

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **С. М. Пересада**  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## Дипломний проект

**на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра**

за напрямом підготовки – 6.050702 «Електромеханіка»  
(код і назва)

на тему: Дослідження режимів роботи ліфтової підйомної установки

Виконав: студент  4  курсу, групи  ЕП-51   
(шифр групи)

Котенко Максим Геннадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник  к.т.н., проф Печеник Микола Валентинович   
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент  к.т.н., доц. Коваленко Михайло Анатолійович   
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 р.

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	6.050702.5116.010.БР	Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	6.050702.5116.010.БР	Пояснювальна записка	83	
3	A1	6.050702.5116.010.БР	Загальний вигляд ліфтової установки	1	
4	A1	6.050702.5116.010.БР	Функціональна схема асинхронного електроприводу	1	
5	A1	6.050702.5116.010.БР	Графіки перехідних процесів	1	

				6.050702.5116.010.БР		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Котенко М.Г.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Печеник М.В.				2	83
Консульт.					КПІ ім. І. Сікорського Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП -51	
Н/контр.	Приймак Б.І.					
Зав.каф.	Пересада С.М.					

**Пояснювальна записка  
до дипломного проекту**

на тему: Електромеханічна система ліфтової підйомної установки

Київ – 2019 р.

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повна назва)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки – 6.050702 електромеханіка  
(код назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ С. М. Пересада  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Котенко Максиму Геннадійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Електромеханічна система ліфтової підйомної установки» \_

керівник проекту к.т.н., проф. Печеник Микола Валентинович \_\_\_\_\_ ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом проекту 30.05.2019

3. Вихідні дані до проекту: Пасажирський ліфт що знаходиться у адміністративній будівлі. Висота підйому  $H = 48\text{ м}$ , необхідна кількість перевезень  $A = 570 \frac{\text{чол}}{\text{год}}$ .

Трьохперіодна діаграма руху ліфта. Прискорення  $a = 0.7 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Аналітичний огляд; 2. Обґрунтування вибору системи електроприводу; 3. Розрахунок потужності та вибір двигуна; 4. Розробка функціональної схеми електроприводу; 5. Математична модель та структурна схема електромеханічної системи; 6. Дослідження динамічних режимів;

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): 1. Функціональна схема електропривода; 2. Структурна схема алгоритму частотного керування; 3. Графіки перехідних процесів у двигуні.

6. Консультанти розділів проекту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

7. Дата видачі завдання 04.04.19

## Календарний план

з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз режимів роботи і конструкції установки	17.04.19	
2	Аналіз науково-технічної літератури	22.04.19	
3	Вимоги до ЕП. Вибір системи ЕП. Технічне порівняння різних систем ЕП	22.04.19	
4	Розрахунок і вибір елементів електромеханічної системи	29.04.19	
5	Розробка структурної схеми та розрахунок її елементів	06.05.19	
6	Розробка математичної моделі електромеханічної системи	13.05.19	
7	Модель для дослідження динамічних режимів в середовищі Simulink. Спеціальне запитання	20.05.19	
8	Висновки по роботі	27.05.19	
9	Список літератури	27.05.19	
10	Оформлення роботи	30.05.19	

Керівник проекту

В.М. Печеник

(ініціали, прізвище)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Студент

М.Г. Котенко

(ініціали, прізвище)

\_\_\_\_\_

(підпис)

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний на 83 сторінках та вміщує 21 рисуноків, 7 таблиць та 3 плакати А1.

Метою виконання дипломного проекту є дослідження роботи та проектування електромеханічної системи ліфтової підйомної установки.

При виконанні дипломного проекту були вирішені такі поставлені задачі: виконано аналітичний огляд режимів роботи та конструкцій ліфтових підйомних установок, аналіз різних систем електроприводів що використовуються для ліфтів, сформовано вимоги до електроприводу, обґрунтовано та здійснено вибір електродвигуна та елементів електромеханічної системи, розроблена модель електромеханічної системи в програмному середовищі MATLAB Simulink, досліджено динамічні та статичні режими роботи системи при різній величині навантаження.

Реалізація даного дипломного проекту забезпечувалась за допомогою використання наступних програм: MATLAB 2009b, Microsoft Office Word, Splan.

АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЛІФТ, ПІДЙОМНА УСТАНОВКА, ЧАСТОТНЕ КЕРУВАННЯ

					<b>6.050702.5116.010.БР</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Котенко М.Г.			Електромеханічна система ліфтової підйомної установки	Літ.	Лист	Листів
Перевірів		Печеник М.В.					7	83
Т.контр						НТУУ "КПІ ім.Ігоря Сікорського". ФЕА.		
Н. Контр.		Приймак Б.І.						
Затверд.		Пересада С.М.						

## SUMMARY

The diploma project is executed on 83 pages and contains 21 figures and 7 tables and 3 posters A1.

The purpose of the diploma project is the study of the work and design of the electromechanical system of the lifting plant.

In carrying out the diploma project the following tasks were solved: an analytical review of operating modes and constructions of elevator lifting installations was carried out, an analysis of various systems of electric drives used for elevators, requirements for electric drives was formed, the choice of electric motor and elements of the electromechanical system was justified, the model of the electromechanical system in MATLAB Simulink software environment was made, dynamic and static operating modes of the system under different load sizes are investigated.

The implementation of this diploma project was provided through the use of the following programs: Microsoft Office Word 2016, MATLAB R2009b, Splan 7.0.

ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE, ALGORITHM OF ASYNCHRONAL  
ENGINE CONTROL, MATHEMATICAL MODELING, DYNAMIC  
CHARACTERISTICS, ELEVATOR, LIFTING PLANT FREQUENCY CONTROL

					<b>6.050702.5116.010.BW</b>				
	Letter	№ of doc.	Sign	Date	Electromechanical system of lifting plant	L.	Page	Pages	
Devel.	Kotenko.M.G.						8	83	
Checked	Pechenik M. V.					NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», FEA			
N. Contr.	Priymak B.I.								
Approved	Peresada S.M.								

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	7
ВСТУП.....	11
1. АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ І КОНСТРУКЦІЙ ЛІФТОВИХ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК.....	12
1.1 Загальні відомості.....	12
1.2 Класифікація ліфтових підйомних установок.....	12
1.3 Різновиди кінематичних схем ліфтових підйомних установок.....	14
1.4 Технічна характеристика ліфтових підйомних установок.....	17
1.5 Влаштування, компоновка та взаємодія вузлів.....	19
Висновки до розділу 1.....	21
2. Обґрунтування та вибір системи електропривода.....	22
2.1 Вимоги до конструкції ЛПУ та загальна характеристика механізмів підйому	22
2.2 Загальні вимоги до конструкції та параметрів ліфтових підйомних установок .....	24
Висновки до розділу 2.....	26
3. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	27
3.1 Розрахунок та вибір канату. Розрахунок ваги кабіни та противаги.....	27
3.2 Вибір редуктора та канатоведучого шківів.....	31
3.3 Визначення сили аеродинамічного супротиву руху кабіни та противаги .....	34
3.4 Розрахунок натягу канатів підвіски кабіни та противаги в робочих та випробувальних режимах .....	36
3.5 Розрахунок співвідношення натягу канатів, консольного та окружного навантаження КВШ.....	40
3.6 Кінематика руху ЛПУ та остаточний вибір АД.....	42
3.7 Розрахунок номінальних даних двигуна.....	46
3.8 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення.....	47
3.9 Розробка системи керування.....	51
Висновки до розділу 3.....	59

