

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

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О. КОЛЛАРОВ
(ініціали, прізвище)
«___» _____ 2022 р.

**Кваліфікаційна робота
бакалавра**

на тему Автоматизована електромеханічна система механізму підйому ліфта
з керуванням за потокозчепленням ротора

Виконав студент 4 курсу, групи ЕЛК-18
(шифр групи)
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
підготовки електромеханіка
(шифр і назва спеціальності підготовки)

Антон ТОЛКАЧОВ
(ім'я та прізвище) (підпис)

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

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

Нормоконтроль:

(підпис) **О. ЛЮБИМЕНКО**
02.06.2022
(дата)

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

Студент _____
(підпис)
02.06.2022
(дата)

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)

« » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Антону ТОЛКАЧОВУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Автоматизована електромеханічна система механізму
підйому ліфта з керуванням за потокозчепленням ротора

керівник роботи Едуард НЕМЦЕВ

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 02 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: _____

Швидкість кабіни 1,75 м/с; Вантажопідйомність 1150 кг;

Маса кабіни 1425 кг, Точність зупинки 0,02 м; Граничне прискорення 1 м/с²;

Діаметр шківів 0,8 м; Висота шахти 60 м, Посадочний поверх – 1.

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

1. Аналіз наукової літератури з ліфтових підйомних установок

2. Розрахунок елементів електромеханічної системи

3. Розрахунок кінематичної схеми механічної частини

4. Розробка математичної моделі електромеханічної системи

5. Дослідження динамічних характеристик електромеханічної системи ліфта

6. Розробка питань 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 – 5	Е. НЄМЦЕВ, ст. викл. каф. ЕлІн		
Розділ 6	О. КОЛЛАРОВ, зав. каф. ЕлІн		
Нормоконтроль	О. ЛЮБИМЕНКО, доц. каф.		

7. Дата видачі завдання 05 травня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	03.05.22 – 10.05.22	
2.	Розділ 2	11.05.22 – 15.05.22	
3.	Розділ 3	16.05.22 – 20.05.22	
4.	Розділ 4	21.05.22 – 25.05.22	
5.	Розділ 5	26.05.22 – 30.05.22	
6.	Розділ 6	31.05.22 – 06.06.22	
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис)

Антон ТОЛКАЧОВ
(ім'я та прізвище)

Керівник
роботи _____
(підпис)

Едуард НЄМЦЕВ
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

А. ТОЛКАЧОВ, Автоматизована електромеханічна система механізму підйому ліфта з керуванням за потокозчепленням ротора / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – ДВНЗ ДонНТУ, м. Луцьк, 2022 рік.

У виконаній кваліфікаційній роботі був проведений аналіз наукової літератури з ліфтових підйомних установок. Вивчені кінематичні схеми ліфтів, характеристика ліфта, проаналізовані режими роботи ліфта. Виконаний розрахунок елементів електромеханічної системи. Розраховані та вибрані підйомні канати та канатоведучий шків, визначена потужність двигуна, визначені параметри двигуна, розраховані параметри схеми заміщення, проведений вибір перетворювача частоти. Розрахована кінематична схема механічної частини електропривода, розроблена математична модель електромеханічної системи. Розрахований регулятор швидкості, складений алгоритм непрямого векторного керування асинхронним двигуном. Складена модель для симуляції в програмному пакеті Simulink Matlab. Проведені дослідження динамічних характеристик ліфта.

Ключові слова: ліфтова підйомна установка, електропривод, канатоведучий шків, система керування, асинхронний двигун, Matlab, моделювання, схема заміщення, перехідний процес

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ З ЛІФТОВИХ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК	10
1.1 Важливі історичні події для ліфтової галузі	10
1.2 Кінематичні схеми ліфтів.....	12
1.3 Характеристика ліфта	12
1.4 Аналіз режимів роботи ліфта.....	15
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ	20
2.1 Розрахунок підйомних канатів	21
2.2 Розрахунок канатоведучого шківів.....	22
2.3 Попереднє визначення потужності двигуна.....	24
2.4 Визначення параметрів двигуна	27
2.5 Розрахунок параметрів схеми заміщення	29
2.6 Вибір частотного перетворювача	33
2.7 Визначення передатного числа редуктора	34
2.8 Розрахунок діаграм зусиль і вибір двигуна.....	36
3 РОЗРАХУНОК КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ.....	41
4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ	45
4.1 Розрахунок регулятора швидкості.....	45
4.2 Непряме векторне керування асинхронного двигуна	49
5 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛІФТА	52
5.1 Розробка досліджуваної моделі	52
5.2 Дослідження динамічних характеристик ліфта	53
ВИСНОВКИ.....	65

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	67
ДОДАТОК А ОХОРОНА ПРАЦІ.....	68

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЛПУ – ліфтова підйомна установка;

ЕМС – електромеханічна система;

КВШ – канатоведучий шків;

СПК – слабина підвісних канатів;

НП – натяжний пристрій;

ОШ – обмежувач швидкості;

ПУБЕЛ – правила устрою та безпечної експлуатації ліфтів;

(a–b) – позначення стаціонарної системи координат;

(d–q) – позначення системи координат ротора;

p_n – число пар полюсів;

R_1 – активний опір статора;

R'_2 – активний опір ротора, приведений до статора;

L_1 – індуктивність обмотки статора;

L'_2 – індуктивність обмотки ротора, приведена до статора;

L_m – індуктивність контуру намагнічування;

ВСТУП

Ліфт давно став невід'ємною частиною звичного життя. В Україні та за кордоном успішно працює величезний парк ліфтів різних конструкцій, що задовольняє потреби комунального господарства, промислових підприємств і споруд громадського та спеціального призначення.

Невпинний суспільний розвиток для зручності та комфорту користувачів вимагає безперервної модернізації засобів внутрішнього транспорту будівель і споруд на базі сучасних досягнень науки та техніки.

Парк ліфтів, що поступово розширюється, та інші засоби ближнього транспорту вимагають безперервного вдосконалення в техніці монтажу та технічного обслуговування даних машин із метою підвищення безпеки і надійності.

Ліфтові підйомні установки(ЛПУ) знаходяться серед найбільш поширених засобів вертикального транспортування людей і вантажів та знайшли застосування як в житлових, адміністративних чи промислових будівлях, так і на підземних вугільних та гірничо-рудних підприємствах.

У теперішній час склалась тенденція до збільшення поверховості споруд, що, відповідно, веде до підвищення рівня вимог безпеки, що висуваються до ліфтових підйомних установок.

У цих умовах зростають вимоги до статичних і динамічних характеристик електроприводів, до точності виконання заданих траєкторій руху, а також в цілому до енергоефективності установок.

Зазначені вимоги призводять до того, що стає необхідним використання новітніх наробок як у конструкторських особливостях окремих вузлів та механізмів ліфтів так і в частині застосування сучасних систем електроприводів, як то: дослідження векторно-керованих асинхронних електродвигунів.

Поряд з цим для рекомендації з використання нових систем електроприводів ліфтових установок необхідно переконатися, що вони сповна задовольняють всім переліченим вимогам технологічного процесу.

Отже, досить актуальною постає завдання досліджень статичних і динамічних характеристик електроприводів та проведення аналізу їх на предмет відповідності вимогам з боку технологічності транспортних систем вертикального руху.

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ З ЛІФТОВИХ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК

1.1 Важливі історичні події для ліфтової галузі

У 1852 році в США брати Отіс зробили винахід «уловлювача» – пристрою, що зупиняє кабін у випадку обриву всіх тягових канатів. Починаючи з цього винаходу розпочалось сучасне ліфтобудування. Ліфти, які встановлюють в житлових будинках, тепер не були небезпечною екзотичною іграшкою. Тоді як привод застосовували парову машину.

Після винаходу в 1878 році обмежувача швидкості, який включав уловлюючий пристрій в разі перевищення кабіною заданої швидкості, почало стрімко розширюватись застосування ліфтів у цивільному будівництві.

У 1880 р в Німеччині Сіменсом вперше побудований ліфт із рейковою напрямною та живленням від двигуна постійного струму.[1]

До кінця XIX ст. підйомним механізмом були лебідки, в яких канати намотувалися на барабан. У цьому виконанні канати жорстко кріпилися до барабану, а їх кількість обмежувалась двома. Розмір барабана залежав від висоти підйому та максимальної маси вантажу. При виникненні несправності в системі керування ліфтом лебідка затягувала кабін у під верхнє перекриття шахти.

Недоліків такого характеру не мав винайдений в кінці XIX ст. канатоведучий шків (КВШ), завдяки ньому стало можливим застосовувати підвіску кабіни з великою кількістю гілок канатів, що призвело до підвищення надійності і безпеки користування ліфтом. Параметри шківів не залежали від висоти підйому ліфта, і це дало змогу зробити стандарти на вузли ліфта, уніфікувавши їх, чим забезпечувалось виконання необхідної умови для серійного випуску ліфтів.

Кабіна залишалась на КВШ за рахунок сил тертя між канатом і ободом КВШ. Завдячуючи цій особливості виключалась небезпека в затягуванні кабіни під верхнє перекриття шахти: канати проковзували в ободі шківів.

У теперішній час виокремились такі напрямки розвитку ліфтової галузі:

- використання досягнень в областях електроніки і мікропроцесорної техніки в системах керування ліфтами;
- комбіноване застосування багатокабінних підйомників, ескалаторів і пасажирських конвеєрів в будівлях і спорудах ліфтів,;
- застосування системи автоматизованого проєктування ліфтів;
- використання методів комп'ютерної обробки інформації, впровадження мікропроцесорних систем самодіагностики ліфтів для покращення ефективності систем їх технічного обслуговування;
- використання досягнень робототехніки при виготовленні ліфтів;
- модернізація раніше встановленого обладнання;
- пошук проривних технологічних рішень і механізація трудомістких процесів задля підвищення ефективності і якості монтажу ліфтів;
- пошук способів підвищення надійності пристроїв, що дають змогу ліфтам безпечно працювати;
- дослідження в напрямку вдосконалення систем електроприводу та розширенню сфери застосування систем змінного струму з амплітудно-частотним і векторним типом керування;
- розробка стійких до вандалізму варіантів посадкових майданчиків, конструкції кабін і їх дизайну;
- зниження вібрації та рівня шуму в кабіні ліфта та самій будівлі через вдосконалення конструкції всіх систем устаткування ліфтів;[2]
- використання нових конструкційних та оздоблювальних матеріалів;
- покращення якості виготовлення, зниження кошторису масового виробництва та витрат при експлуатації на базі уніфікації та стандартизації ліфтового обладнання;

1.2 Кінематичні схеми ліфтів

Кінематичною схемою ліфта називається принципова схема, що забезпечує взаємодію підйомного механізму з рухомими частинами ліфта - кабіною та протизагою.

На рис. 1 зображені найбільш розповсюджені принципові кінематичні схеми ліфтів, що відрізняються розташуванням лебідок в будівлі, конструкцією канатоведучого органу та певною мірою призначенням [3].

На рис.1 прийняті наступні позначення:

а - нижнє розміщення барабанної лебідки; б - верхнє розміщення барабанної лебідки; в, г, и, к - верхнє розміщення лебідки з протизагою; д, з - нижнє розміщення лебідки з протизагою; е, ж - верхнє розміщення лебідки із канатоведучим шківом та контршківом; 1 - кабіна ліфта, 2 - відвідний блок; 3 - лебідка; 4,6 - протизага; 5 - контршків.

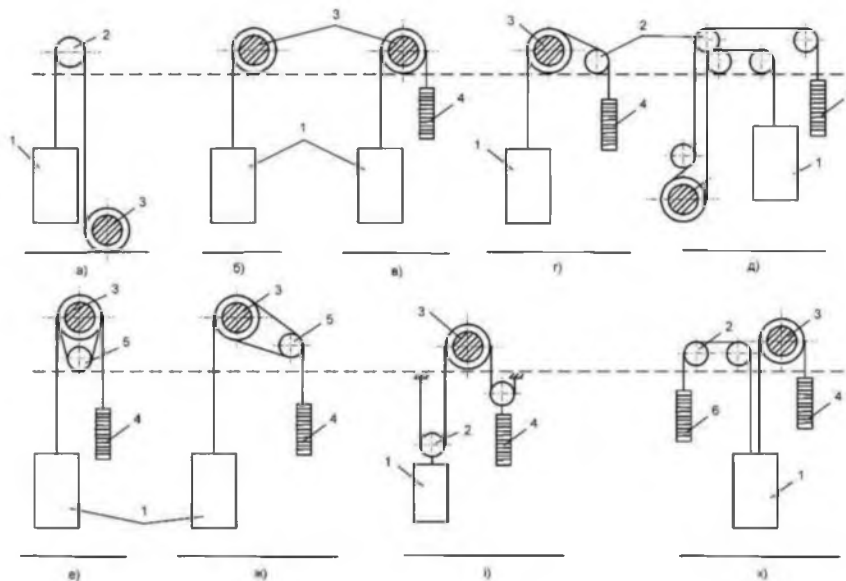


Рисунок 1 – Різновиди кінематичних схем ЛПУ

1.3 Характеристика ліфта

Характеристикою ліфта називають комплекс його основних параметрів.

Номінальна вантажопідйомність ліфтів (в кг) характеризує масу вантажу, що піднімається, на яку розрахований ліфт. У вантажопідйомність ліфта не включається маса кабіни з обладнанням яке постійно перебуває в та на ній: рейкові шляхи візків, монорельси, талі. У вантажопідйомність ліфта включають масу вантажів (ящиків, ковшів, цебер), транспортних засобів (візки, вагонетки) та інших пристроїв, які не знаходяться постійно в кабіні.

Швидкістю ліфта називається швидкість підйому або опускання його кабіни. Існують декілька різновидів швидкостей.

Номінальна швидкість – швидкість, на яку розрахований ліфт. Вона приймається згідно з технічним завданням на проектування згідно з матеріалами по ліфтобудуванню.

Номінальні швидкостей сучасних ліфтів, що знайшли масове застосування перебувають у межах від 0,18 до 4 м/с. Швидкість понад 4 м/с можна зустріти дуже рідко. Це впливає з того, що швидкий підйом і опускання зі значним великим перепадом по висоті погано відбивається на самопочутті пасажирів, це іноді викликає больові відчуття в слухових органах. Підвищення швидкості, до того ж, не завжди значить, що продуктивність ліфта істотно збільшиться. Ліфти з високими номінальними швидкостями знайшли застосування в будівлях із підвищеною поверховістю. Варто зазначити, що для більш ефективного використання цих ліфтів вони не обслуговують нижні поверхи. Для них передбачені більш прості та дешеві ліфти з меншими заявленими швидкостями.

Робоча швидкість – це фактична швидкість ліфта в експлуатаційних умовах. Вона може змінюватись через різні фактори, такі як: напруга в електричній мережі, маса корисного навантаження, опір рухомих частин ліфта. Електродвигуни, лебідки та інші елементи ліфтів мають різні технічні дані, це прямо позначається на робочих швидкостях: однаково навантажені ліфти будуть мати швидкості відмінні від номінальних.

Граничною швидкістю ліфта називають найбільшу швидкість, при досягненні якої обов'язково мають спрацьовувати аварійні пристрої (пристрій обмежувача швидкості та уловлювачі). Швидкості, при яких спрацьовують

уловлювачі, перебувають в границях від 15% до 40% перевищення номінальної швидкості ліфта.

Ревізійною швидкістю називається швидкість, на якій проводять огляд елементи ліфта, що розташовуються всередині шахти, з даху кабіни. Ревізійна швидкість має складати не більше 0,36 м/с.

Зупиночною швидкістю ліфта називають швидкість кабіни, за якої лебідка знеструмлюється та загальмовується до повної зупинки. Зупиночна швидкість є характерною для ліфтів з двошвидкісними лебідками. Для того, аби отримати потрібну точність зупинки кабіни, перед підході до місця зупинки ліфт переводять з порівняно високої робочої швидкості на знижену (зупиночну).

Параметр, назва якого «продуктивність», для пасажирських і вантажних ліфтів визначає таку кількість пасажирів або вантажів, що переміщує ліфт в одному напрямку за одну годину. Він залежить від площини підлоги кабіни та ступеня її заповненості, часу входу та виходу для пасажирів або завантаження та розвантаження вантажів, номінальної швидкості та висоти підйому ліфта, від часу відкриття та закриття дверей і операцій з керування ліфтом.

Продуктивність ліфтів потрібна для визначення пасажиро- або вантажопотоків, вантажопідйомності ліфтів і необхідної кількості їх у будівлі.

У загальному циклі пасажирського та вантажного ліфтів, де є часті зупинки основний відрізок часу йде на операції, які пов'язані з зупинками. Через це збільшена номінальна швидкість ліфта в значному ступені здорожує його вартість, а натомість не дає пропорційного підвищення продуктивності.

Прискорення або уповільнення кабіни ліфта має істотне значення для проведення оцінювання якості роботи ліфта. Прискорення виникають у більшості випадків на початку руху кабіни, іншими словами під час пуску (при розгоні) ліфта, а уповільнення - при зупинці. Високі значення прискорення або уповільнення ведуть до скорочення часу розгону та зупинки ліфта, тим самим призводячи до підвищення його продуктивності. Проте дуже великі значення прискорень ведуть до додаткових навантажень на пасажирів, провокуючи негативну дію на організм людини (нудоту, запаморочення, стиснене дихання,

больові відчуття). Саме через це максимально припустимі прискорення (м/с^2) обмежуються такими найбільшими значеннями при нормальному перебігу зупинки ліфта.

