей кабіни і дверей шахти по всій довжині повинен бути дорівнює 40 -45 мм;
- ролик 1 важеля шахтної двері повинен зайти в отводку не менше ніж на 10 мм (регулювання досягається зміною довжини консолі осі ролика в різьбі з наступною фіксацією її контргайкою, при цьому зазор між торцем ролика і порогом кабіни повинен бути не менше 14 мм);
- зазор між циліндричною поверхнею ролика і внутрішньою площиною скоби повинен бути дорівнює 8 ± 2 мм (регулювання досягається зміною положення важеля 26;
- зазор між торцем шунта і пазом датчика ДТО повинен бути дорівнює 15-20 мм, а зміщення шунта щодо осі симетрії паза датчика не більше 3 мм;
- важіль поверхового перемикача повинен займати вертикальне положення при знаходженні ролика на прямолінійній ділянці комбінованої відводки, повинен бути зазор між торцем осі ролика і комбінованої відводки - не менше 12 -17 мм, шлях уповільнення при русі кабіни як вгору, так і вниз однаковим, зазор між відведеннями дверей кабіни і порогом дверей шахти - не менше 14 мм.

Після остаточного регулювання взаємодії важеля замка дверей шахти і скоби положення важеля фіксують контровочною металевою пластиною 18, загнувши її з двох сторін на важіль.

Регулювання кінцевого вимикача ВК проводять, коли кабіна перебуває в крайніх робочих положеннях, шляхом зміни положення упорів, що встановлюються на канат обмежувача швидкості, і зміною кута установки важеля контакту. При

цьому механізм виключення контакту, що встановлюється на підставці обмежувача швидкості, повинен вільно взаємодіяти з упорами, які встановлюються таким чином, щоб кінцевий вимикач спрацював при проходженні кабіною крайніх робочих положень на відстань 50 ± 10 мм.

A.2 Регулювання електроапаратури

Регулювання апаратури виробляють при знятій напрузі. Перед цим апаратуру очищають від пилу і бруду. Особливо ретельно розглядають апаратуру в шафі керування. Контактні поверхні повинні бути чистими і сухими, а зв'язані контакти замикатися одночасно і щільно.

Автоматичний вимикач в ланцюзі живлення статорних обмоток двигуна лебідки, як правило, не регулюється. При огляді лише перевіряють затягування гвинтів кріплення автомата на панелі і гвинтів кріплення проводів.

Для перевірки теплових розчіплювані в автоматичних вимикачів з струмами уставки 10 або 12,5 А:

- 1) від'єднують всі дроги з верхніх і нижніх клем автоматичного вимикача;
- 2) намотують у вільний простір трансформатора ОСО - 0,25 напругою 380/24 В кілька витків гнучкого мідного ізольованого проводу перерізом не менше 4 mm² таким чином, щоб при замиканні цієї додаткової обмотки через один з полюсів автоматичного вимикача по ній протікає струм 40 - 46, при неможливості отримання струму в заданих межах при напрузі 380 В трансформатор включають на 220 В, змінивши число витків додаткової обмотки;
- 3) вимірюють час спрацьовування автоматичного вимикача при пропущеній струму по черзі через кожен полюс; випробування кожного полюса проводять з інтервалом часу не менше 15 хв.

Вимикач вважається таким, що витримав випробування, якщо час спрацювання двох з трьох полюсів знаходиться в межах 7 - 30 с, а третього - не менше 7 с. Для отримання необхідного часу спрацювання використовують можливість регулювання струму уставки.

Для вимикачів з уставкою на 12,5 А рекомендується до початку випробувань встановити регулятор уставки в положення 44 0,91 ”,

Автоматичний вимикач, захищає двигун привода дверей, має регульовану уставку спрацювання теплових розчіплювачів. Час спрацювання цього автомата при струмі 1,35 І_н не більше 30 хв, а при струмі 6 І_н від 1,5 до 10 с.

Регулювання часу спрацювання здійснюється за допомогою важеля уставки автомата, який фіксується в відрегульованому положенні гвинтом.

При огляді і перевірці контакторів всі роботи проводять при вимкненому ввідному пристрої. Контактори не повинні мати механічних пошкоджень, всі болтові і гвинтові з'єднання повинні бути затягнуті.

Включивши і відключивши контактор кілька разів від руки, перевіряють, чи немає механічних заїдань. Помічені недоліки усувають. При цьому рухливі контакти повинні стикатися з нерухомими по всій площі. Допускається відхилення порядку 0,5 мм. Контакти та блок - контакти контакторів повинні мати провал і необхідний розчин (зазор між рухомим і нерухомим контактами). Перевірку проводять наступним чином. Включають контактор і перевіряють наявність провалу блок - контактів, який повинен бути близько 2-4 мм.

При огляді магнітної системи звертають увагу на:

- якір повинен легко повертатися з мінімальним переміщенням вздовж осі призми;
- між бічною поверхнею котушки і магнітопроводом повинен бути зазор не менше 2 мм;
- при включеному контакторі якір повинен щільно прилягати до капелюшку' сердечника. Допускається зазор між якорем і кінцем капелюшки сердечника, зверненим до осі обертання якоря, не більше 0,5 мм.

При огляді реле часу перевіряють:

- кріплення реле на панелі і кріплення проводів, приєднаних до затискачів реле;
- схему з'єднання контактів по принциповій схемі ліфта;
- відсутність затирання рухомої системи при повороті якоря від руки;
- правильність регулювання параметрів контактної системи.

Регулювання розчинів (зазорів) і провалів контактів виробляють шляхом переміщення нерухомих контактів. Розчини (проміжки) між нерухомими і рухомими контактами повинні бути: у розмикаються - не менше 3,5 мм, у замикаються - не менше 4 мм. Провал контактів як замикаються, так і розмикаються повинен бути не менше 1,5 мм.

Регулювання витримки часу реле виробляють зміною товщини немагнітної прокладки (груба регулювання) - чим тонше прокладка, тим більше витримка часу - і натягом натяжна пружини за допомогою гайок (плавне регулювання).

Поворотну пружину затягують тільки до забезпечення чіткого відпадання якоря і провалу розмикає контакти. Зачищати контакти наждачним полотном забороняється. Для цього застосовують оксамитовий напилочок.

При огляді поверхових реле оглядають контактну систему. При натиснутому якорі нормально розімкнуті контакти повинні замкнутися, нормально замкнуті - розімкнутися. Рухлива система реле повинна чітко повертатися у вихідне положення.

Перевіряють також стан клем понижуючих трансформаторів, пінцетів і ножів ввідного пристрою (рубильника).

Контактні гвинти затягують до відмови.

ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____