4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА СТРУКТУРНА СХЕМА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	61
4.1 Математична модель електропривода .....	61
4.2 Синтез регулятора швидкості .....	66
Висновки до розділу 4.....	71
5. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ СИСТЕМИ ЛІФТОВОЇ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ.....	72
5.1. Розробка моделі для дослідження динамічних режимів системи .....	72
5.2. Дослідження динамічних режимів роботи установки.....	74
Висновки до розділу 5.....	80
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	82

## ВСТУП

Сучасний ліфт у вигляді кабіни з дверима був представлений публіці під час виставки промислових досягнень у Нью-Йорку в травні 1854 року. Його винахідником став Отіс. Його запатентоване нововведення брало за основу кабіну, мотузку та противагу на пружинах, які мала приводити в дію механізм зупинки підйомника, якщо трос обірвався і підйомний механізм вийшов з ладу. Та перша спроба масової експлуатації ліфтів не була вдалою. Клієнти боялися їздити новим незрозумілим способом. Тож Naughwout & Company, де було встановлено перший ліфт, позбулась його в 1860 році. Для тріумфу Отісу та його розробці довелося дочекатися ще 2 нововведень: сталевому каркасу, що дозволив створювати значно вищі будівлі, і електродвигунів, котрі прискорили рух підйомників та зробили ліфти значно тихішими.

Електричний двигун змінив стан справ. Оригінальний паровий ліфт Отіса піднімався зі швидкістю 0,2 м/с. Електричні підйомники з кабіною в першому сталевому корпусі могли обслуговувати до 50 поверхів. 241-метрова будівля Уолворта, відкрита в 1913 році, мала ліфти, що рухалися вдсятеро швидше за ліфти Отіса. Двома десятиліттями пізніше ті, хто знаходився в 381-метровому хмарочосі «Імпайр-Стейт Білдінг», подорожували на швидкості 6 м/с.

Розвиток концепції ліфтів йде ще далі. Ліфти пропонують запускати, повністю відкидаючи трос. Thyssenkrupp, що також виготовляє залізничне обладнання, використовує високошвидкісні залізничні технології для створення Multi. Це — ліфтова система, що утримується на місці та прискорюється електромагнітними силами, такими, як ті, що використовуються для потягів на магнітній гравітаційній подушці.

# 1. АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ І КОНСТРУКЦІЙ ЛІФТОВИХ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК

## 1.1 Загальні відомості

Ліфтом називається стаціонарна підйомна машина періодичної дії, призначена для підйому і спуску людей і (або) вантажів у кабіні, що рухається по жорстким прямолінійним направляючим, у яких кут нахилу до вертикалі допускається не більше 15 градусів.

Ліфт є невід'ємною частиною інженерного обладнання житлових, адміністративних будівель і споруд. Ліфти переміщують пасажирів, автомобілі в багатоповерхових гаражах, товари в магазинах і торгових центрах, забезпечують роботу судів річкового і морського флоту, застосовуються на великовантажних транспортних і пасажирських літаках. Крім цього ліфтами обладнуються потужні технологічні комплекси.

Ліфт стає одним з найбільш важливих і масових засобів пасажирського транспорту в містах. Роль його безперервно зростає в зв'язку з тенденцією до підвищення поверховості будівництва. Масове перевезення людей всіх вікових категорій висуває підвищені вимоги до надійності та безпеки роботи ліфтів.

Існує велика різноманітність ліфтів, що розрізняються за призначенням і конструктивними особливостями.

## 1.2 Класифікація ліфтових підйомних установок

**За призначенням** можна виділити наступні типи ліфтів:

Пасажирський – призначений для підйому і спуску людей;

Вантажопасажирський – призначений для транспортування пасажирів і вантажів, має збільшені розміри площі підлоги та дверного отвору;

Лікарняний – призначений для підйому і спуску хворих людей, в тому числі і на спеціальних транспортних засобах в супроводі медперсоналу;

Вантажний – призначений для підйому і спуску вантажів;

**За типом приводу підйомного механізму:**

Ліфти з електродвигуном постійного або змінного струму

Гідравлічні ліфти з електроприводом у вигляді підйомного гідроциліндра або лебідки з гідравлічним двигуном обертального типу.

**За конструкцією тягового елемента:**

Канатні ліфти, кабіна яких переміщується за допомогою тягових канатів лебідки.

Ланцюгові ліфти, рейкові та гвинтові, в яких рух кабіни здійснюється за рахунок тягових ланцюгів, системи гвинт-гайка або приводна шестерня-зубчаста рейка.

**За способом передачі руху від канатоведучого органу лебідки тяговим канатам:**

Ліфти з барабанною лебідкою.

Ліфти з канатоведучим шківом.

**За способом дії канатів на кабіну:**

Ліфти з верхньою канатною підвіскою.

Вижимні ліфти, в яких тягові канати охоплюють кабіну знизу.

**За способом запасовки тягових канатів:**

Ліфти з прямою підвіскою кабіни.

Ліфти з поліспаотною підвіскою кабіни.

Ліфти з канатним мультиплікатором.

**За розміщенням машинного відділення:**

З верхнім машинним відділенням.

З нижнім машинним відділенням.

**За конструкцією приводу лебідки:**

Ліфти з редукторним приводом лебідки.

Ліфти з безредукторним приводом лебідки.

**За швидкістю руху кабіни:**

Тихохідні ліфти – швидкість кабіни становить до 1 м/с.

Швидкохідні ліфти – швидкість кабіни знаходиться в межах від 1.4 – 2 м/с.

Високошвидкісні ліфти – швидкість кабіни є більшою ніж 2 м/с.

**За точністю зупинки кабіни:**

Ліфти з системою точною зупинки

Ліфти без системи точної зупинки

**1.3 Різновиди кінематичних схем ліфтових підйомних установок**

Кінематичною схемою ліфта, згідно до прийнятої у ліфтобудуванні термінології, називається схема запасовки канатів.

На кінематичних схемах прийняті наступні позначення: канатоведучий орган зображується колом з заштрихованою серединою, відхиляючі блоки та контршків – колом меншого діаметра без штриховки, кабіна – великим прямокутником, а противага – вузьким прямокутником із горизонтальною штриховкою, підйомні канати – прямою лінією, незалежно від кількості їх паралельних гілок. Основні варіанти кінематичних схем ліфтових підйомних установок представлені на рисунку 1.1.

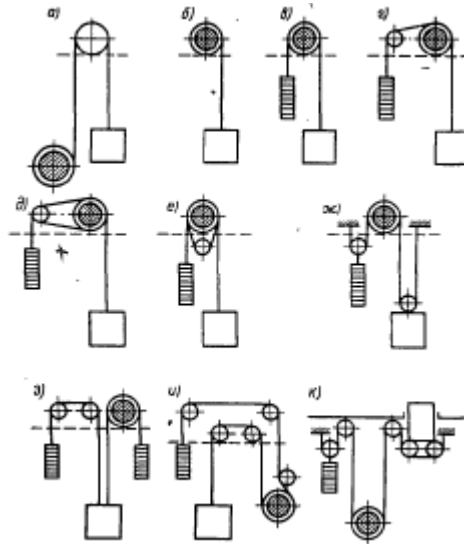


Рисунок 1.1. Кінематичні схеми ліфтових підйомних установок

Схеми з барабанним канатоведучим органом (рис.1.1а,б) застосовуються при невеликій висоті підйому, оскільки вона обмежується кількістю канату, яку може вмістити барабан. Такі системи доцільно використовувати в спеціальних ліфтах підвищеної вантажопідйомності при невеликій висоті підйому ліфта та в тих випадках коли за умовами установки розміщення противаги ліфта практично неможливе.