В екстрених випадках, коли зупинка відбувається через кнопку «Стоп» уповільнення не має бути вищим за 3 м/с^2 , а в аварійних випадках при посадці кабіни та противаги на уловлювачі або буфера не більше 25 м/с^2 . Може допускатися перевищення цієї величини, якщо час його дії складає до $0,04 \text{ с}$.

Виходячи з того, що допустимі уповільнення при гальмуванні ліфта обмежені, то зростання номінальних швидкостей ліфтів веде до збільшення шляху гальмування і, отже, погіршується точність зупинки. До прикладу, при уповільненні $1,5 \text{ м/с}^2$ за швидкості кабіни в момент накладання гальма $0,15 \text{ м/с}$ точність зупинки буде складати $K = \pm 10 \text{ мм}$, за швидкості кабіни ліфта $0,5 \text{ м/с}$ точність зупинки дорівнюватиме $K = \pm 50 \text{ мм}$, а за швидкості кабіни $0,8 \text{ м/с}$ до $\pm = 120 \dots 150 \text{ мм}$. Через це підвищення швидкості ліфта з одношвидкісним двигуном обмежене потрібною точністю зупинки кабіни. Проте якщо номінальна швидкість ліфта має бути підвищена до $1 \dots 2 \text{ м/с}$, то застосовується двошвидкісний двигун, що може забезпечити потрібну номінальну швидкість, з якою кабіна пройде практично весь шлях між зупинками, а незадовго до зупинки двигун перемикається на зупиночну швидкість (в $4 \dots 8$ разів менше номінальної). На даній швидкості від електроживлення від'єднується лебідка. У той же час відбувається накладання механічного гальма.

1.4 Аналіз режимів роботи ліфта

Система управління ліфтом забезпечує задоволення вимог пасажирів (наказів з кабіни, викликів з поверхових панелей), вирішивши при цьому ряд логічних задач, які пов'язані у першу чергу з коректним вибором напрямку руху залежно від взаємного розташування кабіни та поверху призначення, враховуючи відмінності умов виконання наказів і викликів, із необхідністю надавання безпеки пасажирів при роботі ліфта, а також із деякими

особливостями роботи ліфта на різних режимах (в машинному приміщенні знаходиться перемикач режимів) [4].

Режим «Нормальна робота» забезпечує прибуття і зупинку кабіни на поверх звідки прийшов сигнал виклику, відкривання дверей, а, того як пасажир зайшов у кабіну, подальший рух за наказами. Після залишення кабіни на поверсі призначення двері закриваються, ліфт знову знаходиться у готовності до роботи за викликами (іноді є можливою також зупинка за попутними викликами).

Режим «Управління з машинного приміщення» дозволяє оператору проконтролювати роботу основних елементів і пристроїв ліфта, здійснюючи керування ним з машинного приміщення. У даному режимі, з метою підтримання безпеки, мають бути вимкнені можливість роботи за викликами і наказами, а також можливість відкривання дверей (через розрив відповідних електричних кіл).

У режимі «Ревізія» може проводитись інспекційна поїздка оператора на даху кабіни метою якої є контроль і профілактика обладнання шахти. У даному режимі для ліфтів, у яких номінальна швидкість більша за 0,71 м/с, рух має відбуватись на швидкості до 0,4 м/с, іншими словами для двошвидкісних ліфтів рух має проходити з «малою» швидкістю, а можливість роботи на «великій» швидкості виключається. Унеможлиблюється рух за командами керування від кнопок пультів, встановлених в кабіні (накази), на поверхових майданчиках (виклики), а також у машинному приміщенні. Управління рухом «вгору» і «вниз» виконується через встановлений на даху кабіни додатковий кнопочний піст, причому рух є можливим лише при затиснутій кнопці (використання, наприклад, залипаючих кнопок є неможливим).

Останнім часом обов'язково встановлюються також режими «Пожежна небезпека» та режим «Перевезення пожежних підрозділів». Перший забезпечує примусовий рух кабіни до основного (зазвичай - першого) поверху без зупинки за попутними викликами у випадку спрацьовування системи пожежної небезпеки, а другий дозволяє здійснювати керування кабіною ліфта при наявності відповідних ключів у представників пожежної служби.

У деяких випадках наявний також режим «Завантаження» (в особливості для вантажно-пасажирських ліфтів), при ньому виключається можливість роботи за викликами, унеможливорюється автоматичне закривання дверей після закінчення витримки часу, а керування відбувається лише за наказами.

У ліфтах теперішніх поколінь застосовується також режим «Аварія», коли у оператора є можливість відновлювати працездатність ліфта при знаходженні його в певних аварійних ситуаціях (зняти кабінку з уловлювачів або вивести її в межи робочої зони при аварійному виході з неї).

Важлива характеристика роботи ліфта в режимі «Нормальна робота» полягає в різних можливостях системи управління щодо виконання зупинок кабіни за попутними викликами. Розрізняють системи управління без збірної управління, з одностороннім збірним керуванням (якщо кабіна рухається вниз) і з повним збірним керуванням (при русі кабіни як вгору, так і вниз).

У випадку використання системи без збірної управління кабіна рухається на перший за часом виклик, а ті виклики що надходили пізніше не приймаються та не виконуються. Можливість реєстрації та виконання нового виклику з'явиться лише після звільнення кабіни, навіть для випадків, коли нові виклики є попутними. Реалізація схеми управління такого рішення є найбільш простим, але пропускна здатність ліфта у даному випадку невелика. Знайшло застосування в вантажних і лікарняних ліфтах, а також у пасажирських ліфтах для будівель із малою і середньою поверховістю.

Ліфти з одностороннім збірним керуванням проводять реєстрацію викликів з усіх поверхів. Якщо кабіна знаходиться на поверсі нижчому за поверх викликів, то кабіна рухається на той поверх номер якого більший, а далі, рухаючись за наказом вниз, робить зупинки на поверхах попутних викликів, де підбирає пасажирів з цих поверхів (якщо кабіна не є повністю завантаженою і може прийняти додатково пасажирів). Такий тип управління з високим ступенем ймовірності відповідає характеру транспортування пасажирів в житлових будинках, через це знайшло застосування тут при високій поверховості даних будівель.

У випадку використання повного збірною управління кожний поверх обладнується двома кнопками («вгору» і «вниз»), завдяки ним пасажир має можливість надати в систему управління інформацію про бажаний напрямок переміщення. Кабіна, що рухається повз цей поверх, робить зупинку, якщо напрямок її руху збігається з тип, який потрібен пасажирову з даного проміжного поверху. Ускладнена схема є виправданою з огляду на підвищення пропускної спроможності ліфта. Знайшла застосування в пасажирських ліфтах громадських і адміністративних будівель.

Будівлі з підвищеною поверховістю з напруженими пасажиропотоками обладнуються кількома ліфтами. При цьому має бути узгоджена робота цих ліфтів за викликами, основною метою якої є підвищення показника продуктивності ліфтів, зменшення холостих пробігів і, як результат, зменшення витрати енергії та зносу ліфтового обладнання, зменшення середньої тривалості очікування кабіни пасажирами. Ці завдання мають вирішення через системи групового управління. Алгоритм управління та реалізація даних систем у значній мірі залежать від типу будівлі, а також характеру пасажиропотоку, можуть мати істотні розбіжності у різних ліфтових фірм, але є перелік умов при роботі в цьому режимі[5]:

- унеможлиблюється направлення на поверх звідки надійшов сигнал виклики більше однієї кабіни;
- виклик на певний поверх призначається до виконання, якщо кабіна завантажена неповністю, а також рухається в потрібному напрямку або, коли такої немає, найближчій вільній кабіні;
- першій зі звільнених кабін надсилається сигнал на виконання і вона автоматично переміщується на поверх із найінтенсивнішим потоком (зазвичай – перший), а решта кабін після звільнення перебувають на поверхах, на яких вони прийшли за наказами.

В адміністративних будівлях у випадку реалізації групового управління можуть також використовуватися «Ранковий» і «Вечірній» режими для підвищення ефективності переміщення пасажиров на самому початку робочого

часу та по його закінченні. У «ранковому» режимі виключаються всі виклики, крім першого поверху, кабіни транспортують пасажирів за наказами з першого поверху на інші, а вивільнені кабіни направляються на перший поверх автоматично. У «Вечірньому» режимі кабіна йде на поверх найвищого виклику не зупиняючись на проміжних поверхах, а далі рухається вниз за наказом роблячи зупинки на проміжних поверхах, якщо вона не повністю завантажена, іншим словами реалізується режим одностороннього збірного управління.

Не дивлячись на значну різноманітність засобів реалізації систем керування ліфтами, алгоритмічна основа близька через завдань, що вирішуються.

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Таблиця 1 – Вихідні дані

Швидкість кабіни	$V, \text{ м/с}$	1.75
Вантажопідйомність	$m_B, \text{ кг}$	1150
Маса кабіни	$m_K, \text{ кг}$	1425
Точність зупинки	$\Delta S, \text{ м}$	0.02
Граничне прискорення	$a_{\text{max}}, \text{ м/с}^2$	1
Діаметр шківів	$D_{\text{ш}}, \text{ м}$	0.8
Висота шахти	$H, \text{ м}$	60
Посадочний поверх	Пп	1

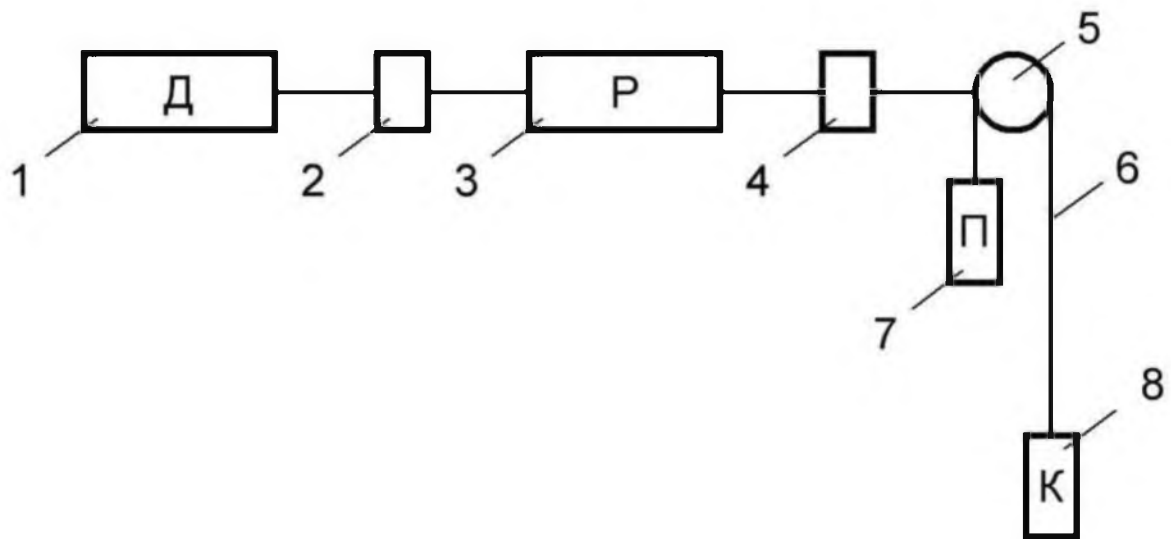


Рисунок 2 – Кінематична схема ліфта

- 1 – двигун;
- 2 – гальмівна муфта;
- 3 – редуктор;
- 4 – сполучна муфта;
- 5 – канатоведучий шків;

- 6 – канати;
- 7 – протизага;
- 8 – кабіна.

Переважає кількість сучасних ліфтів облаштовуються кінематичними схемами з верхнім розташуванням електроприводу. Таке розміщення дозволяє зменшити число перегинів канатів, через що збільшується їх довговічність, підвищується ККД, знижується навантаження на опорні конструкції, падає вартість.

Кінематична схема з верхнім розміщенням електроприводу працює наступним чином: обертовий рух від приводного двигуна (1) передається через гальмівну муфту (2), редуктор (3) та сполучну муфту (4) на канатоведучий шків (5), який у свою чергу за допомогою канатів (6) приводить до руху кабіну (8) і протизагу (7).[6]

Звернемо увагу на призначення деяких елементів кінематичної схеми.

Роль редуктора полягає у зменшенні частоти обертання ротора двигуна та збільшенні крутного моменту двигуна.

Протизага у повній мірі урівноважує кабіну, частково вантаж і зменшує статичний момент опору, що створюється кабіною та вантажем.

Привод ліфта має забезпечувати зупинку кабіни з відхиленням рівнів підлоги та кабіни, яке залежить від величини початкової швидкості при граничних прискореннях різного рівня. З цією метою підхід до поверху відбувається на зниженій швидкості з подальшим включенням гальмівної муфти, за допомоги якої здійснюється повна зупинка кабіни.

2.1 Розрахунок підйомних канатів

Знайдемо максимальний статичний натяг гілки канату F_{MAX} , Н.

$$F_{\max} = \frac{G_{\kappa} + G_{\varepsilon}}{m_T \cdot i_n},$$

де G_k – вага кабіни, Н;

G_z – вантажопідйомність ліфта, Н;

m_T – число канатів, $m_T = 6$;

i_n – кратність поліспаста, $i_n = 1$.

$$F_{\max} = \frac{13695 + 11210}{6 \cdot 1} = 4206 \text{ Н}$$

Визначимо розривне зусилля канату $F_p = F_{\max} \cdot k_z$,

де k_z – коефіцієнт запасу міцності каната $k_z = 12$;

$$F_p = 4206 \cdot 12 = 50472 \text{ Н}$$

Тепер підберемо канат таким чином, щоб була справедливою рівність $F_{\text{дон}} \geq F_p$, $F_{\text{дон}}$ – допустиме розривне зусилля, Н.

Виберемо канат типу ГОСТ 3077-80 з параметрами: діаметр $d = 10.5 \text{ мм}$, $F_{\text{дон}} = 56 \text{ кН}$.

2.2 Розрахунок канатоведучого шківа

На значення відстані між канавками ободу КВШ впливає діаметр канату. Таким чином:

$$t = (1,2 \div 2) \cdot J = 1,6 \cdot 10,5 = 16,8 \text{ мм}$$

Ширина канатоведучого шківа визначається:

$$b = (m \cdot t + 2 \cdot d) \cdot z = (6 \cdot 16,8 + 2 \cdot 10,5) = 115,5 \text{ мм}$$

де t, d – відповідно крок канавок і діаметр каната, мм;

m – кількість паралельних гілок каната;

z – кількість обхватів канатами КВШ $z = 1$;

Маса шківа:

$$m_{ш} = \frac{\pi \cdot D_{ш}^2 \cdot b \cdot \gamma}{4}, \text{ кг}$$

де $D_{ш}$ – діаметр КВШ, м;

γ – питома вага каната, $\gamma = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кН} / \text{м}^3$.

$$m_{ш} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 0,115 \cdot 7,8 \cdot 10^3}{4} = 288 \text{ кг}$$

Момент інерції шківа:

$$J_{ш} = \frac{m_{ш} \cdot R_{ш}^2}{2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

де $R_{ш}$ – радіус шківа, м;

$$J_{ш} = \frac{288 \cdot 0,4^2}{2} = 46,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Визначимо вагу противаги:

$$G_{пв} = G_{\kappa} + \alpha \cdot G_{\epsilon} = 13695 + 0,4 \cdot 11210 = 18473 \text{ Н}$$

де α – вантажопідйомність, $\alpha = 0,35 \div 0,4$,

G_{ϵ} – вантажопідйомність, $G_{\epsilon} = 11210 \text{ Н}$;

G_{κ} – вага кабіни, $G_{\kappa} = 13695 \text{ Н}$.