Барабанный канатоведучий орган може застосовуватись і при наявності противаги(рис.1.1 в,г), але ніяких переваг порівняно із канатоведучим шківом (КВШ) така схема не має. Але противага є невід'ємною частиною більшості кінематичних схем. Є дві основні причини використання противаги:

1. Економія енергії за рахунок врівноваження сили тяжіння kabіни з вантажем та покращення динамічних властивостей системи.
2. Забезпечення достатніх сил зчеплення канатів з ободом шківа в лебідках з канатоведучим шківом.

Що до розміщення машинного відділення, то кращі техніко-економічними показники мають ліфти з верхнім положенням машинного відділення. Переваги такого розположення полягають у зменшенні навантаження несучих канатів на конструкцію будівлі та каркас шахти, а також зменшується необхідна довжина та

збільшується довговічність канатів, збільшується ККД підйомного механізму та зменшується вартість ліфта.

Схема з прямою підвіскою кабіни та противаги (рис.1.1 в) є найбільш простою та доцільною для ліфтів з верхнім розміщенням машинного відділення, оскільки вона забезпечує максимальний ККД системи та збільшує довговічність канатів за рахунок відсутності відхиляючих блоків, які викликають їх перегин.

Якщо габарити кабіни завеликі, то для забезпечення вільного переміщення противаги, з її сторони встановлюють відхиляючий блок, як це зображено на рис.1.1 (г). Наявність такого блоку дозволяє зменшити розміри та масу КВШ, але при цьому зменшує кут його охоплення канатом, що веде до зниження тягової здатності.

Для компенсації цього недоліку застосовується схема з контршківом, який забезпечує подвійний обхват КВШ і одночасно з цим виконує роль відхиляючого блоку(рис.1.1 д). Але в цій схемі внаслідок створення додаткового вигину канатів на контршківі погіршуються їх експлуатаційні характеристики.

Інший варіант цієї схеми – з контршківом під КВШ(рис 1.1 е) доцільно застосовувати при невеликих розмірах кабіни та підвищеній вантажопідйомності ліфта.

Схема з поліспаотною підвіскою кабіни(рис 1.1 ж) використовується у тих випадках коли одна й та сама лебідка використовується в ліфтах різної вантажопідйомності, або якщо необхідно збільшити вантажопідйомність ліфта.

Схема з кабінною противагою (рис 1.1 з), використовується в тих випадках коли потребується зменшити кругове зусилля КВШ, тим самим виключаючи можливість проковзування канату.

Схеми з нижнім розташуванням машинного приміщення(рис 1.1 а,и,к) серед переваг мають полегшену експлуатацію, ремонт обладнання та знижений рівень

генеруємого шуму. Але такі схеми не набули широкого використання через свої недоліки, а саме:

1. Необхідність додаткового блочного приміщення, яке розміщується зверху, над ліфтовою шахтою;
2. Зменшення довговічності канатів, а також збільшення їх кількості;
3. Збільшення навантаження на конструкцію будівлі;
4. Збільшення капітальних витрат;

Зважаючи на всі ці недоліки подібні конструкції використовуються у тротуарних ліфтах та у випадках коли потрібно зменшити рівень шуму у будівлі.

#### **1.4 Технічна характеристика ліфтових підйомних установок**

Основними параметрами технічної характеристики ліфта є: вантажопідйомність, швидкість руху та прискорення кабіни. Вони регламентуються нормативними документами на конкретний тип обладнання.

Вантажопідйомність ліфта визначається величиною маси найбільшого розрахункового вантажу без урахування маси кабіни і постійно розташованих в ній пристроїв.

Площа підлоги кабіни ліфтів самостійного користування визначається в залежності від його вантажопідйомності.

Допускається застосування кабін зі збільшеною площею підлоги, якщо в кабіні встановлюється додаткова перегородка з дверима, яка замикається спеціальним ключем. Замикання дверей перегородки має контролюватися кінцевим вимикачем.

Оскільки умови експлуатації ліфтів можуть бути різними, і він може перевозити вантажі різної маси і габаритів, технологічні норми передбачають

ряд типорозмірів кабін для однієї і тієї ж вантажопідйомності, що використовуються при проектуванні.

Ліфти зі збільшеною площею підлоги кабіни повинні бути обладнані пристроями контролю та індикації при перевантаженні більше 10%.

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

Максимальне значення швидкості кабіни має не тільки техніко-економічне, але і чисто фізіологічне обмеження. При швидкості кабіни більше 4 м/с швидка зміна барометричного тиску в процесі руху кабіни справляє негативний вплив на серцево-судинну систему і слуховий апарат людини.

Зупиночна швидкість – швидкість, за якої включається механізм забезпечення необхідної точності зупинки.

Ревізійна швидкість – швидкість, за якої обслуговуючий персонал оглядають обладнання шахти ліфта з даху рухомої кабіни.

Для ліфтів, які мають номінальну швидкість до 0,71 м/с дозволяється ревізія при русі вниз з номінальною швидкістю.

Гранична швидкість – це швидкість кабіни при спрацьовуванні обмежувача швидкості механізму включення уловлювачів.

Розрахункова висота підйому визначається архітектурно-планувальним рішенням конструкції будівлі, але не може рости необмежено, так як зі збільшенням висоти підйому помітно зменшується корисний об'єм приміщень в зв'язку з розміщенням ліфтового обладнання. Втрати корисного об'єму висотних будівель можуть досягати 30%.

Продуктивність ліфта є вельми важливим параметром ліфта, що залежать від вантажопідйомності, швидкості, висоти підйому, характеристик пасажиропотоку, схеми організації міжповерхових перевезень і т.п. Вона

зазвичай визначається кількістю пасажирів або масою вантажу, що транспортуються за одну годину роботи.

### **1.5 Влаштування, компоновка та взаємодія вузлів**

Оснoву конструкції ліфта становить механізм підйому на основі застосування лебідки або гідроциліндра з канатною системою передачі руху кабіні.

Пасажири і вантажі переміщуються в спеціально обладнаній кабіні з дверима, які мають блокувальні пристрої, що виключають можливість руху при відкритих створах.

Для центрування кабіни (противаги) в горизонтальній площині і виключення поперечного розгойдування під час руху, застосовуються напрямні, що встановлюються на всю висоту шахти ліфта.

Направляючі забезпечують можливість гальмування кабіни (противаги) уловлювачами при аварійному перевищенні швидкості і утримують її до моменту зняття з уловлювачів.

Простір, в якому переміщується кабіна і противага огорожується на повну висоту і називається шахтою.

На завантажувальних майданчиках поверхів шахта має автоматично замикаються двері з блокуваннями безпеки. Приміщення, в якому встановлюється підйомна лебідка та інше необхідне обладнання, називається машинним приміщенням.

При нижньому розташуванні машинного приміщення і, в деяких інших випадках, над шахтою встановлюються відвідні блоки в спеціальному блочному приміщенні.

Для запобігання аварійного падіння кабіни (противаги) ліфт обладнується автоматичною системою включення уловлювачів від обмежувача швидкості, що спрацьовує при аварійному перевищенні швидкості. Уловлювачі

встановлюються по бічних сторонах каркаса кабіни (противаги) і приводяться в дію канатом, що охоплює шків обмежувача швидкості.

Обмежувач швидкості може встановлюватися в машинному, блочному приміщенні; на кабіні і противазі. Спрацювання обмежувача швидкості призводить до гальмування каната обмежувача швидкості і включенню уловлювачів.

Станція управління роботою ліфта, прилади та апарати знаходяться в машинному приміщенні. Датчики уповільнення, шунти датчика точної зупинки та пристрої контролю шахтних дверей встановлюються в шахті.

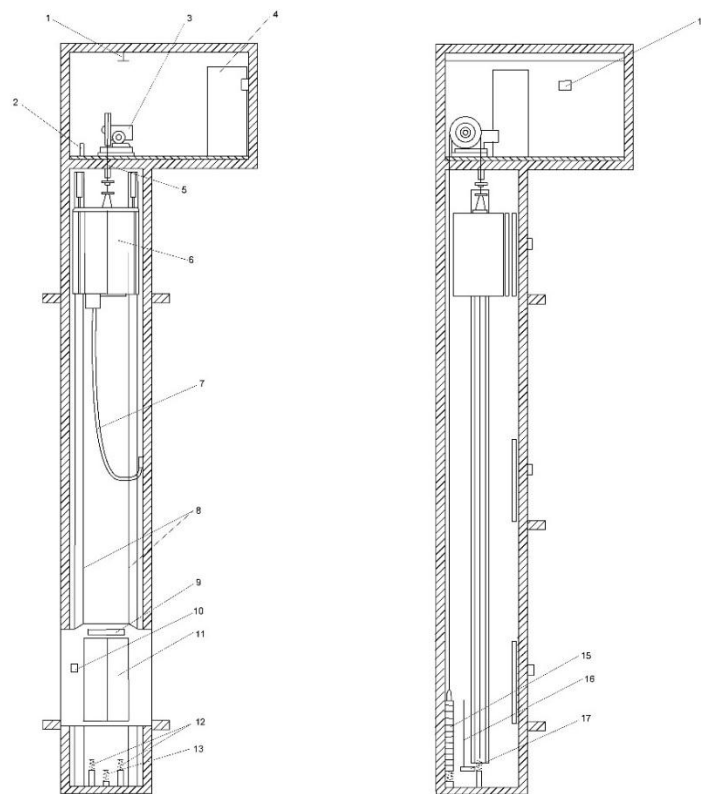


Рисунок 1.2 – технологічна схема ліфта

1 – монорельс; 2 – обмежувач швидкості; 3 – лебідка; 4 – станція управління; 5 – тягові канати; 6 – кабіна; 7 – підвісний кабель; 8 – напрямні; 9 – індикатор стану кабіни; 10 – двері шахти; 11 – апарат виклику; 12 – пружинний буфер кабіни; 13 – пружинний буфер противаги; 14 – ввідний пристрій; 15 –

противагу; 16 – канат обмежувача швидкості; 17 – пристрій натягування каната обмежувача швидкості;

Наведена вище типова конструкція пасажирського ліфта не є єдиним можливим рішенням. Залежно від призначення, швидкості пересування кабіни і типу приводу конструктивні рішення можуть суттєво відрізнятися. Так для швидкісних ліфтів характерна наявність безредукторного приводу КВШ від тихохідного двигуна постійного струму і застосування гідробуферів замість пружин. При великих швидкостях в кабіні застосовується примусова система вентиляції, що створює в салоні невеликий надлишковий тиск.

Відмінні риси має конструкція обмежувача швидкості і уловлювачів швидкісного ліфта. На конструкції ліфта впливає і розташування машинного приміщення.

При нижньому машинному приміщенні в верхній частині шахти обладнується додаткове блочне приміщення

Лікарняні ліфти обладнуються глибокими кабінами і приводом, що забезпечує підвищену точність зупинки і плавність ходу кабіни.

## **Висновки до розділу 1**

1. В даному розділі було розглянуто різні типи побудови ліфтових підйомних установок, їх кінематичні схеми, класифікація та загальний вигляд установки. Було описано режими роботи а також призначення окремих вузлів конструкції.

## **2. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА**

### **2.1 Вимоги до конструкції ЛПУ та загальна характеристика механізмів підйому**

Основу механізму підйому сучасного ліфта складає канатна система передачі руху кабіні (противазі) і пристрою приводу переміщення канатів у вигляді лебідки або гідроциліндра з блоком на кінцевій частині штока.

Найбільшого поширення набули неврівноважені ліфтові підйомні установки (ЛПУ) з канатними лебідками різного конструктивного виконання. З метою забезпечення безпеки переміщення людей та вантажів до ліфтових лебідок пред'являється ряд специфічних вимог:

Конструкція лебідки повинна бути розрахована на навантаження, що діють в експлуатаційних, випробувальних і аварійних режимах.

У якості лебідки ліфта не дозволяється використання електричної талі.

Між канатоведучим органом лебідки і гальмом повинен бути кінематичний зв'язок.

Лебідка повинна бути обладнана автоматично діючим колодковим гальмом.

Не допускається застосування стрічкових гальм.

У безредукторних лебідках, при відсутності в електроприводі системи утримання нерухомої кабіни за рахунок моменту електродвигуна, має встановлюватися два гальма.

Допускається застосування одного двоколодкового гальма, що являє собою дві незалежні системи гальмування, кожна з яких складається з гальмівної колодки, пружини (вантаж) і розгальмовуючого електромагніту.

Гальмівний момент, створюваний кожною колодкою, повинен забезпечувати утримання кабіни з розрахунковим вантажем.

Вільні кінці валів, що обертаються повинні бути огорожені від випадкового дотику.

Лебідка повинна бути обладнана системою ручного приводу руху кабіни за допомогою постійно закріпленого на валу або знімного штурвала.

У конструкції лебідки повинен бути встановлений пристрій ручного відключення гальма з самоповерненням в загальмований стан після припинення ручного впливу.

У безредукторної лебідки підключення системи ручного приводу має контролюватися спеціальним вимикачем.

На лебідці слід указувати напрямок обертання штурвала для підйому і спуску кабіни ліфта.

Зусилля ручного впливу на штурвал не повинно перевищувати 235 Н при підйомі кабіни з розрахунковим вантажем.

При знятті кабіни з уловлювачів за допомогою ручного приводу прикладене зусилля не повинно перевищувати 640 Н.

Лебідка з КВШ повинна комплектуватися пристроєм, що дозволяє притискати канати до обода із зусиллям достатнім для підйому кабіни з вантажем без урахування розвантажуючої дії противаги.

Конструкція повинна відповідати вимогам міцності і герметичності.