Маса противаги:

$$m_{ng} = \frac{G_{ng}}{g} = \frac{18473}{9,81} = 1885 \text{ кг}$$

2.3 Попереднє визначення потужності двигуна

Тривалість руху кабіни на кожному поверсі можна визначити скориставшись формулою:

$$t = t_p + t_z + t_y$$

де t_p – час розгону, с, $t_p = \frac{v}{a_{\max}} = \frac{1,75}{1} = 1,75 \text{ с}$

t_z – час гальмування, с, $t_z = t_{z1} + t_{z2} + t_{z3}$;

де $t_{z1} = \frac{v - v_{noc}}{a_{\max}} = \frac{1,75 - 0,3}{1} = 1,45 \text{ с}$ – час переходу від номінальної швидкості до посадкової;

t_{z2} – час підходу до поверху на посадковій швидкості $t_{z2} = 1,0 \text{ с}$

t_{z3} – час гальмування до повної зупинки, $t_{z3} = \frac{v_{noc}}{a_{\max}} = \frac{0,3}{1} = 0,3 \text{ с}$

$$t_z = 1,45 + 1 + 0,3 = 2,75 \text{ с}$$

t_y – час руху на усталеній швидкості, $t_y = \frac{(n_2 - n_1) \cdot 2,5 - S}{v}$, с;

де $n_1 = 1, n_2 = 24$ – порядковий номер поверхів;

S – шлях, який проходить кабіна під час розгону та гальмування, м;

$$S = S_p + S_{z1} + S_{z2} + S_{z3}$$

де $S_p = 0,5 \cdot a_{\max} \cdot t_p^2 = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,75^2 = 1,53 \text{ м}$ – шлях, що пройде кабіна за час розгону;

$$S_{z1} = 0,5 \cdot a_{\max} \cdot t_p^2 = 0,5 \cdot 1 \cdot 1,75^2 = 1,53 \text{ м}$$

$$S_{z2} = v_{\text{noc}} \cdot t_z = 0,3 \cdot 1,0 = 0,3 \text{ м}$$

$$S_{z3} = 0,5 \cdot a_{\max} \cdot t_{z3}^2 = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,3^2 = 0,045 \text{ м}$$

Шлях, що проходить кабіна при розгоні та гальмуванні:

$$S = 1,53 + 1,05 + 0,3 + 0,045 = 2,925 \text{ м}$$

Визначимо час, що витрачається на технологічний цикл підйому:

$$\begin{aligned} T &= \frac{2H_B - h \cdot (N_B^{\text{II}} + N_C^{\text{C}} + 1)}{V} + k_t \cdot \left[(t_1 + t_2 + t_3) \cdot (N_B^{\text{II}} + N_C^{\text{C}} + 1) + t_4^{\text{II}} + t_5^{\text{II}} + t_4^{\text{C}} + t_5^{\text{C}} \right] = \\ &= \frac{2 \cdot 42 - 3 \cdot (9 + 5 + 1)}{1,75} + 1,05 \cdot ((2 + 1 + 1) \cdot (9 + 5 + 1) + 33,6 + 16,8) = 138 \text{ с} \end{aligned}$$

Час роботи двигуна:

$$t_B = T - K_t \cdot (t_4^{\text{II}} + t_5^{\text{II}} + t_4^{\text{C}} + t_5^{\text{C}}) = 138 - 1,05 \cdot (33,6 + 16,8) = 85,1 \text{ с}$$

$$TB = \frac{100 \cdot t_B}{T} = \frac{100 \cdot 85,1}{126} = 67,6\%$$

Визначення потужності двигуна ліфта складається з попереднього вибору потужності за статичними навантаженнями, побудови повної навантажувальної діаграми враховуючи перехідні процеси і в результаті до подальшої перевірки за допомогою методу еквівалентного струму або моменту.

Попередня потужність двигуна:

$$P_{\partial} = \frac{(1 - \alpha) \cdot G_r \cdot V}{\eta} = \frac{(1 - 0,36) \cdot 1150 \cdot 9,8 \cdot 1,75}{0,5} = 25649 \text{ Вт}$$

Проведемо перерахунок потужності враховуючи найближче стандартне значення:

$$P_p = P_{\partial} \cdot \sqrt{\frac{TB}{TB_{CT}}} = 25649 \cdot \sqrt{\frac{67,5}{100}} = 21065 \text{ Вт}$$

Уточнена потужність:

$$P_{\text{д}} = P_p \cdot k_{\text{зан}} = 21065 \cdot 1,2 = 25278 \text{ Вт}$$

де $k_{\text{зан}} = 1,1 \dots 1,3$ – коефіцієнт що враховує динамічні навантаження.

Перевірка умови необхідної продуктивності ліфтової установки:

$$\Pi = \frac{3600E(\gamma_{\Pi} + \gamma_C)}{T} = \frac{3600 \cdot 14 \cdot (0,8 + 0,4)}{138} = 438 \text{ люд / год}$$

Таблиця 2 – Паспортні дані двигуна 4A225M8УЗ

Номінальна потужність	$P_{2n}=30 \text{ кВт}$
Номінальна лінійна напруга	$U_{ln}=380 \text{ В}$
Число пар полюсів	$p_n=3$
Момент інерції	$J_d=0.74 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Номінальний ККД	$\eta=0.905$
Коефіцієнт потужності	$\cos(\varphi)_n=0.81$
Перевантажувальна здатність	$\lambda=2.1$
Номінальне ковзання	$S_n=0.018$
Критичне ковзання	$S_k=0.115$
Номінальна частота напруги	$f=50 \text{ Гц}$
Параметри Г-подібної схеми заміщення (у відносних одиницях)	
Індуктивний опір розсіювання статора	$\overline{x_1}=0.12$
Активний опір статора	$\overline{R_1}=0.045$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\overline{x_2}=0.17$
Приведений активний опір ротора	$\overline{R_2}=0.022$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\overline{x_\mu}=2.3$

2.4 Визначення параметрів двигуна

Кутова частота напруги статора:

$$\omega_0 = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад / с}$$

Швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_0}{p_n} = \frac{314}{3} = 104,7 \text{ рад} / \text{с}$$

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega_n = \omega_{xx} \cdot (1 - s_n) = 104,7 \cdot (1 - 0,018) = 102,8 \text{ рад} / \text{с}$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{30 \cdot 10^3}{102,8} = 292 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Критичний момент двигуна (по перевантажувальній здатності λ з каталогу):

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 2,1 \cdot 292 = 613 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номінальні діючі значення фазної напруги статора:

$$U_n = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

Номінальне значення фазного струму статора:

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{30 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,81} = 62,4 \text{ А}$$

Амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ В}$$

$$I_{na} = \sqrt{2} I_n = \sqrt{2} \cdot 62,4 = 88,1 \text{ А}$$

Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу коли $R_1 = 0$:

$$\psi_{1xx} = \frac{U_{na}}{\omega_0} = \frac{311}{314} = 0,99 \text{ Вб}$$

2.5 Розрахунок параметрів схеми заміщення

Перерахунок параметрів Г-подібної схеми заміщення для Т-подібної відбувається за наступною методикою:

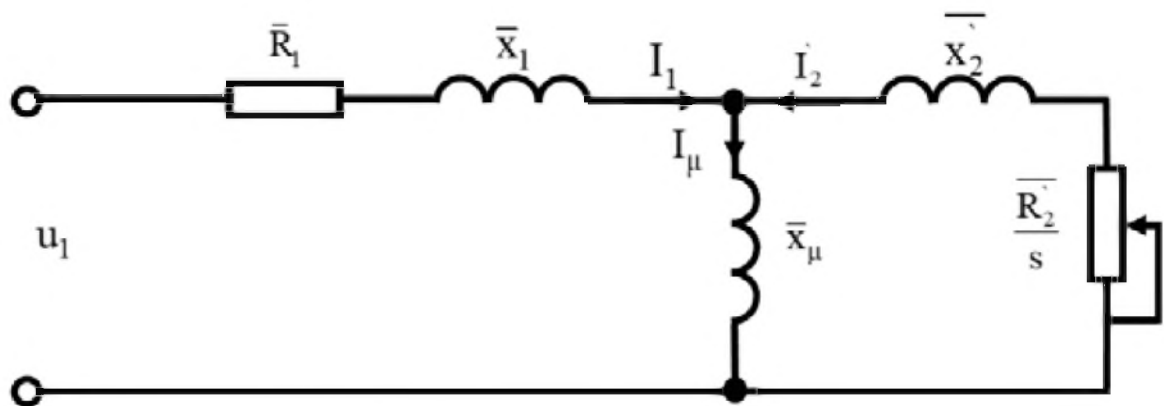


Рисунок 3 – Т-подібна схема заміщення АД

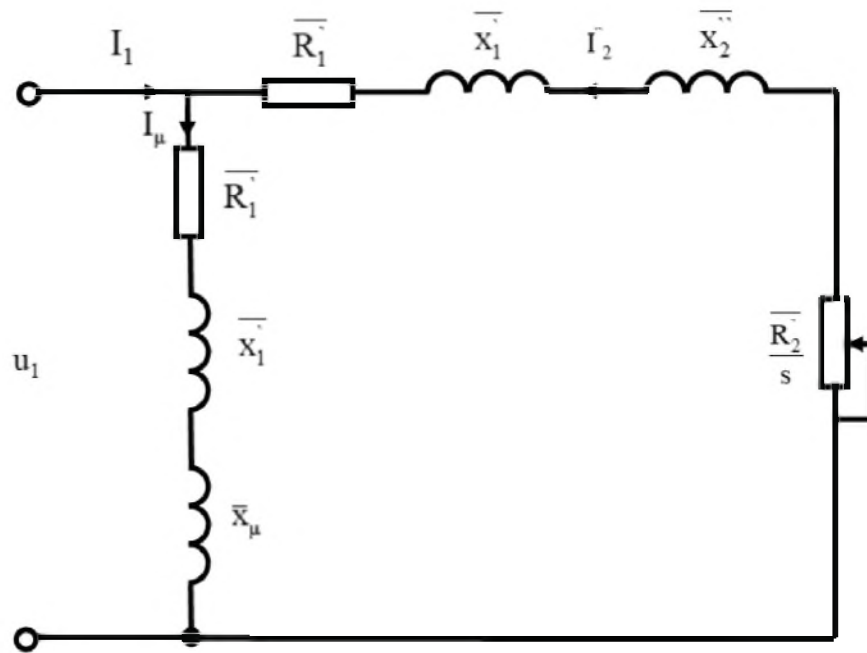


Рисунок 4 – Г-подібна схема заміщення АД

Коефіцієнт перерахунку між Т-подібною та Г-подібною схемами заміщення [7]:

$$c_1 = \frac{\bar{x}_\mu + \sqrt{x_\mu^2 + 4\bar{x}_1' \bar{x}_\mu}}{2\bar{x}_\mu} = \frac{2,3 + \sqrt{2,3^2 + 4 \cdot 0,12 \cdot 2,3}}{2 \cdot 2,3} = 1,05$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\bar{x}_1 = \frac{\bar{x}_1'}{c_1} = \frac{0,12}{1,05} = 0,11$$

$$\bar{x}_2' = \frac{\bar{x}_2''}{c_1^2} = \frac{0,17}{1,05^2} = 0,15$$

$$\bar{R}_1 = \frac{\bar{R}_1'}{c_1} = \frac{0,045}{1,05} = 0,042$$

$$\bar{R}_2' = \frac{\bar{R}_2''}{c_1^2} = \frac{0,022}{1,05^2} = 0,019$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях:

Індуктивний опір статора:

$$x_1 = \bar{x}_1 \frac{U_n}{I_n} = 0,11 \cdot \frac{220}{62,4} = 0,38 \text{ Ом}$$

Активний опір статора:

$$R_1 = \bar{R}_1 \frac{U_n}{I_n} = 0,11 \cdot \frac{220}{62,35} = 0,148$$

Індуктивний опір ротора, приведений до статора:

$$x'_2 = \bar{x}'_1 \frac{U_n}{I_n} = 0,12 \cdot \frac{220}{62,35} = 0,43 \text{ Ом}$$

Активний опір ротора, приведений до статора:

$$R_2 = R'_2 \frac{U_n}{I_n} = 0,019 \cdot \frac{220}{62,35} = 0,067 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір розсіювання:

$$x_\mu = \bar{x}_\mu \frac{U_n}{I_n} = 2,3 \cdot \frac{220}{62,35} = 8,11 \text{ Ом}$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_0} = \frac{0,38}{314} = 0,0012 \text{ Гн}$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x'_2}{\omega_0} = \frac{0,43}{314} = 0,0013 \text{ Гн}$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_0} = \frac{8,1}{314} = 0,025 \text{ Гн}$$

Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0,025 + 0,0012 = 0,0262 \text{ Гн}$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0,025 + 0,0013 = 0,0263 \text{ Гн}$$

На основі проведених розрахунків обчислюються значення параметрів:

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{0,067}{0,0263} = 2,53 \text{ Ом / Гн}$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{0,148}{0,0262} = 5,65 \text{ Ом / Гн}$$

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right) = 0,0262 \cdot \left(1 - \frac{0,025^2}{0,0262 \cdot 0,0263} \right) = 0,00243 \text{ Гн}$$

$$\sigma_1 = L_2 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right) = 0,0263 \cdot \left(1 - \frac{0,025^2}{0,0262 \cdot 0,0263} \right) = 0,00243 \text{ Гн}$$

$$\beta = \frac{L_m}{\sigma L_2} = \frac{0,025}{0,00243 \cdot 0,0263} = 391,171 / \Gamma H$$

$$\beta_1 = \frac{L_m}{\sigma_1 \cdot L_1} = \frac{0,025}{0,00243 \cdot 0,0262} = 392,71 / \Gamma H$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \beta L_m = \frac{0,148}{0,00243} + 2,54 \cdot 391,17 \cdot 0,025 = 30,88 \text{ Ом} / \Gamma H$$

$$\gamma_1 = \frac{R_2}{\sigma_1} + \alpha_1 \beta_1 L_m = \frac{0,067}{0,00243} + 5,64 \cdot 392,7 \cdot 0,025 = 58,1 \text{ Ом} / \Gamma H$$

$$\gamma_2 = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \beta L_m + \alpha = \frac{0,148}{0,00243} + 2,54 \cdot 391,17 + 2,54 = 33,5 \text{ Ом} / \Gamma H$$

Таблиця 3 – Параметри двигуна 4A225M8Y3

$P_{2H}, \text{кВт}$	30	$L_1, \Gamma H$	0,0262
$\omega_{xx}, \text{рад} / \text{с}$	104,7	$L_2, \Gamma H$	0,0263
$\omega_n, \text{рад} / \text{с}$	102,8	$L_m, \Gamma H$	0,025
$M_n, H \cdot m$	292	$\alpha, \text{Ом} / \Gamma H$	2,54
$M_\kappa, H \cdot m$	613	$\alpha_1, \text{Ом} / \Gamma H$	5,64
λ	2,1	$\sigma, \Gamma H$	0,00243
$I_{на}, A$	86,9	$\sigma_1, \Gamma H$	0,00243
$\psi_{1xx}, Bб$	0,99	$\beta, \Gamma H$	391,18
η	0,905	$\beta_1, \Gamma H$	392,67
$\cos \varphi$	0,81	$\gamma, \text{Ом} / \Gamma H$	30,93
$J_\partial, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,74	$\gamma_1, \text{Ом} / \Gamma H$	58,12
$R_1, \text{Ом}$	0,148	$\gamma_2, \text{Ом} / \Gamma H$	33,47
$R_2, \text{Ом}$	0,067		

2.6 Вибір частотного перетворювача

Тепер до обраного нами двигуна 4A225M8УЗ підберемо перетворювач частоти, таким чином, щоб його потужність і струм у номінальному режимі були не менші аніж у двигуна, і який би відповідав вимогам технологічного процесу ліфтових підйомних установок. Такі цілі задовольняє перетворювач серії Altivar ATV930D37N4 компанії Schneider Electric розрахований на потужність 37 кВт та номінальний струм 65 А при напрузі живлення 380В.

2.7 Визначення передатного числа редуктора

Синхронна частота обраного двигуна дорівнює $n_0 = 750 \text{ об / хв.}$

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega_n = \omega_{xx} \cdot (1 - s_n) = 104,7 \cdot (1 - 0,018) = 102,8 \text{ рад / с}$$

Тоді передатне число редуктора буде:

$$i_p = \frac{\omega_n \cdot D_{ui}}{2 \cdot V} = \frac{102,8 \cdot 0,8}{2 \cdot 1,75} = 23,5$$

де D_{ui} діаметр канатоведучого шківа, м.

Приймаємо стандартне значення передатного числа редуктора $i_{p.cm} = 25$

Статичний момент механізму на валу з вантажем:

$$\begin{aligned} M_{CB} &= 0,5 \cdot (1 - a_y) \cdot (G_z + G_k - G_{npt}) \cdot D_{ui} = \\ &= 0,5 \cdot (1 - 0,35) \cdot (11370 + 13865 - 18473) \cdot 0,8 = 2196 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Статичний момент механізму на валу без вантажу:

$$\begin{aligned}
 M_{CB} &= 0,5 \cdot (1 - a_y) \cdot (G_{\kappa} - G_{nrm}) \cdot D_{ш} = \\
 &= 0,5 \cdot (1 - 0,35) \cdot (13865 - 18473) \cdot 0,8 = -1467 \text{ Н} \cdot \text{м}
 \end{aligned}$$

Момент інерції механізму:

$$J_{мех} = J_{к.вант} + J_{nrm} + J_{шк} = 411,6 + 301,31 + 48,03 = 761 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$J_{к.вант}$ – момент інерції завантаженої кабіни, приведений до валу шківа;

$$J_{к.вант} = \frac{(G_{\kappa} + G_{\varepsilon}) \cdot D_{ш}^2}{4 \cdot g} = \frac{(13970 + 11270) \cdot 0,8^2}{4 \cdot 9,8} = 411,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

J_{nrm} – момент інерції противаги, приведений до валу шківа;

$$J_{nrm} = \frac{G_{np} \cdot D_{ш}^2}{4 \cdot g} = \frac{18743 \cdot 0,8^2}{4 \cdot 9,8} = 301,31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції механізму без вантажу:

$$J_{мб} = 301,31 + 48,03 = 347,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції механізму приведений до валу двигуна:

$$J_{мв.пр} = \frac{J_{мб}}{i_{р.см}^2} = \frac{347,4}{25^2} = 0,55 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Сумарний момент інерції:

$$J_{\Sigma B} = J_{MB.np} + J_p = 1,21 + 0,74 = 1,95 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{\Sigma B} = J_{MB.np} + J_p = 0,55 + 0,74 = 1,29 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Фактична швидкість руху кабіни:

$$V_{\phi} = \frac{\omega_n \cdot D_u}{2 \cdot i_{p.cm}} = \frac{102,8 \cdot 0,8}{2 \cdot 25} = 1,67 \text{ м / с}$$

2.8 Розрахунок діаграм зусиль і вибір двигуна

$$t_1 = t_3 = \frac{V_{\max}}{a} = \frac{1,67}{1} = 1,67 \text{ с}$$

$$x_1 = x_3 = \frac{a \cdot t_1^2}{2} = \frac{1 \cdot 1,67^2}{2} = 1,39 \text{ м}$$

$$x_2 = H - 2 \cdot x_1 = 60 - 2 \cdot 1,39 = 57,7 \text{ м}$$

$$t_2 = \frac{x_2}{V_{\max}} = \frac{57,7}{1,67} = 35 \text{ с}$$

$$T_p = 35 + 2 \cdot 1,39 = 37,8 \text{ с}$$

де t_1, t_3 – час розгону та гальмування;

x_1, x_3 – шлях, який проходить кабіна при розгоні та гальмуванні;

x_2 – шлях, яку проходить кабіна на максимальній швидкості;

t_2 – тривалість руху кабіни на максимальній швидкості;

T_p – тривалість підйому кабіни на висоту 60 метрів;

1. Режим підйому завантаженого ліфта ($G = G_n$):

$$F_z = G + \alpha \cdot G_n + g_k (H - 2 \cdot x) \pm m \cdot a$$

де G – вага вантажу в ліфті, Н;

G_n – номінальна вантажопідйомність ліфта, Н;

$$\alpha = 0,5;$$

g_k – вага 1 метру підвісного канату, Н;

H – висота підйому, м;

x – відстань, що проходить кабіна в певний час, м;

Знайдемо навантаження у контрольних точках:[8]

$$F_0 = 13965 + 0,5 \cdot 11270 + 29,3 \cdot (60 - 2 \cdot 0) + 2575 = 23929 \text{ H}$$

$$F_1 = 13965 + 0,5 \cdot 11270 + 29,3 \cdot (60 - 2 \cdot 1.36) + 2575 = 23839 \text{ H}$$

$$F_2 = 13965 + 0,5 \cdot 11270 + 29,3 \cdot (60 - 2 \cdot 1.36) = 21264 \text{ H}$$

$$F_3 = 13965 + 0,5 \cdot 11270 + 29,3 \cdot (60 - 2 \cdot 58.64) = 17925 \text{ H}$$

$$F_4 = 13965 + 0,5 \cdot 11270 + 29,3 \cdot (60 - 2 \cdot 58.64) - 2575 = 15330 \text{ H}$$

$$F_5 = 13965 + 0,5 \cdot 11270 + 29,3 \cdot (60 - 2 \cdot 60) - 2575 = 15251 \text{ H}$$

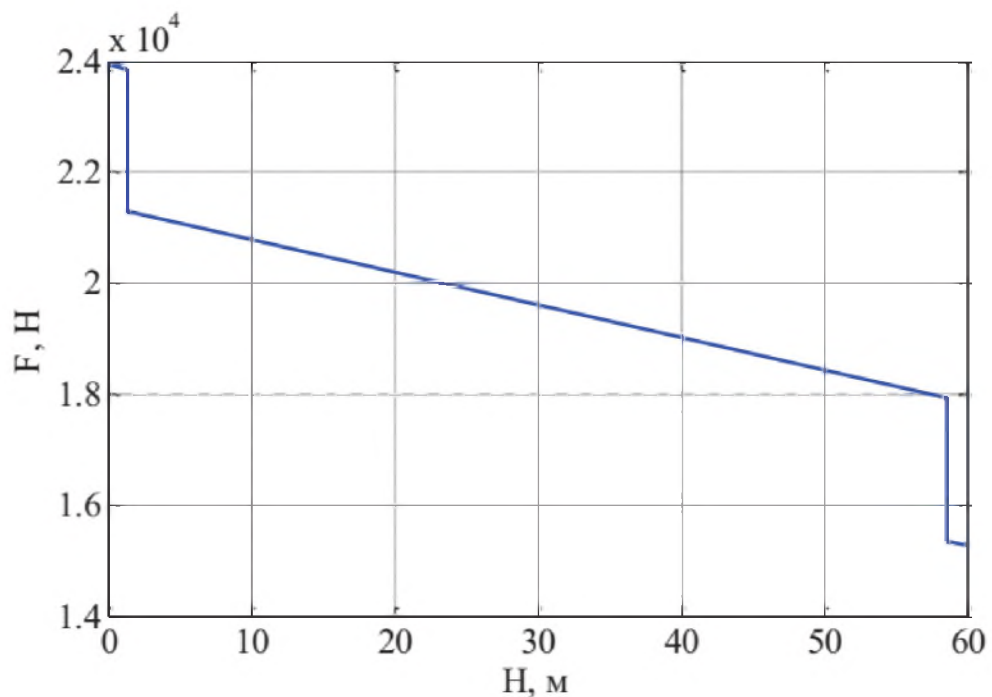


Рисунок 5 – Діаграма зусиль при підйомі завантаженого ліфта

1. Режим спуску порожнього ліфта(G_0):

$$F = G + \alpha \cdot G_n + g_k \cdot (2 \cdot x - H) \pm m \cdot a$$

Таблиця 4 – Результати розрахунків за формулою

F_0	5296 Н
F_1	5375 Н
F_2	3950 Н
F_3	7319 Н
F_4	5894 Н
F_5	5974 Н

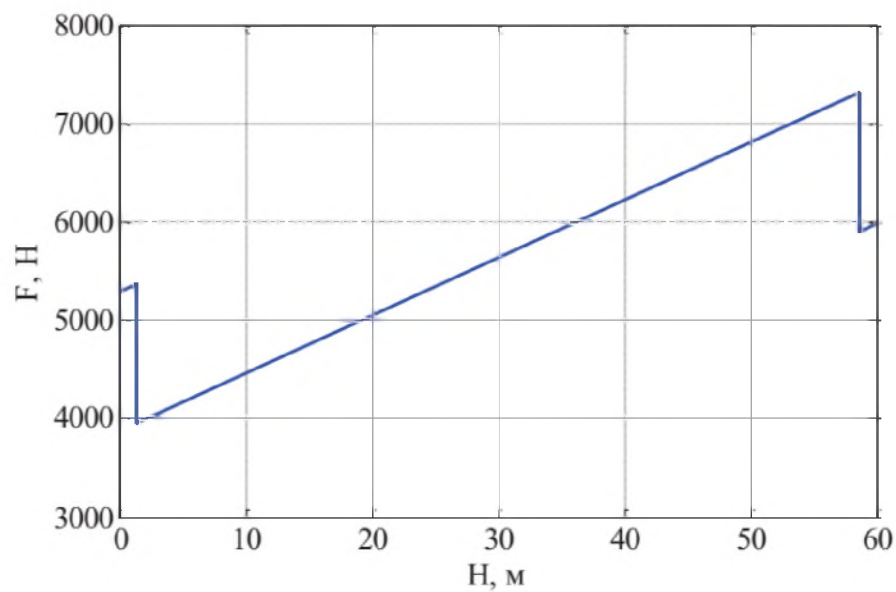


Рисунок 6 – Діаграма зусиль при спуску порожнього ліфта

Визначимо середні значення зусиль:

$$F_{CP1} = \frac{F_0 + F_1}{2} = \frac{23393 + 23859}{2} = 23602H$$

$$F_{CP2} = \frac{F_2 + F_3}{2} = \frac{21280 + 17915}{2} = 19550H$$

$$F_{CP3} = \frac{F_4 + F_5}{2} = \frac{15310 + 15160}{2} = 15245H$$

$$F'_{CP1} = \frac{F'_0 + F'_1}{2} = \frac{5296 + 5375}{2} = 5339H$$

$$F'_{CP2} = \frac{F'_2 + F'_3}{2} = \frac{3950 + 7319}{2} = 5635 H$$

$$F'_{CP3} = \frac{F'_4 + F'_5}{2} = \frac{5894 + 5794}{2} = 5854 H$$

Знайдемо еквівалентне значення зусиль:

$$F_{екв} = \sqrt{\frac{F_{cep1}^2 \cdot t_1 + F_{cep2}^2 \cdot t_2 + F_{cep3}^2 \cdot t_3 + F_{cep1}'^2 \cdot t_1 + F_{cep2}'^2 \cdot t_2 + F_{cep3}'^2 \cdot t_3}{2 \cdot T_p}} =$$

$$= 14023 H$$

Виходячи з цього необхідна потужність двигуна буде такою:

$$P = \frac{F_{екв} \cdot V_{max}}{\eta_p} = \frac{14023 \cdot 1,67}{0,75} = 30894 Bm$$

Отже попередньо обраний двигун 4A225M8Y3 потужністю 30 кВт задовольняє вимоги.

3 РОЗРАХУНОК КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ

Відштовхнувшись від кінематичної схеми механізму можемо перейти до розрахункової схеми. Зробити це можна, якщо привести швидкості, моменти інерції, сили і маси до валу двигуна. Основою є закон збереження енергії.

Визначимо радіус приведення поступальних рухомих мас для подальшого приведення параметрів механічної частини електроприводу до валу двигуна.

$$\rho_{np.} = \frac{D_u}{2 \cdot i_p} = \frac{0,8}{2 \cdot 25} = 0,016 \text{ м}$$

Приведений момент інерції канатоведучого шківа обчислимо за формулою:

$$J_{квш.пр.} = \frac{J_u}{i_p^2} = \frac{46,1}{25^2} = 0,073 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведений момент інерції протизаги:

$$J_{квш.пр} = m_{прт.} \cdot \rho_{np}^2 = 1883 \cdot 0,016^2 = 0,482 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

де
$$m_{прт} = \frac{G_{пр}}{g} = \frac{18473}{9,81} = 1882,7 \text{ кг}$$

Приведений момент інерції кабіни:

$$J_{к.пр} = m_k \cdot \rho_{np}^2 = 1424 \cdot 0,016^2 = 0,36 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведений момент інерції вантажу:

$$J_{\text{кант.пр}} = m_{\text{кант}} \cdot \rho_{\text{пр}}^2 = 1150 \cdot 0,016^2 = 0,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Жорсткість одного каната орієнтовно можна визначити за формулою:

$$C_{\kappa 0} = \frac{E_{\kappa} \cdot S_{\kappa}}{l_{\kappa}} = \frac{10^7 \cdot 0,0087}{60} = 1451 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $E_{\kappa} = 10^7 \text{ Н} / \text{см}^2$ – модуль пружності каната;

S_{κ} – площа перерізу каната, см²;

$$S_{\kappa} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,105^2}{4} = 0,0087 \text{ см}^2$$

l_{κ} – довжина каната (висота підйому), м.

Число канатів дорівнює шести, сумарна жорсткість тоді:

$$C_{\kappa} = C_{\kappa 0} \cdot m_m = 1450 \cdot 6 = 8700 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Жорсткість канату приведена до валу двигуна:

$$C_{\kappa.пр} = C_{\kappa} \cdot \rho_{\text{пр}}^2 = 8700 \cdot 0,016^2 = 2,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Приймемо величину жорсткості муфти $C_m = 75000 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Тоді жорсткість муфти, яка з'єднує редуктор і шків, приведена до валу двигуна розраховується за виразом:

$$C_{m.пр} = \frac{C_m}{i_p^2} = \frac{75 \cdot 10^3}{25^2} = 120 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент інерції редуктора і гальмівної муфти J_1 приймемо рівним:

$$J_1 = 0,3J_{\partial} = 0,3 \cdot 0,74 = 0,22 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Кінематична схема вихідної багатомасової механічної частини електроприводу приведена на рисунку 7:

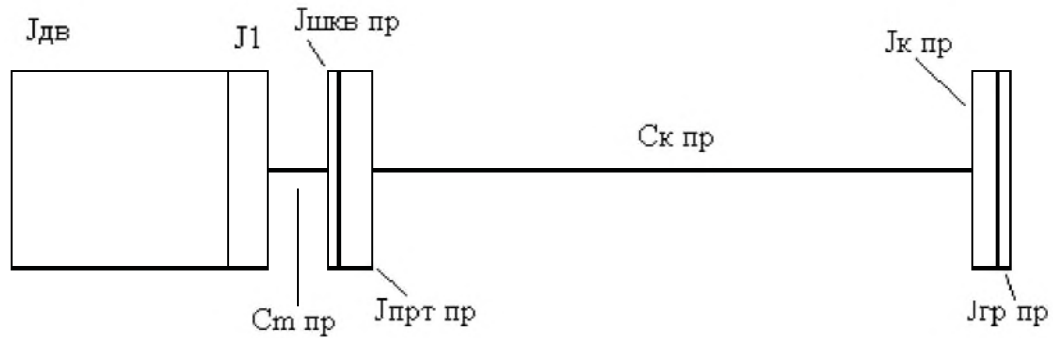


Рисунок 7 – Кінематична схема багатомасової механічної частини електропривода

Переходимо до тримасової розрахункової схеми :

$$J_{np.1} = J_{\partial} + J_1 = 0,74 + 0,22 = 0,96 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{np.2} = J_{квш.пр} + J_{прт.пр} = 0,073 + 0,48 = 0,553 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{np3} = J_{к.пр} + J_{гр.пр} = 0,36 + 0,29 = 0,65 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$C_{12} = C_{м.пр} = 120 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$C_{23} = C_{к.пр} = 2,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Отримаємо тримасову розрахункову схему наступного виду:

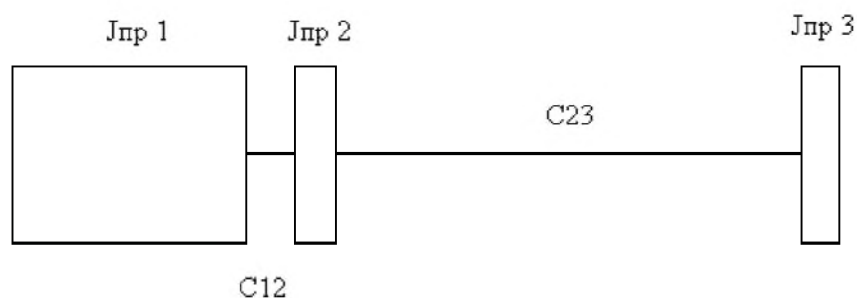


Рисунок 8 – Тримасова кінематична схема механічної частини електропривода

Приведемо тримасову схему до двохмасової:

$$J_{21} = J_{np2} \cdot \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{23}} = 0,55 \cdot \frac{120}{120 + 2,2} = 0,54 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{23} = J_{np2} \cdot \frac{C_{23}}{C_{12} + C_{23}} = 0,55 \cdot \frac{2,2}{120 + 2,2} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$C_{екв} = \frac{C_{12} \cdot C_{23}}{C_{12} + C_{23}} = \frac{120 \cdot 2,2}{120 + 2,2} = 2,17 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$J_{1\Sigma} = J_{np1} + J_{12} = 0,96 + 0,54 = 1,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{2\Sigma} = J_{np3} + J_{23} = 0,65 + 0,01 = 0,66 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Отримаємо двухмасову розрахункову схему наступного виду:

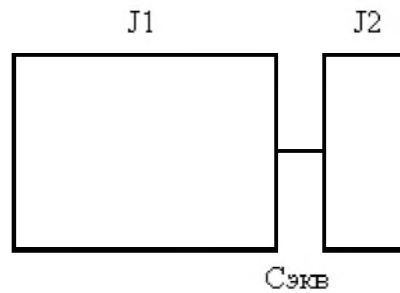


Рисунок 9 – Двохмасова кінематична схема механічної частини електропривода

Для того щоб перейти до одномасової схеми прийmemo $C_{екв}$ абсолютно жорстким зв'язком, тоді сумарний момент інерції:

$$J_{\Sigma} = J_{1\Sigma} + J_{2\Sigma} = 1,5 + 0,66 = 2,16 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Для початку наведемо функціональну схему замкнутої системи з контуром швидкості для керування ліфтовою підйомною установкою. Схему наведено на рис. 10.