## 2.2 Загальні вимоги до конструкції та параметрів ліфтових підйомних установок

Безпека застосування і надійність роботи - основоположні вимоги, на яких базується проектування, виготовлення і експлуатація ліфтового обладнання. Ці вимоги знайшли відображення в експлуатаційних нормах ЛПУ.

Крім вимог вказаних у зазначених вище документах, до ліфтів ставляться такі додаткові вимоги: точність зупинки щодо рівня поверхової площадки; плавність руху кабіни при розгоні і гальмуванні; комфортабельність умов транспортування пасажирів; загальнодоступність користування ліфтом; безшумність роботи; допустимий рівень електромагнітних завад роботі систем радіозв'язку та телебачення.

Точність зупинки кабіни визначається величиною різниці відміток підлоги кабіни і підлоги поверхової площадки. Поріг, що утворюється в результаті неточності зупинки, становить небезпеку для пасажирів і ускладнює вантажні роботи із застосуванням наземного транспорту або монорельсової системи завантаження кабіни.

При гальмуванні завантаженої кабіни що рухається вгору, зупинка відбудеться трохи нижче порога розвантажувального майданчика, тоді як порожня кабіна пройде більший шлях і зупиниться вище цього рівня. При русі вниз буде спостерігатися зворотна картина.

Шунти датчика точної зупинки кабіни встановлюються на такій відстані, щоб різниця рівнів підлоги кабіни і поверхової площадки була однаковою при зупинці навантаженої і порожньої кабіни при її русі в одному напрямку.

Точність зупинки прийнято оцінювати величиною піврізниці гальмівних шляхів кабіни при русі в одному напрямку з вантажем та без нього:

При русі вниз:  $\Delta = \pm \frac{h_r - h_n}{2}$ ; При русі вгору:  $\Delta = \pm \frac{h_n - h_r}{2}$ ,

де  $h_n, h_r$  – гальмівний шлях порожньої та завантаженої кабіни відповідно.

Згідно з рекомендацією ПУБЕЛ точність зупинки кабіни має бути витримана в межах, що не перевищують: для лікарняних ліфтів і вантажних ліфтів з монорельсом  $\pm 15$  мм; для інших –  $\pm 50$  мм. При використанні керованого приводу змінного трифазного струму і приводу постійного струму досягається значно більша точність зупинки. Плавність руху кабіни визначається рівнем прискорення при розгоні і гальмуванні підйомного механізму. За нормами ПУБЕЛ максимальна величина прискорення (уповільнення) кабіни в нормальних експлуатаційних режимах не повинна перевищувати наступних значень: для лікарняних ліфтів –  $0.5 \text{ м/с}^2$ ; для ліфтів інших типів –  $2 \text{ м/с}^2$ .

Максимальна величина уповільнення при зупинці кабіни натисканням кнопки «СТОП» - не повинна перевищувати  $9,81 \text{ м/с}^2$ .

При посадці кабіни на уловлювачі або буфер в аварійних ситуаціях допускаються прискорення до  $25 \text{ м/с}^2$ . Ефект фізіологічного впливу прискорень істотно залежить від часу їх дії. Так, при часу дії прискорень менш  $0,04$  с, людський організм задовільно переносить прискорення близько  $30-40 \text{ м/с}^2$ . Тому ПУБЕЛ допускає короткочасне перевищення прискорень уповільнення кабіни.

Комфортабельність умов перевезення пасажирів визначається мінімальною величиною часу очікування ліфта на посадочній площадці, плавністю і точністю зупинки, відсутністю шуму і вібрації в кабіні, наявністю хорошої вентиляції салону і достатньому освітленні.

Загальнодоступність користування ліфтом передбачає наявність досить простої і зрозумілої системи управління рухом з кабіни і поверхових майданчиків, що не вимагає спеціальної підготовки пасажирів усіх вікових груп.

Безшумність роботи ліфта забезпечуються рядом заходів щодо зниження рівня шуму і запобігання його поширенню по несучих конструкціях будівлі. З цією метою, лебідка ліфта і інші вузли обладнання ліфта встановлюються на

амортизатори і до їх конструкції пред'являються підвищені вимоги щодо рівня шуму і вібрації. Ці вимоги повинні враховуватися при проведенні монтажних, профілактичних і ремонтних робіт.

Зниження рівня електромагнітних завад може бути гарантовано гарною якістю екранування джерел перешкод електрообладнання ліфта і установкою високочастотних фільтрів у ввідному пристрої електричною силового ланцюга живлення ліфта.

Враховуючи все зазначене, можна сформулювати такі основні вимоги до електропривода ліфтових підйомних установок:

- висока енергоефективність.
- Діапазон регулювання  $D = 1 \div 10$
- надійність та довговічність
- плавність розгону руху і гальмування
- точність зупинки кабіни
- обмеження динамічних навантажень
- малOSHумність роботи
- недопущення перешкод радіотрансляції і телебаченню.

## **Висновки до розділу 2**

В даному розділі було сформульовано вимоги як до електроприводу, так і до механічної системи ліфтової установки, а також обрано у якості системи керування систему перетворювач частоти – асинхронний електродвигун, яка відповідає вказаним вимогам.

### 3. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ.

#### 3.1 Розрахунок та вибір канату. Розрахунок ваги кабіни та противаги.

Вихідні дані для розрахунку:

Вантажопідйомність  $Q = 1275$  кг. Лінійна швидкість кабіни  $V = 1.6 \left(\frac{M}{c}\right)$ .

Висота підйому  $H = 48$  м. Ширина та глибина кабіни відповідно  $A = 2.1$  м,  $B = 1.1$  м.

Маса кабіни пасажирського ліфта наближено визначається за формулою:

$$Q_k = (500 \div 550) \cdot A \cdot B, \text{ кг} \quad (3.1)$$

Де  $A, B$  – ширина та глибина кабіни

$$Q_k = 550 \cdot 2.31 = 1270.5 \text{ [кг]} \quad (3.2)$$

Маса противаги визначається за формулою:

$$Q_n = Q_k + \varphi Q, \text{ кг} \quad (3.3)$$

Де  $\varphi$  – коефіцієнт урівноваження номінального вантажу кабіни;

$Q$  – маса вантажу, кг.

$$Q_n = 1270.5 + 0.5 \cdot 1275 = 1908 \text{ [кг]} \quad (3.4)$$

Канати підйомних механізмів ліфтів забезпечують передачу руху від лебідки до кабіни і противаги з невеликими втратами потужності на канатотяговому органі і відхиляючих блоках.

Від надійності роботи системи підвіски рухомих частин ліфта залежить життя пасажирів. Тому до сталевих канатів і тягових ланцюгів ліфтів пред'являються підвищені вимоги міцності і довговічності. Ці вимоги знайшли відображення в ПУБЕЛ.

Канати, що надходять на монтаж ліфтового обладнання повинні мати документ (сертифікат), що характеризує їх якість і оформлений в повній відповідності з

вимогами державних стандартів. Аналогічні вимоги пред'являються до тягових ланцюгів.

Паралельно працюючі канати підвіски кабіни (противаги) повинні мати однакові діаметри, структурні характеристики.

Не допускається зрощування тягових канатів механізмів підйому і обмежувачів швидкості.

Номінальний діаметр тягових канатів ліфтів для перевезення людей повинен бути не менше 8 мм.