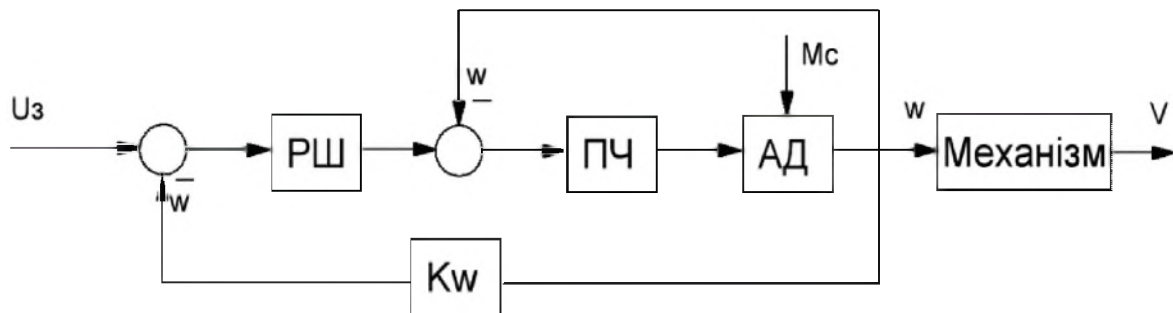


Рисунок 10 – Функціональна схема ЛПУ

На схемі (рис. 10) наступним чином позначаються: U_3 – напруга сигналу завдання; РШ – регулятор швидкості; ПЧ – перетворювач частоти; АД – приводний асинхронний двигун; M_c – статичний момент навантаження; K_w – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю; V – лінійна швидкість руху кабіни; w – кутова швидкість обертання АД.

4.1 Розрахунок регулятора швидкості

Записуємо передатну функцію електродвигуна у вигляді:

$$W(p) = \frac{M_\partial}{\omega_0 - \omega} = \frac{\beta}{T_e \cdot p + 1},$$

де β – жорсткість;

T_e – електромагнітна стала часу двигуна.

$$W_{nc}(p) = \frac{K_{nc}}{T_\mu \cdot p + 1}$$

Складемо структурну схему об'єкта регулювання контуру швидкості, так як зображено на рисунку 11.

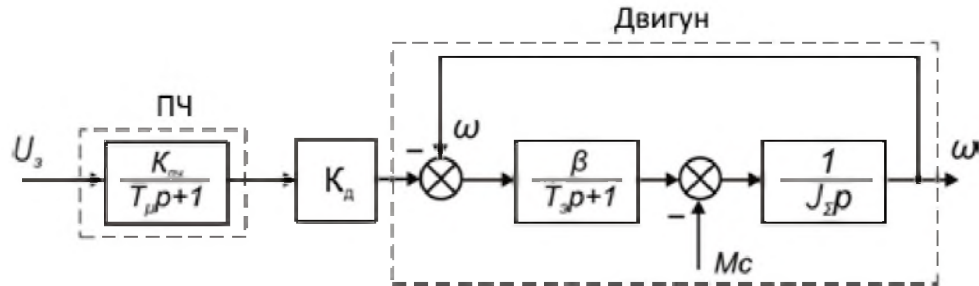


Рисунок 11 – Структурна схема об'єкта регулювання

Розрахуємо параметри передатної функції:

$$W_{nc}(p) = \frac{K_{nc}}{T_\mu \cdot p + 1} = \frac{5}{0,01 \cdot p + 1},$$

де K_{nc} – коефіцієнт підсилення ПЧ, $K_{nc} = \frac{f_n}{U_3} = \frac{50}{10} = 5$;

$T_\mu = 0,01 \text{ c}$ – стала часу ПЧ.

Інші параметри схеми:

– електромагнітна стала часу двигуна:

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 \cdot S_{\kappa n}} = \frac{1}{314 \cdot 0,115} = 0,027 \text{ c}$$

– модуль статичної жорсткості:

$$\beta = \frac{M_n}{\omega_c - \omega_n} = \frac{291}{104,7 - 102,8} = 154 \text{ H} \cdot \text{м} \cdot \text{с};$$

– електромеханічна стала двигуна:

$$T_m = \frac{J_\Sigma}{\beta} = \frac{1,95}{153,96} = 0,012 \text{ c};$$

– коефіцієнт передачі двигуна:

$$K_\delta = \frac{2 \cdot \pi}{p} = \frac{2 \cdot 3,14}{3} = 2,1$$

Визначимо коефіцієнт зворотнього зв'язку по швидкості:

$$K_\omega = \frac{U_\Sigma}{1,3 \cdot \omega_n} = \frac{10}{1,3 \cdot 104,6} = 0,073 \text{ B} \cdot \text{c}$$

Врахувавши всі перетворення, загальну структурну схеми ПЧ-АД представимо так:

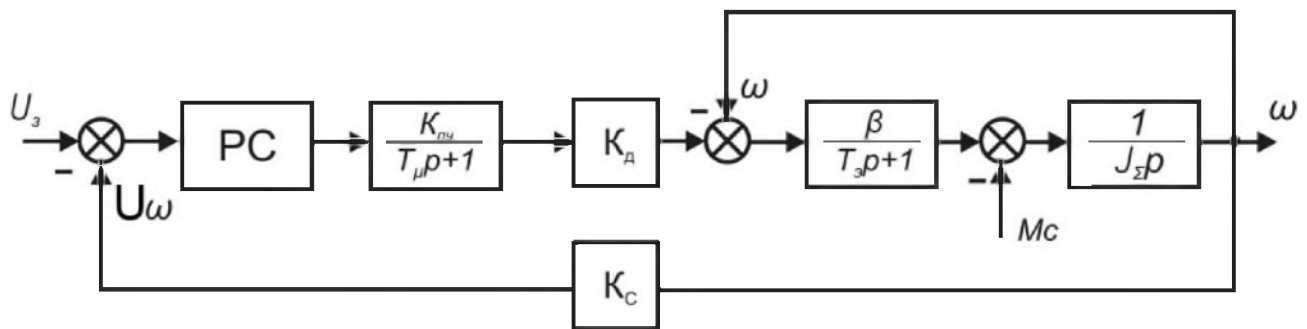


Рисунок 12 – Структурна схема ПЧ-АД

Потім можна записати передатну функцію двигуна:

$$\begin{aligned}
 W_{\delta}(p) &= \frac{\frac{\beta \cdot K_{\delta}}{J_{\Sigma} \cdot p \cdot (T_e \cdot p + 1)}}{1 + \frac{\beta}{J_{\Sigma} \cdot p \cdot T_m \cdot p + 1}} = \frac{\beta \cdot K_{\delta}}{J_{\Sigma} \cdot T_e \cdot p^2 + J_{\Sigma} \cdot p + \beta} = \\
 &= \frac{K_{\delta}}{T_m T_e p^2 + T_m p + 1} = \frac{2,1}{0,023 \cdot 0,029 \cdot p^2 + 0,029 \cdot p + 1} = \\
 &= \frac{2,1}{0,00067 \cdot p^2 + 0,29 \cdot p + 1}
 \end{aligned}$$

Структурна схема регулювання контуру швидкості має вигляд як на рис. 13.

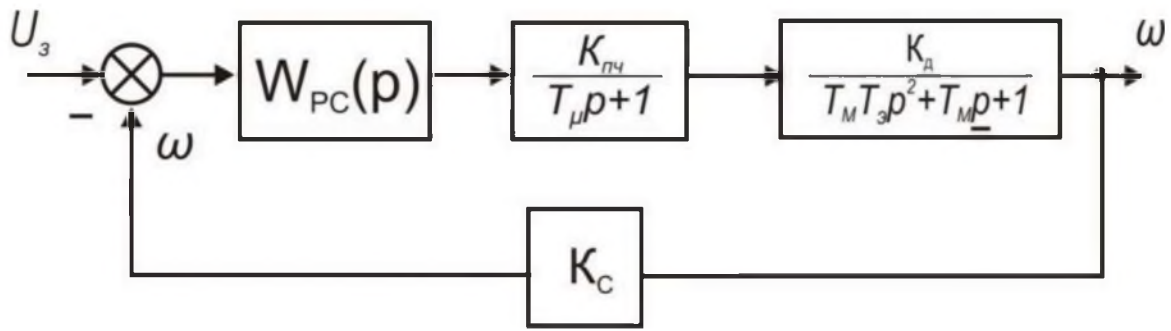


Рисунок 13 – Структурна схема регулювання по контуру швидкості

Виведемо передатну функцію об'єкта керування за швидкістю:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{орш}}(p) &= \frac{K_{\text{пч}} \cdot K_{\text{д}}}{(T_{\mu} \cdot p + 1) \cdot (T_m \cdot T_e \cdot p^2 + T_m \cdot p + 1)} = \\
 &= \frac{5 \cdot 2,09}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0,025 \cdot 0,03 \cdot p^2 + 0,03 \cdot p + 1)} = \\
 &= \frac{10,45}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0,00067 p^2 + 0,029 \cdot p + 1)}.
 \end{aligned}$$

Визначаємо передатну функцію регулятора:

$$W_{PII}(p) = \frac{W_{poz.III}}{W_{зз.РС}} = \frac{T_M \cdot T_e \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1}{T_U} =$$

$$= \frac{0,00067 \cdot p^2 + 0,029 \cdot p + 1}{0,045 \cdot p}$$

де $T_U = a_C \cdot K_\omega \cdot K_{ПЧ} \cdot K_D \cdot T_M = 2 \cdot 0,073 \cdot 5 \cdot 2,1 \cdot 0,03 = 0,045 \text{ с}$

a_C – коефіцієнт демпфування.

Після перетворень отримуємо вираз для регулятора швидкості[9]:

$$W_{PII}(p) = 0,015 \cdot p + 0,667 + \frac{1}{0,045p}.$$

4.2 Непряме векторне керування асинхронного двигуна

Для моделювання систем керування АД прийнято використовувати математичну модель, яка записується в синхронній системі координат $(d - q)$:

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} (M - M_c) - v\omega,$$

$$M = \mu (\psi_{2d} i_{1q} - \psi_{2q} i_{1d}),$$

$$\dot{i}_{1d} = -\gamma i_{1d} + \omega_0 i_{1q} + \alpha \beta \psi_{2d} + \beta p_n \omega \psi_{2q} + \frac{1}{\sigma} u_{1d},$$

$$\dot{i}_{1q} = -\gamma i_{1q} - \omega_0 i_{1d} - \alpha \beta \psi_{2q} - \beta p_n \omega \psi_{2d} + \frac{1}{\sigma} u_{1q},$$

$$\dot{\psi}_{2d} = -\alpha \psi_{2d} + p_n \omega_2 \psi_{2q} + \alpha L_m \cdot i_{1d},$$

$$\dot{\psi}_{2q} = -\alpha \psi_{2q} - p_n \omega_2 \psi_{2d} + \alpha L_m i_{1q},$$

де ω – кутова швидкість ротора, $\omega_2 = \omega_0 - \omega$, $(i_{1d}, i_{1q})^T$ – компоненти вектора струму статора в системі координат $(d - q)$, $(\psi_{2d}, \psi_{2q})^T$ – компоненти вектора

потокосцеплень ротора, $(u_{1d}, u_{1q})^T$ – компоненти вектора напруги статора M_c – момент навантаження, ν – коефіцієнт в'язкого тертя.

Структура алгоритму непрямого векторного керування містить:

– розімкнутий регулятор модуля вектора потокосцеплення

$$\begin{aligned} i_{1d}^* &= \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \psi^* + \dot{\psi}^*), \\ i_{1q}^* &= \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \dot{\psi}^* + \ddot{\psi}^*), \\ \dot{\varepsilon}_0 &= \omega_0 = \omega p_n + \alpha L_m \frac{\dot{i}_{1q}}{\psi^*}, \end{aligned}$$

– регулятор струму по осі (d) (польової складової струму статора)

$$\begin{aligned} u_{1d} &= \sigma \left(\gamma i_{1d}^* - \omega_0 i_{1q} - \alpha \beta \psi^* + \dot{i}_{1d}^* - k_i \tilde{i}_d - x_d \right), \\ \dot{x}_d &= k_{ii} \tilde{i}_{1d}, \end{aligned}$$

– регулятор кутової швидкості

$$\begin{aligned} i_{1q}^* &= \frac{1}{\mu \psi^*} \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \hat{M}_c + \dot{\omega}^* + \nu \omega^* \right) \\ \dot{\hat{M}}_c &= -k_{\omega i} \tilde{\omega} \\ \dot{i}_{1q}^* &= \frac{1}{\mu \psi^*} \left[-k_\omega \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \mu \psi^* \tilde{i}_q \right) + \dot{\hat{M}}_c + \ddot{\omega}^* + \nu \dot{\omega}^* \right] - \frac{\dot{\psi}^*}{\psi^*} i_{1q}^* \end{aligned}$$

– регулятор струму по осі (d) (моментної складової струму статора)

$$u_{1q} = \sigma \left(\gamma i_{1q}^* + \omega_0 i_{1d} + \beta \omega p_n \psi^* + \dot{i}_{1q}^* - k_{iq} \tilde{i}_{1q} - x_q \right),$$

$$\dot{x}_q = k_{ii} \tilde{i}_{1q},$$

Схема алгоритму непрямого векторного керування приведена на рис.14.

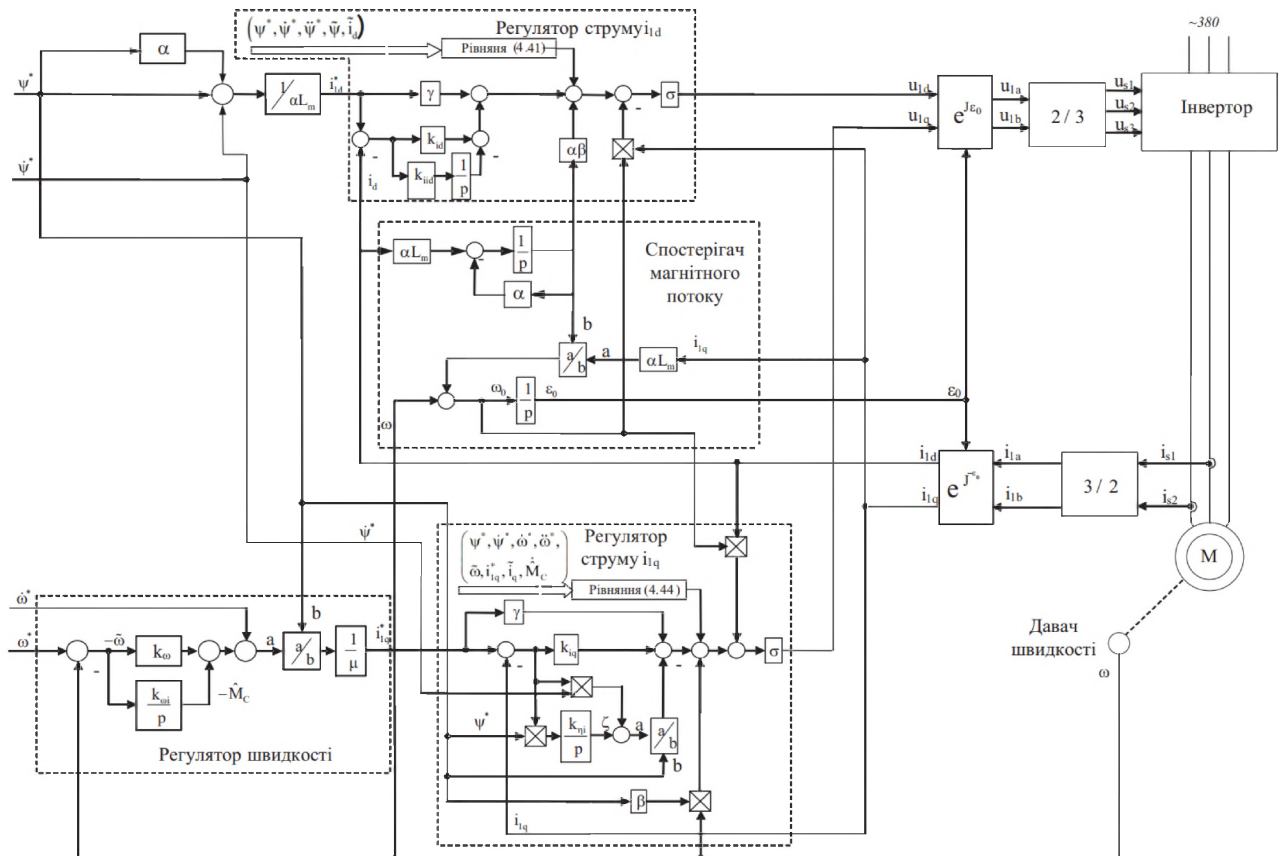


Рисунок 14 – Структурна схема непрямого векторного керування АД

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛІФТА

5.1 Розробка досліджуваної моделі

Користуючись отриманими у розділі 4 математичною моделлю та структурною схемою ліфтової підйомної установки в прикладному програмному пакеті MATLAB “Simulink” розроблено та зібрано модель для дослідження енергетичних характеристик ліфтової підйомної установки, загальна схема якої представлена на рисунку 15.

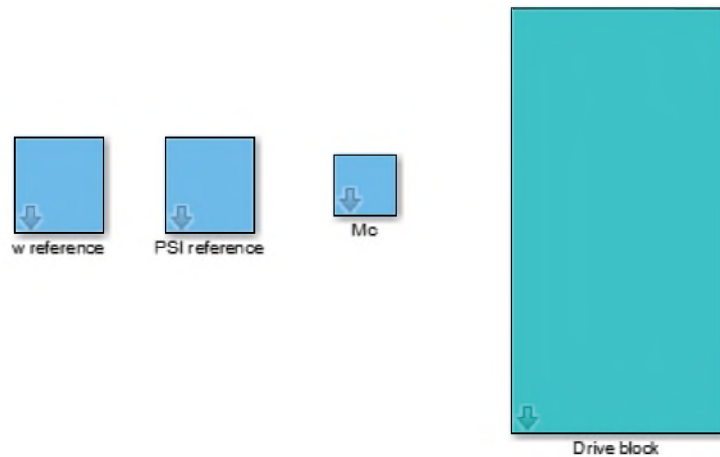


Рисунок 15 – Загальна схема моделі

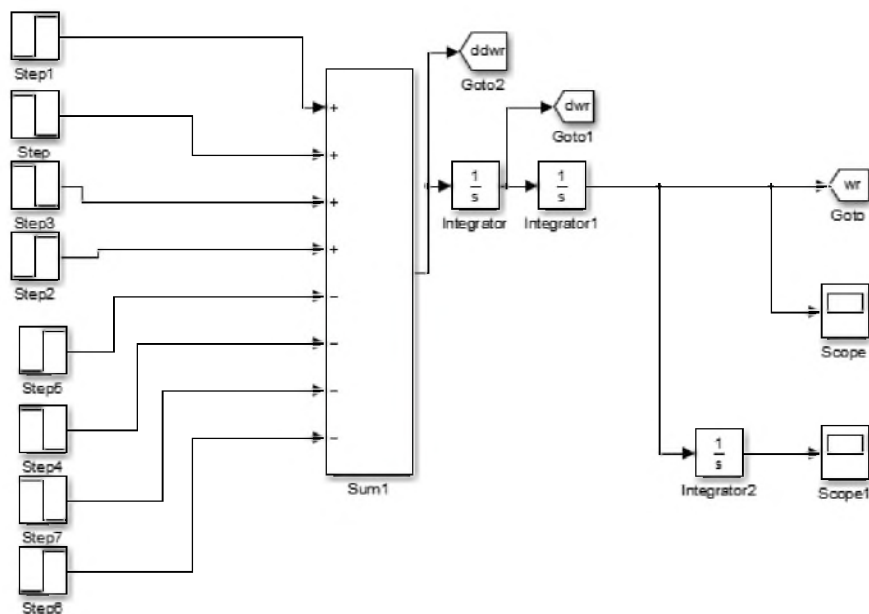


Рисунок 16 – Блок задавання траєкторії швидкості кривими другого порядку

На рисунку 17 представлений вигляд блоку Drive block

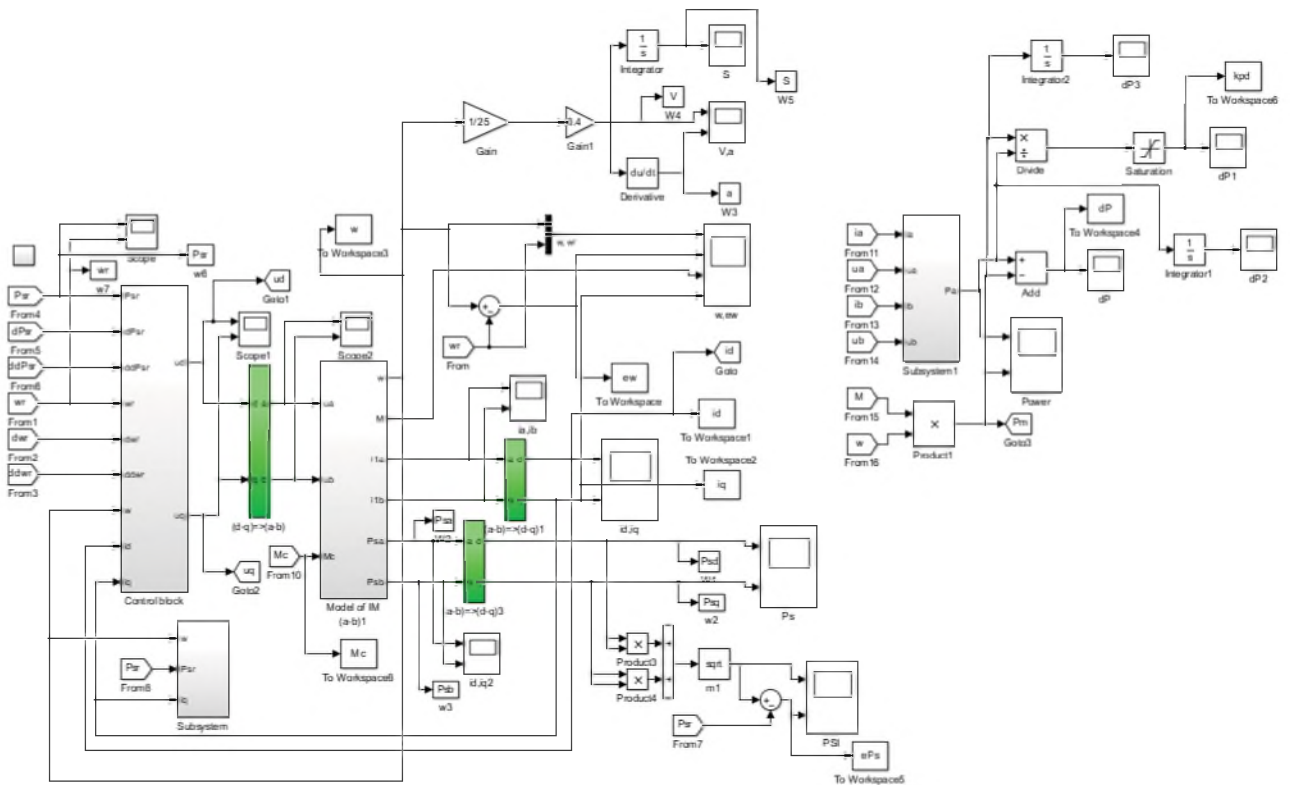


Рисунок 17 – Вигляд підсистеми Drive block

5.2 Дослідження динамічних характеристик ліфта

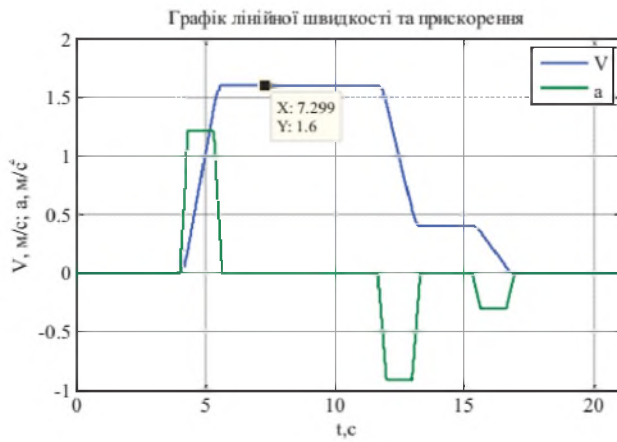
Порядок досліджень. Для проведення досліджень використовувалась врівноважена ліфтова підйомна установка з такими параметрами: висота підйому – 60 м; вантажопідйомність – 1150 кг; потужність приводного асинхронного двигуна – 30 кВт; номінальна лінійна швидкість руху кабіни – 1.75 м/с.[10]

В електромеханічній системі використовується асинхронний двигун з векторним керуванням.

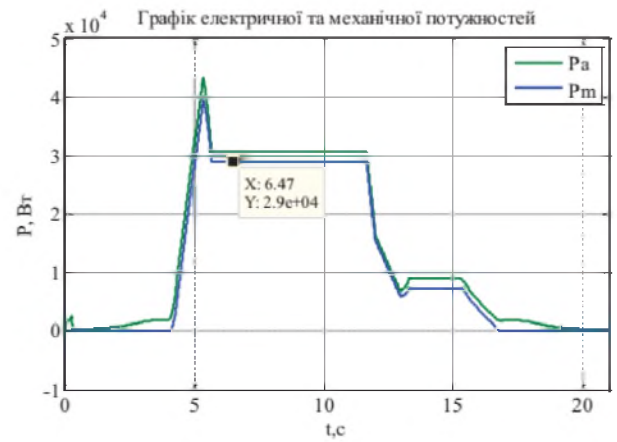
Досліди проводились при таких варіаціях завантаженості кабіни ліфта:

$$M_c = 0,3 \cdot M_n, M_c = 0,5 \cdot M_n, M_c = 0,7 \cdot M_n, M_c = 0,9 \cdot M_n, M_c = M_n.$$

Результати моделювання роботи розробленої моделі ліфта, при номінальному навантаженні двигуна $M_c = M_n = 290 \text{ Н} \cdot \text{м}$ зображені на рис.18 – рис.22.

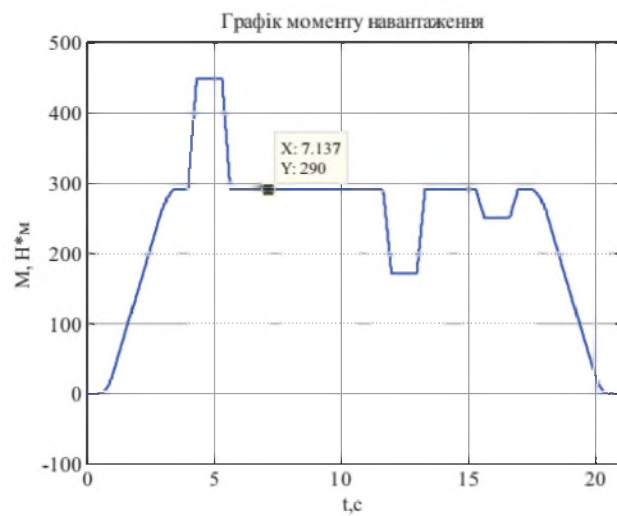


а

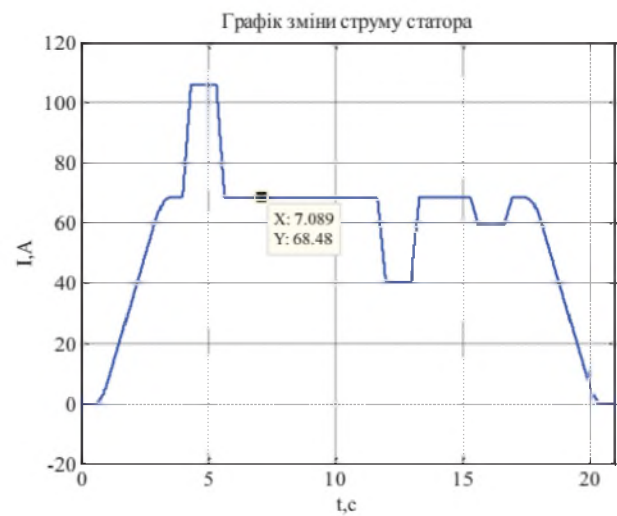


б

Рисунок 18 – Графіки а) лінійної швидкості та прискорення ЛПУ б) електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = M_n$

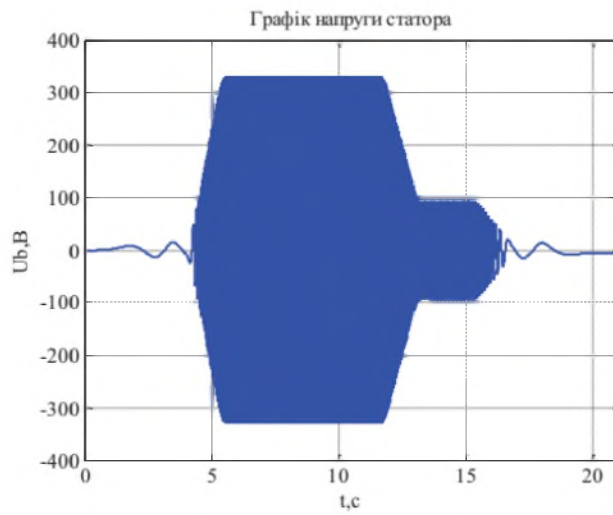


а

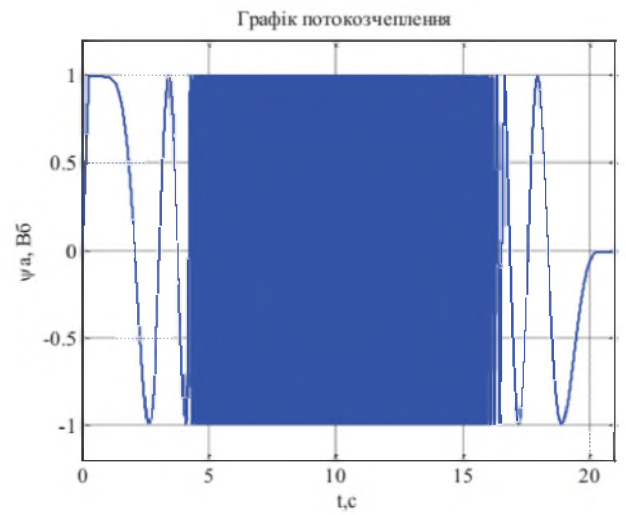


б

Рисунок 19 – Графік а) моменту навантаження на валу двигуна при $M_c = M_n$, б) струму статора при $M_c = M_n$

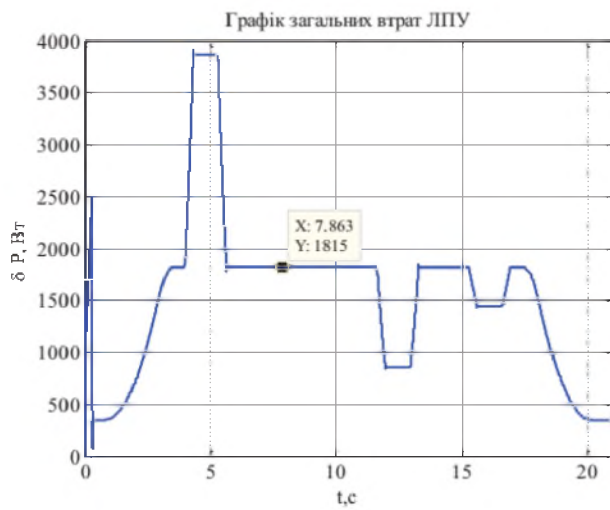


а

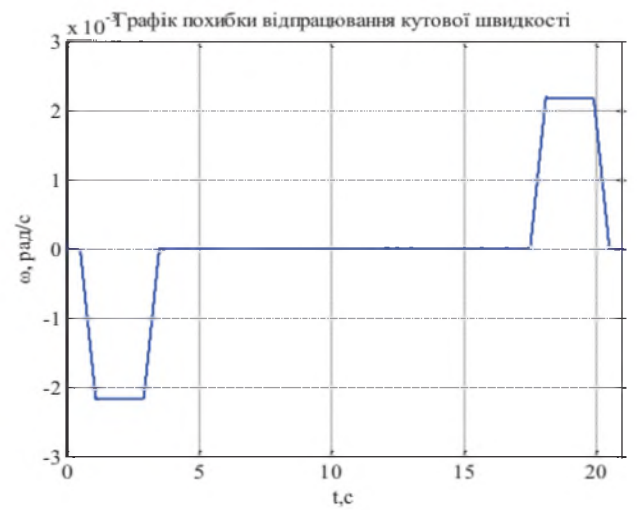


б

Рисунок 20 – Графік а) напруги статора, б) потокозчеплення



а



б

Рисунок 21 – Графік а) загальних втрат в системі ЛПУ при $M_c=M_n$, б) похибки відпрацювання кутової швидкості

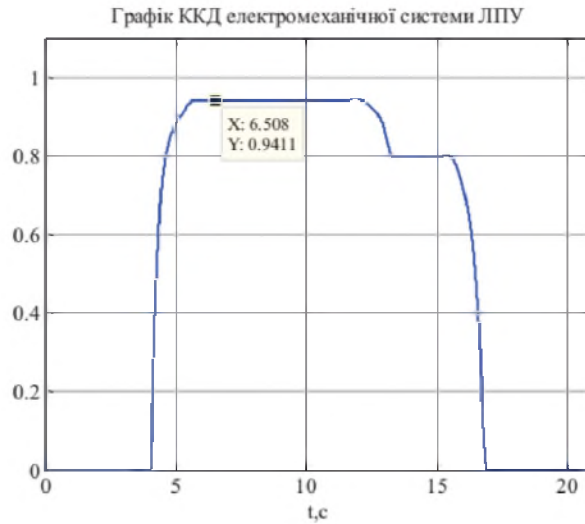
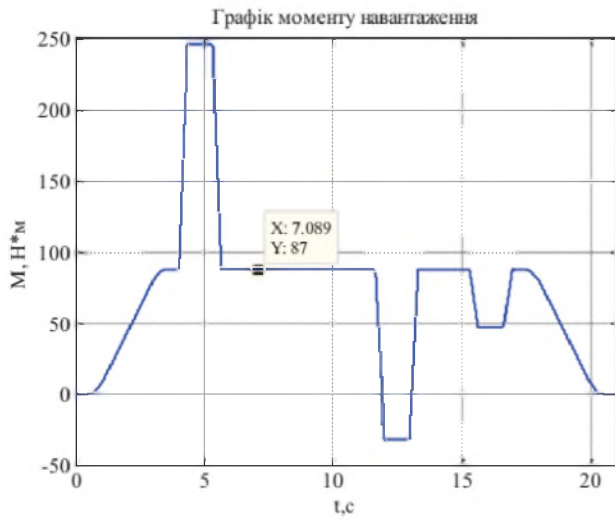


Рисунок 22 – Графік ККД електромеханічної системи ЛПУ при $M_c = M_n$

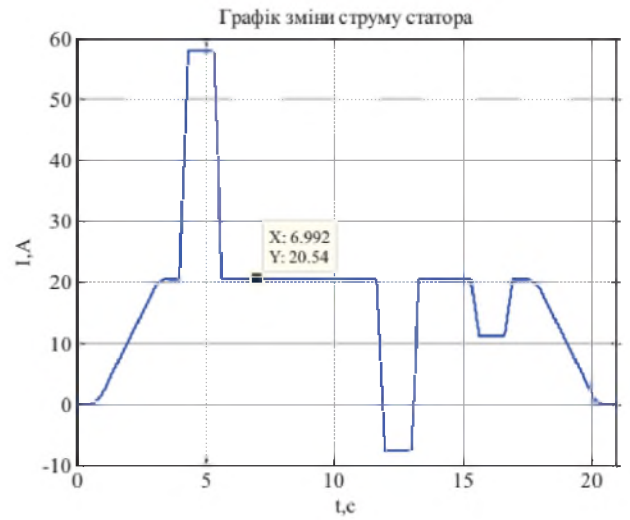
З рисунків рис.18, б та рис.19, а, алгоритм руху кабіни виглядає наступним чином.