Число паралельних гілок канатів підвіски кабіни (противаги) повинно бути не менше зазначених у таблиці 4 ПУБЕЛ.

У ліфтах застосовуються тільки канати подвійної завивки, які звиваються з пасом дротів щодо центрального сердечника у вигляді конопляного каната, просоченого канатним мастилом.

Зазвичай сталевий канат складається з 6 прядей і сердечника.

Умови роботи канатів в ліфтах з КВШ відрізняються наявністю вигинаючих, розтягуючих, скручуючих і зсувних навантажень, тому дуже важливо мати велику поверхню дотику дротів в окремих шарах. Цій вимозі найбільшою мірою відповідають канати типу ЛК з лінійчатим дотиком між дротами.

Залежно від структури поперечного перерізу пасом розрізняють канати ЛК-О - при однакових діаметрах дротів по шарам навивки, ЛК-Р з різним діаметром дротів. Канати з точковим дотиком дротів мають позначення ТК.

При використанні канатів важливо забезпечити не тільки достатню їх міцність, а й надійне з'єднання з елементами конструкції ліфта.

Сталеві канати повинні розраховуватися на статичне розривне зусилля

$$P = S \cdot K \quad (3.5)$$

де  $P$  – розривне зусилля каната, прийняте за таблицями ГОСТ або результатами випробування каната на розрив, кН;

$K$  – коефіцієнт запасу, який приймається за таблицею 6 ПУБЕЛ в залежності від типу канатоведущого органу, призначення і швидкості ліфта;

$S$  – розрахунковий статичний натяг вітки каната, кН

Величина розрахункового натягу гілки канатної підвіски повинна визначатися за такими залежностями:

Для канатів підвіски кабіни:

$$S_K = \frac{Q + Q_K + Q_{TK} + 0,5 \cdot Q_{HY}}{n} \cdot g, \text{ Н} \quad (3.6)$$

Для канатів противаги кабіни:

$$S_{II} = \frac{Q_{II} + Q_{TK} + 0,5 \cdot Q_{HY}}{n} \cdot g, \text{ Н} \quad (3.7)$$

де  $Q$  – вантажопідйомність ліфта, кг;

$Q_K$  – маса кабіни, кг;

$Q_{II}$  – маса противаги, кг;

$Q_{TK}$  – вага тягових канатів від точки сходу з КВШ до підвіски, кг;

$Q_{HY}$  – маса натяжного пристрою канатів, кг;

$m$  – число паралельних гілок канатів;

Маса 1 метру тягового канату

$$q_{mk} = q_k \cdot m, [\text{кг} / \text{м}] \quad (3.8)$$

Прийmemo  $q_k = 0.6 \text{ кг}$

$$q_{mk} = 0.6 \cdot 6 = 3.6 [\text{кг} / \text{м}] \quad (3.9)$$

Маса тягових канатів.

$$Q_{mk} = q_{mk} \times (H + 3) = 3.6 \times (48 + 3) = 183.6 \text{ [кґ]} \quad (3.10)$$

$$S_K = \frac{1275 + 1270.5 + 183.6 + 0.5 \cdot 36}{6} \cdot 9.81 = 4491.5 \text{ Н} \quad (3.11)$$

$$S_{II} = \frac{1908 + 183.6 + 0.5 \cdot 35}{6} \cdot 9.81 = 3448.37 \text{ Н} \quad (3.12)$$

$$P = 5.66 \cdot 12 = 67.92 \text{ кН} \quad (3.13)$$

По розрахунквому значенню розривного навантаження канату визначаємо необхідний діаметр канату. Обираємо канат типу з одною органічною серцевиною з наступними параметрами:

- діаметр канату  $d = 11\text{мм}$ ;
- маса 1000м змазаного канату 461 кг;
- розривне зусилля канату 68.8 кН.

$$K^\phi = \frac{P^T \cdot m \cdot 100}{Q + Q_K + Q_{TK}^\phi} \quad (3.14)$$

$$Q_{TK}^\phi = m \cdot q_{TK}^\phi \cdot (H + 3 \dots 4) \quad (3.15)$$

$$Q_{TK}^\phi = 6 \times 0.6 \times 51 = 183.6 \text{ [кґ]} \quad (3.16)$$

$$K^\phi = \frac{68.6 \times 6 \times 100}{1275 + 1270.5 + 183.6} = 15 \quad (3.17)$$

Правильному вибору канату має відповідати умова

$$K^\phi \geq K \quad (3.18)$$

$$15 \geq 12$$

Умова міцності виконується, отже канат обрано вірно.

### 3.2 Вибір редуктора та канатоведучого шківа

У редукторах ліфтових лебідок переважне поширення набули черв'ячні передачі (рис. 3.9) в силу ряду очевидних переваг: можливість отримання великих передавальних чисел в одній парі, а також плавність і безшумність роботи [3].

Недоліком черв'ячної передачі є порівняно низький ККД, підвищений знос в зв'язку з великими швидкостями ковзання в зачепленні, схильність до заїдання контактних поверхонь.

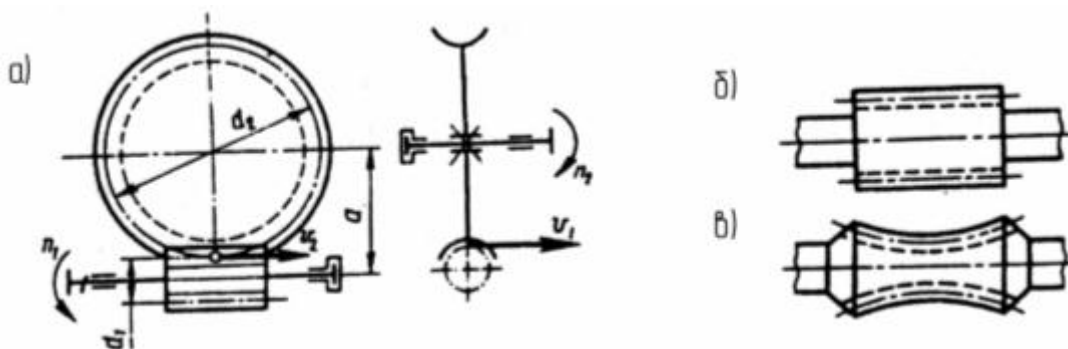


Рис.3.1. Схема черв'ячної передачі ліфтового редуктора.

а) черв'ячна передача; б) черв'як циліндричний; в) черв'як глобоїдний

У нашій країні віддається перевага глобоїдним передачам. Глобоїдні черв'ячні передачі мають підвищену навантажувальну здатність, так як в зачепленні з зубом черв'яка одночасно знаходиться декілька зубів, і лінії контакту зубів з черв'яком розташовуються практично перпендикулярно вектору швидкості ковзання, що сприяє утворенню безперервної масляної плівки на поверхнях, які труться. Сприятливі умови мастила сприяють усуненню заїдання в черв'ячному зачепленні.

Збільшення площі контактної поверхні дозволяє використовувати більш дешеві сорти бронзи і дає деяку економію кольорових металів. Саме ця обставина зумовила переважне застосування глобоїдних передач в ліфтових лебідках вітчизняного виробництва. Одночасно з очевидними перевагами, глобоїдні передачі мають дуже серйозні недоліки.

Значно складніша технологія виготовлення глобоїдних передач. Практична відсутність обладнання для шліфування глобоїдного черв'яка виключило можливість його термічної обробки, що в свою чергу, призвело до зниження міцності, зменшення ККД і підвищеного зносу зубів колеса в зв'язку з наявністю істотних мікронерівностей на поверхні черв'яка. Відсутність аналітичної теорії і використання експериментальних залежностей істотно ускладнює процес проектування.

Критичне значення для глобоїдної передачі має точність його збирання і регулювання осьового положення черв'яка та колеса. Зниження точності складання та регулювання глобоїдної передачі тягне за собою різке зниження ККД і може викликати заклинювання черв'ячного зачеплення.

До недоліків глобоїдної передачі слід віднести і наявність невеликих кінематичних коливань окружної швидкості черв'ячного колеса, які можуть служити однією з причин вібрації кабіни.

У ліфтових лебідках застосовують три способи розташування черв'яка редуктора: нижнє горизонтальне, верхнє горизонтальне і вертикальне.

Лебідки з верхнім розташуванням циліндричного черв'яка успішно застосовуються в ліфтах зарубіжного і вітчизняного виробництва.

Недоліком такого редуктора є погіршення умов змащення зачеплення після тривалого простою ліфта. Залишкова масляна плівка не гарантує рідинне тертя в момент пуску двигуна. Для компенсації цього недоліку і підвищення несучої здатності масляної плівки доцільно збільшувати швидкість ковзання контактуючих поверхонь черв'ячного зачеплення за рахунок застосування двигуна з підвищеною частотою обертання ротора.

З іншого боку в лебідках з верхнім розташуванням черв'яка повністю усувається витік масла.

При виборі редуктора з глобоїдним черв'яком має забезпечуватися така умова:

$$U_p \geq U_o$$

де  $U_p$ ,  $U_o$  - табличне і розрахункове значення передаватного числа редуктора;

Передатне число редуктора визначається з урахуванням кінематичної схеми ліфта за такою формулою:

$$U_o = \frac{\pi \cdot D \cdot n_n}{V \cdot 60} \quad (3.19)$$

де  $D$  - розрахункова величина діаметра КВШ, м;

$n_n$  - номінальне значення частоти обертання валу двигуна, об / хв;

$V$  - розрахункове значення величини швидкості кабіни, м / с.

$$i_p = \frac{3.14 \cdot 1.15 \cdot 1000}{1.6 \cdot 60} = 37.6 \quad (3.20)$$

Вибираємо редуктор РГСЛ-160-40 з передатним числом  $U = 40$ .

Після вибору редуктора лебідки проводиться уточнення діаметра барабана (КВШ) за кінематичною умовою, що гарантує забезпечення номінальної швидкості руху кабіни з похибкою що не перевищує 15%.

$$D = \frac{60 \cdot V_p \cdot U_p}{\pi \cdot n_n} \quad (3.21)$$

де  $V_p$  – робоча швидкість кабіни, рівна номінальній або відрізняється від неї не більше ніж на 15%, м / с;

$U_p$  – табличне значення передавального числа редуктора лебідки;

$n_n$  – номінальне значення частоти обертання валу двигуна, об / хв.

$$D = \frac{60 \cdot 1.6 \cdot 40}{3.14 \cdot 1000} = 1.22 \text{ м} \quad (3.22)$$

Залишаємо діаметр шківів 1.15 м, оскільки отримане значення лежить у межах норми.

### 3.3 Визначення сили аеродинамічного супротиву руху кабіни та противаги

Сила аеродинамічного супротиву визначається за формулою:

$$F = c \cdot A \cdot B \cdot V^2 / 2 \cdot \rho \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 2.31 \cdot 1.6^2 / 2 \cdot 1.1 \cdot 10^{-3} = 0.0032 \text{ [кН]} \quad (3.23)$$

Де  $c$  – коефіцієнт аеродинамічного супротиву обтікання рухомого об'єкта

(0.8 – 1.2);  $A, B$  – ширина та глибина кабіни відповідно;  $v$  – усталена швидкість руху кабіни;  $\rho$  – щільність повітряного потоку.

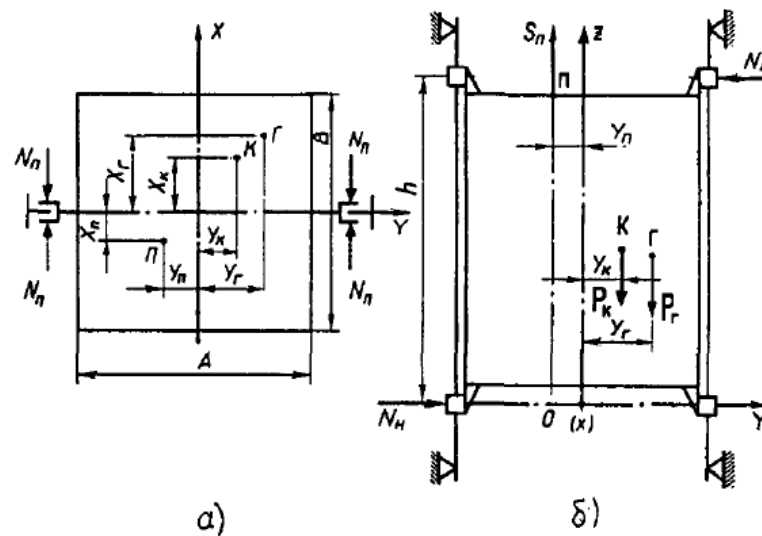


Рисунок 3.2. Схеми до розрахунку опорних реакцій башмаків кабіни

(а – горизонтальна проекція кабіни, б – вертикальна проекція кабіни)

Розглянемо розрахунок зі спротиву більш детально з урахуванням розрахункових схем, наведених на рис.3.1.

Прийнято наступні позначення:  $A, B$  - ширина і глибина кабіни, м;  $h$  – відстань між башмаками по вертикалі, м;  $\Pi$  - позначення точка підвіски кабіни;

$X_{\Pi}, Y_{\Pi}$  – поздовжнє і поперечне зміщення точки підвіски кабіни відносно центру підлоги, м.  $S_{\Pi}$  – натяг тягових канатів, кН.  $K$  – положення центру мас кабіни.  $\Gamma$  – положення центру мас вантажу.  $X_K, Y_K$  – поздовжнє і поперечне зміщення центру мас кабіни відносно центру підлоги, м.  $X_{\Gamma}, Y_{\Gamma}$  – поздовжнє і поперечне зміщення

центру вантажу, м.  $N_{II}, N_H$  – нормальні реакції в зоні контакту башмаків з напрямними, які діють перпендикулярно і паралельно відносно площини напрямних.  $P_K, P_G$  – вага кабіни та вантажу, кН.