- 1) Від $t=0$ до $t=3$ кабіна ліфта нерухома, вона завантажується.
- 2) Від $t=3$ до $t=5.65$ – розгін до максимальної швидкості, від $t=5.65$ до $t=11.65$ – рух з постійною швидкістю $v = 1.6$ м/с.
- 3) Від $t=11.65$ до $t=13.3$ – кабіна сповільнюється до зупиночної швидкості $v=0,4$ м/с, рух проводиться до $t=15.3$.
- 4) Від $t=15.3$ до $t=17$ – відбувається повна зупинка кабіни.

Результати моделювання роботи ліфта, при навантаженні двигуна $M_c = 0.3 \cdot M_n$ зображені на рис.23-рис.25



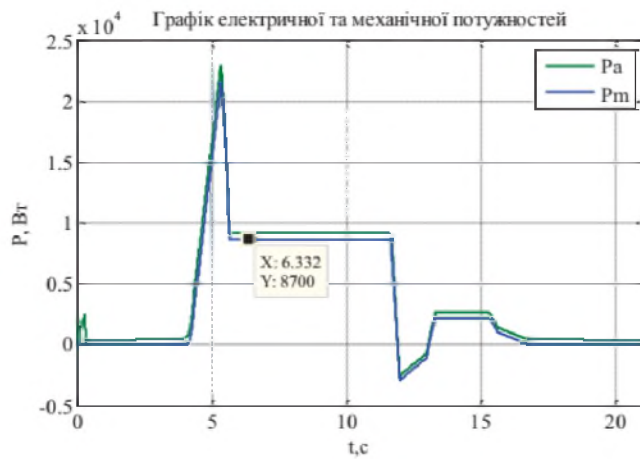
а



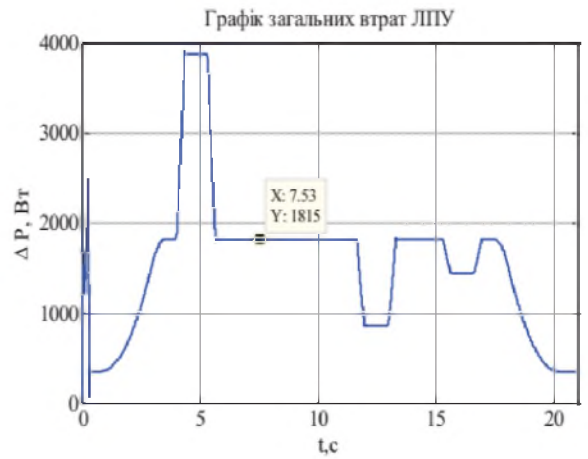
б

Рисунок 23 – Графік а) моменту навантаження на валу двигуна при

$M_c = 0,3 \cdot M_n$; б) струму статора при $M_c = 0,3 \cdot M_n$



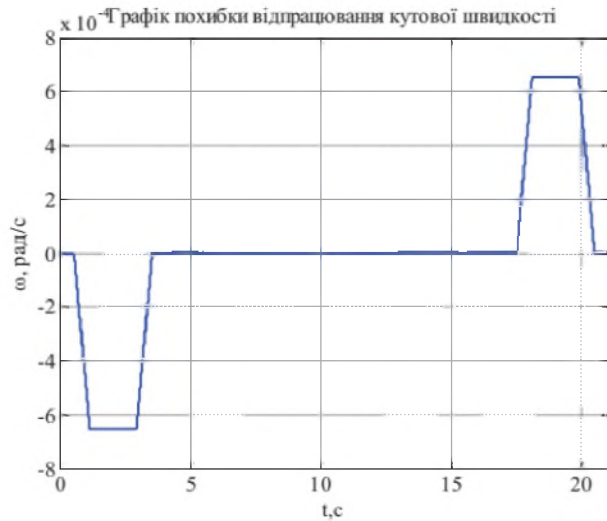
а



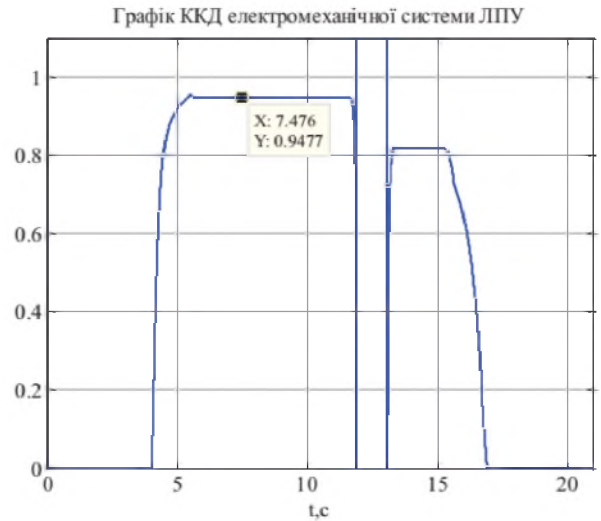
б

Рисунок 24 – Графік а) електричної та механічної потужностей ЛПУ при

$M_c = 0,3 \cdot M_n$, б) загальних втрат ЛПУ при $M_c = 0,3 \cdot M_n$



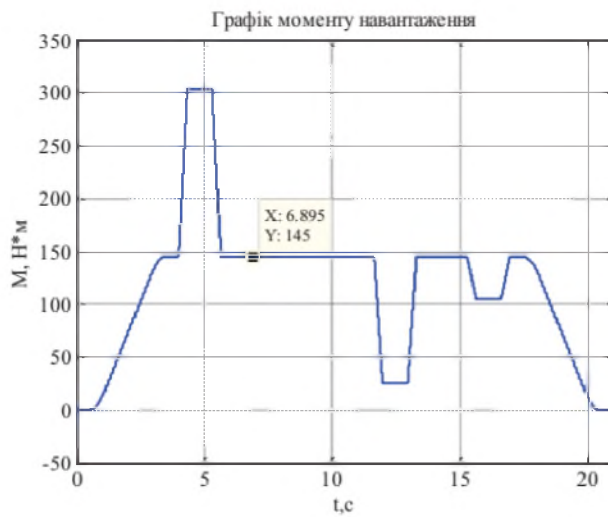
а



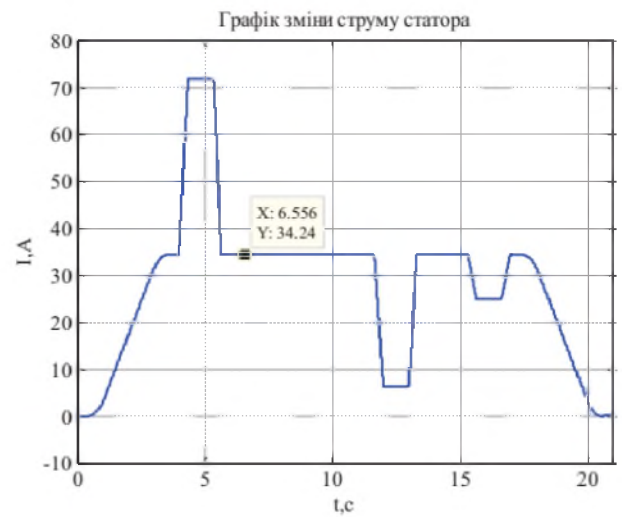
б

Рисунок 25 – Графік а) похибки відпрацювання кутової швидкості при $M_c = 0,3 \cdot M_n$, б) ККД електро механічної системи ЛПУ при $M_c = 0,3 \cdot M_n$

Результати моделювання роботи ліфтової підйомної установки, при навантаженні двигуна $M_c = 0,5 \cdot M_n = 145(7/ \text{ м})$ зображені на рис.26 -рис.31

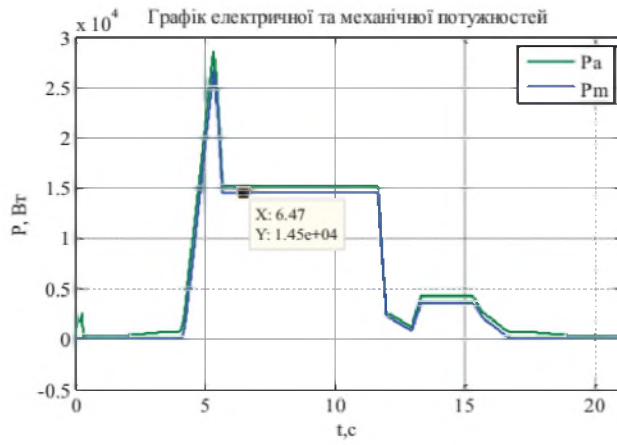


а

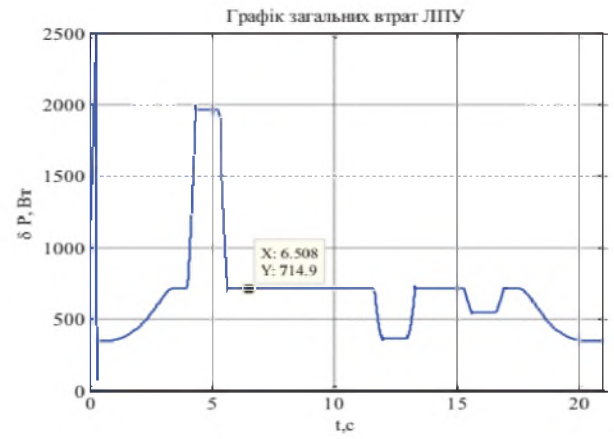


б

Рисунок 26 – Графік а) моменту навантаження на валу двигуна при $M_c = 0,5 \cdot M_n$; б) струму статора при $M_c = 0,5 \cdot M_n$

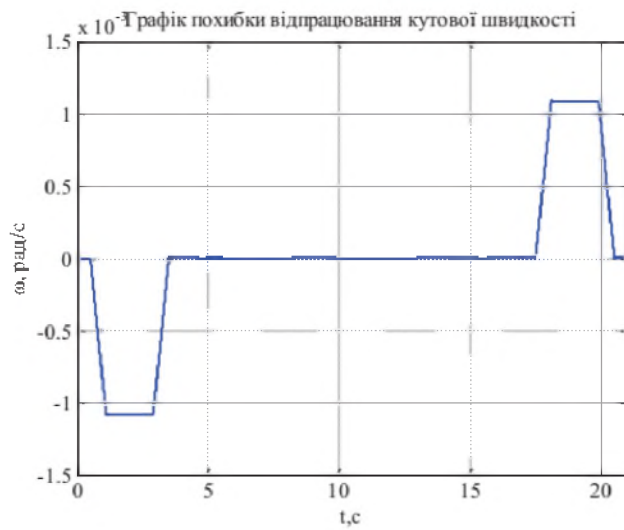


а

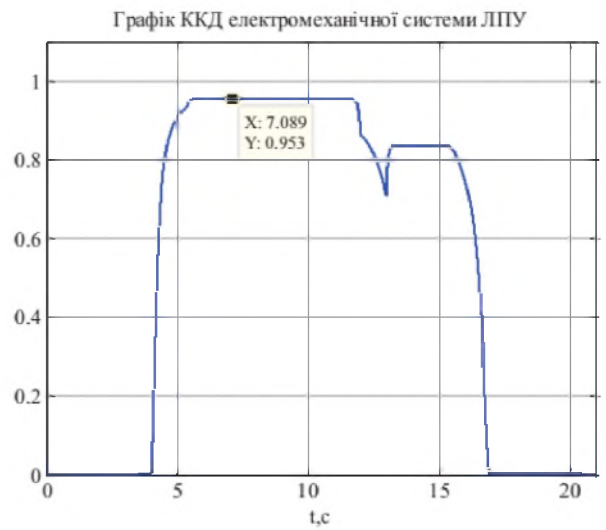


б

Рисунок 27 – Графік а) електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = 0,5 \cdot M_n$, б) загальних втрат ЛПУ при $M_c = 0,5 \cdot M_n$

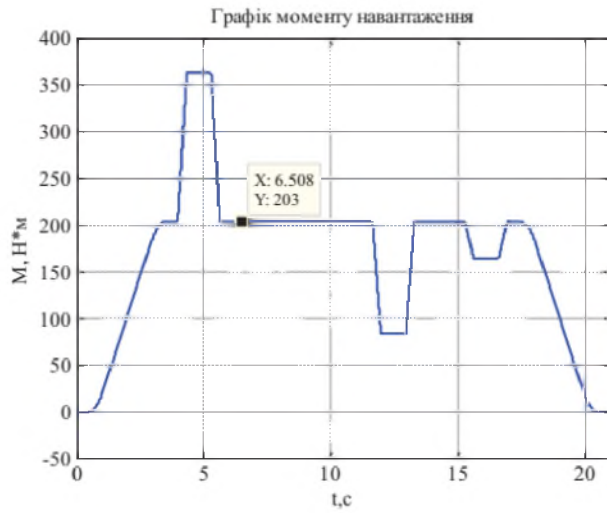


а

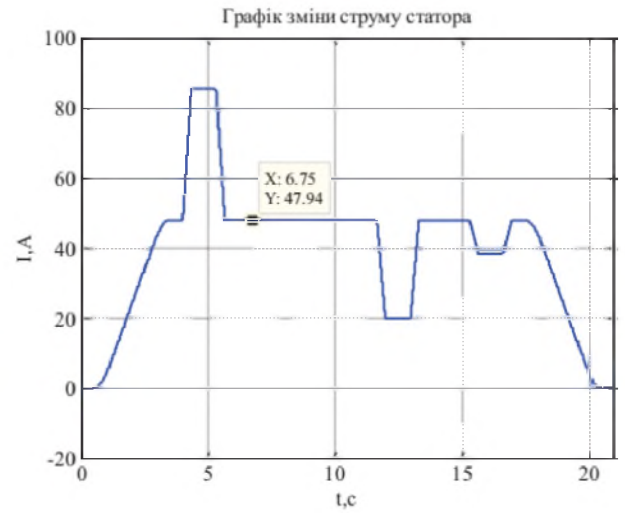


б

Рисунок 28 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості при $M_c = 0,5 \cdot M_n$, ККД електромеханічної системи ЛПУ при $M_c = 0,5 \cdot M_n$

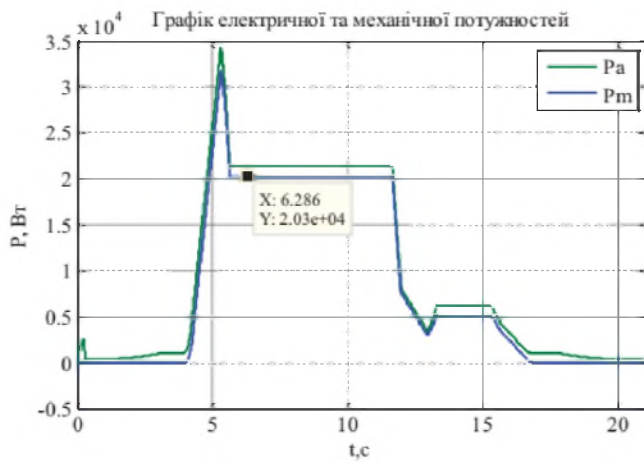


а

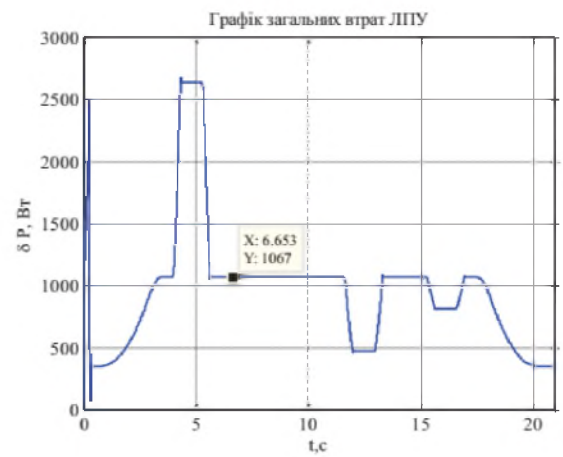


б

Рисунок 29 – Графік моменту навантаження на валу двигуна при $M_c = 0,7 \cdot M_n$, струму статора при $M_c = 0,7 \cdot M_n$

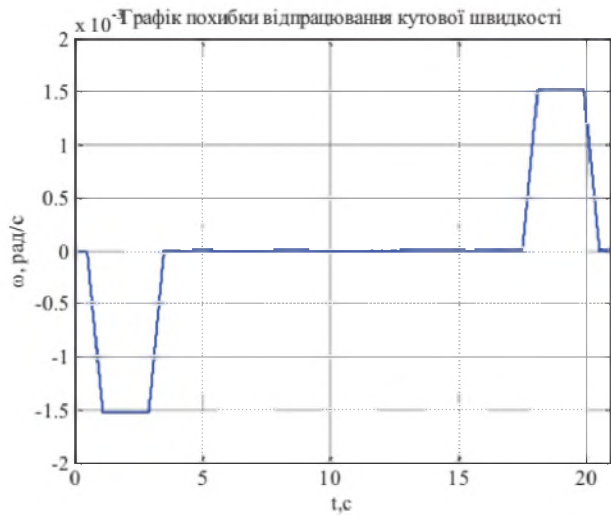


а

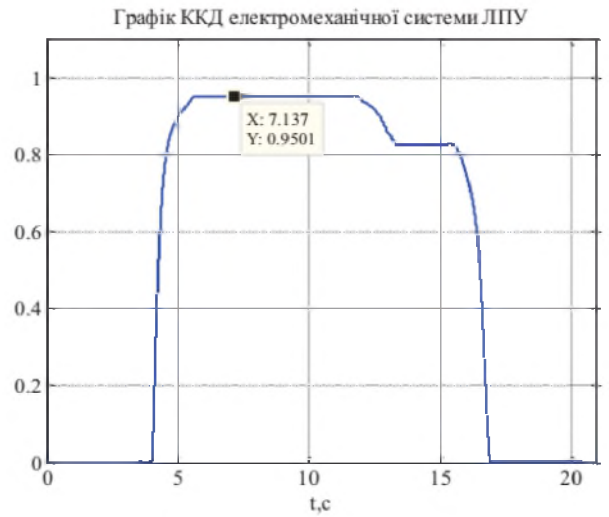


б

Рисунок 30 – Графік електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = 0,7 \cdot M_n$, загальних втрат ЛПУ при $M_c = 0,7 \cdot M_n$



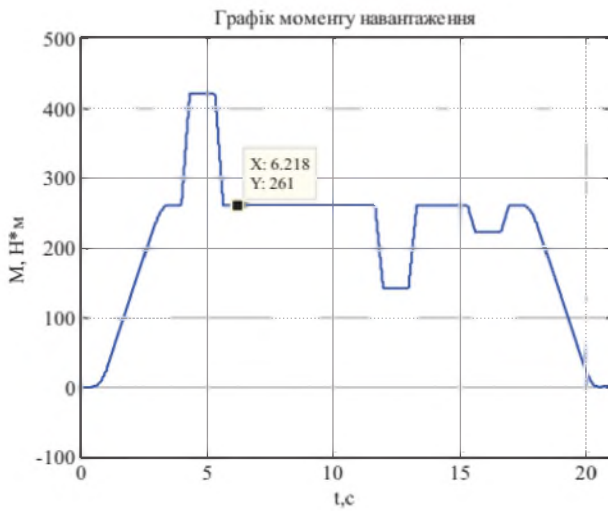
а



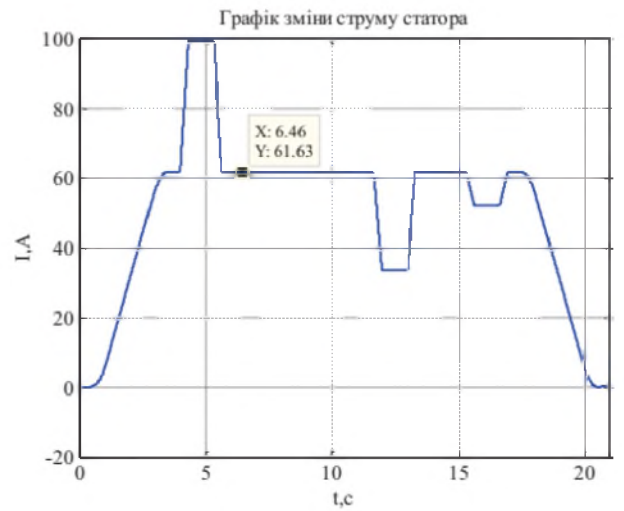
б

Рисунок 31 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості при $M_c = 0,7 \cdot M_n$, ККД електромеханічної системи ЛПУ при $M_c = 0,7 \cdot M_n$

Результати моделювання роботи ліфта, при навантаженні двигуна $M_c = 0,9 M_n$ зображені на рис.32 -рис.35.

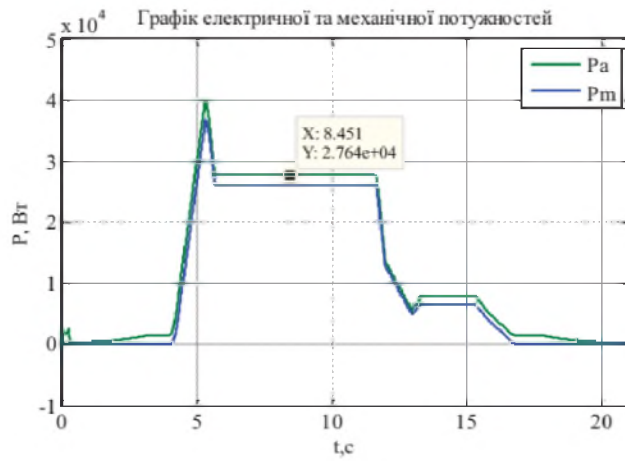


а

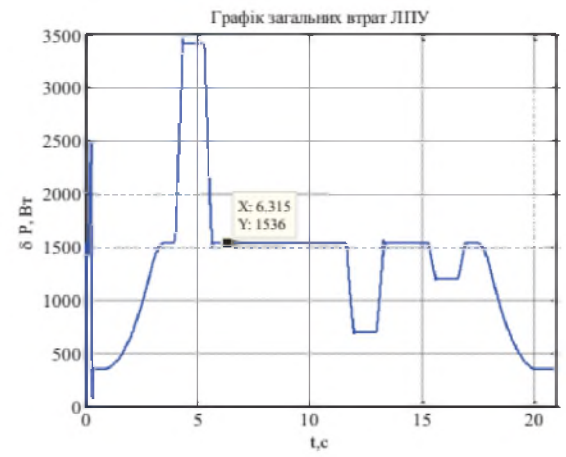


б

Рисунок 32 – Графік моменту навантаження на валу двигуна при $M_c = 0,9 \cdot M_n$, струму статора при $M_c = 0,9 \cdot M_n$



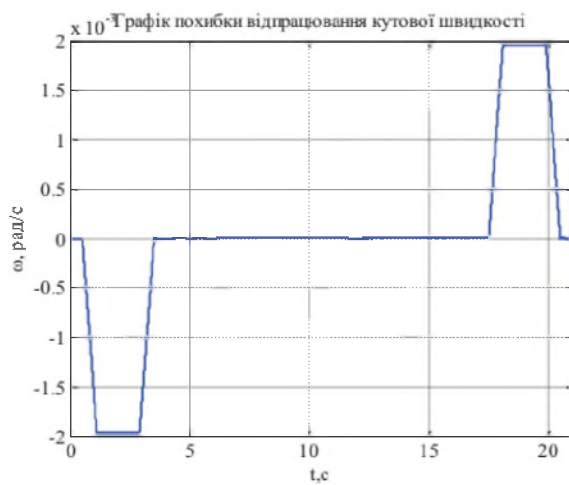
а



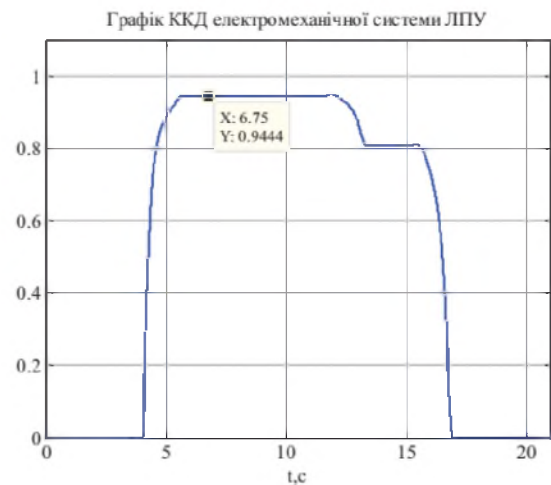
б

Рисунок 33 – Графік електричної та механічної потужностей ЛПУ при

$$M_c = 0,9 \cdot M_n, \text{ загальних втрат ЛПУ при } M_c = 0,9 \cdot M_n$$



а



б

Рисунок 34 – Графік електричної та механічної потужностей ЛПУ при

$$M_c = 0,9 \cdot M_n, \text{ загальних втрат ЛПУ при } M_c = 0,9 \cdot M_n$$

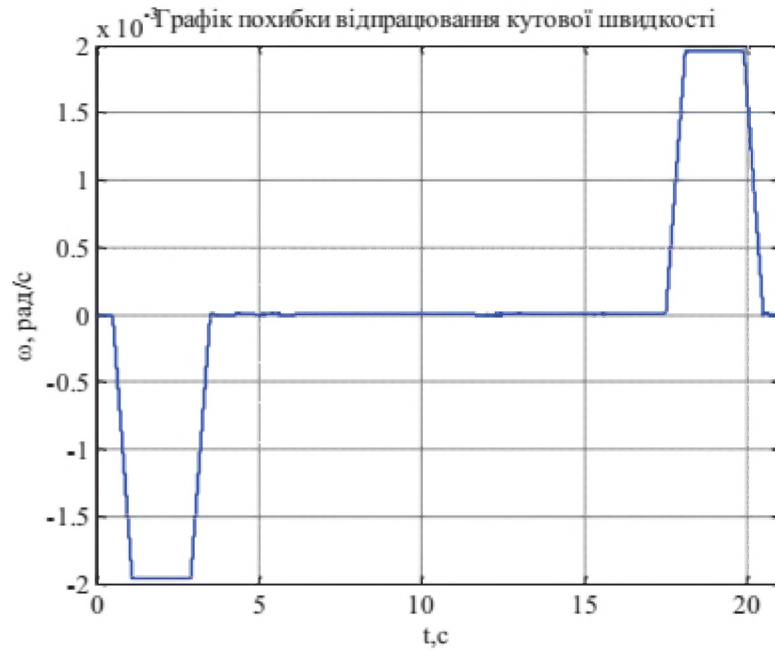


Рисунок 35 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості при

$$M_c = 0,9 \cdot M_n$$

Таблиця 5 – Потужність, втрати потужності та похибки відпрацювання швидкості при зупинці кабіни при різному навантаженні ліфта

M_c, H	P_a, Bm	P_m, Bm	Втрати $\Delta P, Bm$	Втрати $\Delta P, \%$	$\tilde{\omega}, 10^{-13},$ rad / c
$0.3M_n=87 H$	9190	8700	480	5.2	1.68
$0.5M_n=145 H$	15224	14500	714	4.73	1.47
$0.7M_n=203$	21577	20300	1067	4.91	1.34
$0.9M_n=261$	27646	26100	1536	5.56	1.3
$M_n=290$	30811	29000	1815	5.85	1.28

де $M_c = \frac{M_c}{M_n}$; $\Delta P = P_a - P_m$; $\Delta P = \frac{P_a - P_m}{P_a} \cdot 100\%$; P_a – електрична потужність; P_m

– механічна потужність на валу двигуна; $\tilde{\omega}$ – похибка за швидкістю.

5.4. Аналіз результатів досліджень

Результати досліджень демонструють, що використання електропривода з векторним керуванням і п'ятиперіодною діаграмою швидкості продукує рівень втрат активної потужності ΔP при змінах статичного навантаження від $M = 0,3 \cdot M_{сн}$ до $M = M_{сн}$ у межах від 5,2% до 5.9%. До того ж рівень динамічної похибки w в момент повної зупинки кабіни не перевищує $1,68 \cdot 10^{-13} \text{ рад} / \text{с}^2$ при $M = 0,3 \cdot M_{сн}$.

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській роботі було проведено актуальне дослідження енергетичних характеристик підйомного механізму ліфта на базі векторно-керованого асинхронного електродвигуна. В результаті виконання магістерської роботи були зроблені такі висновки:

1. Виконуючи огляд вказаних літературних джерел були розглянуті історичні відомості про ліфтові підйомні установки, описані основні характеристики та сформовані вимоги до технологічного процесу вертикального переміщення людей і вантажів на базі яких зроблено вибір найбільш перспективної системи електропривода «ПЧ- АД».

3. За результатами розрахунку елементів ЕМС був обраний асинхронний двигун серії 4A 4A225M8Y3 з номінальною потужністю 30 кВт та перетворювач частоти Altivar ATV930D37N4 компанії Schneider з максимальною потужністю 37 кВт. Проведений розрахунок кінематичної схеми ЛПУ.

4. Була представлена математична модель системи векторного керування асинхронним двигуном на базі ПІ-регулятора швидкості, з метою забезпечення точного відпрацювання заданої траєкторії швидкості за дуже незначних похибок відпрацювання.

5. Взявши за основу отриману математичну модель в програмі MATLAB «Simulink» була зібрана структурна модель для проведення групи досліджень точності позиціонування кабіни ліфта в місці зупинки та характеру зміни втрат в електромеханічній системі ліфта в залежності від варіації завантаження кабіни.

За отриманими результатами досліджень можна дійти висновку, що використання векторно-керованих асинхронних електроприводів у ліфтах дає нам можливість з високим рівнем точності відпрацьовувати задану діаграму швидкості. Похибка за швидкістю в точці зупинки кабіни на рівні посадочного майданчика, істотно менша, ніж передбачається за умовами безпеки, це дозволяє відмовитися від періоду дотягування та покращити техніко-економічні

показники ліфтового підйому, а також рівень безпеки переміщення людей і вантажів. Отже можна стверджувати, що векторно-керовані асинхронні електродвигуни добре підходять для організації електромеханічних систем ліфтових вертикальних підйомних установок.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3552 - 97 Ліфти пасажирські та вантажні. Терміни та визначення. - К.: Держбуд України, 1997.
2. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов - М.: Академия, 2004. - 576 с.
3. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие / А.Г. Схиртладзе, С.В. Бочкарев, А.Н. Лыков. - Ст. Оскол: ТНТ, 2013.- 524 с.
4. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока/ ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» - Иваново, 2008 – 298 с.
5. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. - Л.: Энергоиздат. Лeningr. отделение, 1982. - 392 с.
6. Дастин, Э. Тестирование программного обеспечения. Внедрение, управление и автоматизация / Э. Дастин, Д. Рэшка, Д. Пол; Пер. с англ. М. Павлов. - М.: Лори, 2013. - 567 с.
7. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2001. – 274 с.
8. Камышев А.Г. Грузовые и пассажирские лифты. Электрооборудование. М-Л. Госэнергоиздат. 1963 – 64 с.
9. Бесекерский В.А., Попов Е.В. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, перераб. и доп. - СПб, Изд-во «Профессия», 2004. -752с.
10. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. «Общий курс электропривода» - М.: Энергоиздат 1981.

ДОДАТОК А

ОХОРОНА ПРАЦІ

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 маслоуказателя. 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 електромагніта, 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 шківів недоступно. Усі шарнірні з'єднання повинні легко повертатися, колодки самовстановлюватися по зовнішній поверхні гальмівного шківів і фіксуватися у цьому положенні щодо важелів при растормаживанні системи.

Пружини гальма встановлюють по розмірам, зазначеним на бирках. Регулювання гальмівного моменту в межах 6-8 кгм 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 3мм. 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 kabіни і двері 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 kabіни 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 kabіни як вгору, так і вниз однаковим, зазор між відведеннями дверей kabіни 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 kabіна перебуває в крайніх робочих положеннях, шляхом зміни положення упорів, що встановлюються на канат обмежувача швидкості, і зміною кута установки важеля контакт}'. 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.

А.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 розчіплювачів автоматичних вимикачів з струмами уставки 10 або 12,5 А:

- 1) від'єднують всі дроти 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 пропущенні 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 спрацьовування двох з трьох полюсів знаходиться в межах 7 - 30 с, а третього - не менше 7 с. Для отримання необхідного часу спрацьовування використовують можливість регулювання струму уставки.

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

Автоматичний вимикач, захищає двигун привода дверей, має регульовану уставку спрацювання теплових розчіплювачів. Час спрацювання цього автомата при струмі 1,35 Ін не більше 30 хв, а при струмі 6 Ін 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 ви тримки 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 отпадания якоря і провалу розмикає контакти. Зачищати контакти наждачним полотном забороняється. Для цього застосовують оксамитовий напилек.

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.