З рівнянь рівноваги визначимо відповідні нормальні реакції.

$$\begin{aligned} N_H &= \frac{P_G \cdot (Y_G + Y_{II}) + P_K \cdot (Y_K + Y_{II})}{h}, [\text{кН}] \\ N_{II} &= \frac{P_G \cdot (X_G + X_{II}) + P_K \cdot (X_K + X_{II})}{2 \cdot h}, [\text{кН}] \end{aligned} \quad (3.24)$$

Де  $P_G = Q_P \cdot 10^{-2}$  – вага вантажу, кН (для пасажирського ліфта  $Q_P = 0.5 \cdot Q_C$ ,

де  $Q_C$  – вантажопідйомність ліфта);  $P_K$  – вага кабіни, кН;  $X_{II}, Y_{II}$  – координати зсуву точки підвіски кабіни приймаються з конструктивних міркувань від 0.03 до 0.1 м;  $X_K, Y_K$  – величина поздовжнього і поперечного зміщення центру мас кабіни, що залежить від конструкції дверей кабіни і може прийматися в межах від 0,02 до 0,1 м;  $X_G = B / 6$ ;  $Y_G = A / 6$  – визначаються згідно припущення, що розрахунковий вантаж рівномірно розподілений по трикутному майданчику, що становить 50% площі підлоги кабіни.

$$\begin{aligned} N_H &= \frac{6.375 \cdot (0.35 + 0.08) + 12.7 \cdot (0.06 + 0.08)}{2.6} = 1.54 [\text{кН}] \\ N_{II} &= \frac{6.375 \cdot (0.18 + 0.08) + 12.7 \cdot (0.08 + 0.08)}{2 \cdot 2.6} = 0.709 [\text{кН}] \end{aligned} \quad (3.25)$$

Нормальні тиски для кабіни без вантажу:

$$\begin{aligned} N_{HK} &= \frac{P_K \cdot (Y_K + Y_{II})}{h}, [\text{кН}] \\ N_{IIK} &= \frac{P_K \cdot (X_K + X_{II})}{2 \cdot h}, [\text{кН}] \end{aligned} \quad (3.26)$$

$$\begin{aligned} N_{HK} &= \frac{12.7 \cdot (0.06 + 0.08)}{2.6} = 0.68 [\text{кН}] \\ N_{IIK} &= \frac{12.7 \cdot (0.08 + 0.08)}{2 \cdot 2.6} = 0.39 [\text{кН}] \end{aligned} \quad (3.27)$$

Нормальні тиски для вантажу без врахування маси кабіни:

$$N_{HG} = \frac{P_G \cdot (Y_G + Y_{II})}{h}, [\kappa H] \quad (3.28)$$

$$N_{IIH} = \frac{P_G \cdot (X_G + X_{II})}{2 \cdot h}, [\kappa H]$$

$$N_{HG} = \frac{6.375 \cdot (0.35 + 0.08)}{2.6} = 1.05 [\kappa H] \quad (3.29)$$

$$N_{IIH} = \frac{6.375 \cdot (0.18 + 0.08)}{2 \cdot 2.6} = 0.31 [\kappa H]$$

Опір руху кабіни напрямними при башмаках ковзання:

$$F_K = (2 \cdot N_{HK} + 4 \cdot N_{PK}) \cdot \omega_C + 0.015 \cdot Q_K \cdot 10^{-3}, [\kappa H] \quad (3.30)$$

Де  $\omega_C = 0.12$  – коефіцієнт супротиву руху башмаків ковзання.

$$F_K = (2 \cdot 0.68 + 4 \cdot 0.39) \cdot 0.12 + 0.015 \cdot 1270.5 \cdot 10^{-3} = 0.0194 [\kappa H] \quad (3.31)$$

Сила супротиву руху вантажу при башмаках ковзання:

$$F_G = (2 \cdot N_{HG} + 4 \cdot N_{IIH}) \cdot \omega_C = (2 \cdot 0.68 + 4 \cdot 0.39) \cdot 0.12 = 0.35 [\kappa H] \quad (3.32)$$

Сила супротиву руху противаги при башмаках ковзання:

$$F_{II} = 7.5 \cdot Q_{II} \cdot 10^{-5} = 7.5 \cdot 1908 \cdot 10^{-5} = 0.14 [\kappa H] \quad (3.33)$$

### 3.4 Розрахунок натягу канатів підвіски кабіни та противаги в робочих та випробувальних режимах

У наведених нижче формулах прийняті наступні додаткові позначення:

$U_{II}$ ,  $\eta_B$  – кратність поліспасти і ККД блоку канатної системи.

Для пасажирських ліфтів з прямою підвіскою приймається  $U_{II} = 1$ ,  $\eta_B = 1$ .

1. Режим підйому неврівноваженого вантажу.

Завантажена кабіна внизу, підйом.

$$S_{\kappa 1} = \frac{(Q + Q_K) \cdot 10^{-2} + F_K + F_G}{U_{II} \cdot \eta_B^2} + Q_{TK} \cdot 10^{-2}, [\kappa H] \quad (3.34)$$

$$S_{II1} = \frac{((Q_{II} + Q_y) \cdot 10^{-2} - F_{II}) \cdot \eta_B}{U_{II}}, [\kappa H]$$

$$S_{\kappa 1} = \frac{(1275 + 1270.5) \cdot 10^{-2} + 0.0194 + 0.35}{1 \cdot 1^2} + 183.6 \cdot 10^{-2} = 27.65 [\kappa H] \quad (3.35)$$

$$S_{II1} = \frac{((1908 + 162) \cdot 10^{-2} - 0.14) \cdot 1}{1} = 20.56 [\kappa H]$$

2. Завантажена кабіна зверху, спуск.

$$S_{\kappa 2} = \frac{(Q + Q_K + Q_{IIK} + Q_y) \cdot 10^{-2} + F_K + F_G}{U_{II} \cdot \eta_B^2}, [\kappa H] \quad (3.36)$$

$$S_{II2} = \frac{(Q_{II} \cdot 10^{-2} - F_{II}) \cdot \eta_B^2}{U_{II}} + Q_{TK} \cdot 10^{-2}, [\kappa H]$$

$$S_{\kappa 2} = \frac{(1275 + 1270.5 + 26.1 + 162) \cdot 10^{-2} + 0.0194 + 0.35}{1 \cdot 1^2} = 27.7 [\kappa H] \quad (3.37)$$

$$S_{II2} = \frac{(1908 \cdot 10^{-2} - 0.14) \cdot 1}{1} + 183.6 \cdot 10^{-2} = 20.77 [\kappa H]$$

3. Порожня кабіна внизу, підйом.

$$S_{\kappa 3} = \frac{(Q_K \cdot 10^{-2} - F_K) \cdot \eta_B^2}{U_{II}} + Q_{TK} \cdot 10^{-2}, [\kappa H] \quad (3.38)$$

$$S_{II3} = \frac{((Q_{II} + Q_y) \cdot 10^{-2} + F_{II})}{U_{II} \cdot \eta_B^2}, [\kappa H]$$

$$S_{\kappa 3} = \frac{(1270.5 \cdot 10^{-2} - 0.0194) \cdot 1^2}{1} + 183.6 \cdot 10^{-2} = 14.51 [\kappa H] \quad (3.39)$$

$$S_{II3} = \frac{((1908 + 162) \cdot 10^{-2} + 0.14)}{1 \cdot 1} = 20.84 [\kappa H]$$

4. Порожня кабіна вверху, спуск.

$$S_{K4} = \frac{((Q_K + Q_{PK} + Q_Y) \cdot 10^{-2} - F_K) \cdot \eta_B^2}{U_{II}}, [\kappa H]$$

$$S_{II4} = \frac{(Q_{II} \cdot 10^{-2} + F_{II})}{U_{II} \cdot \eta_B^2} + Q_{TK} \cdot 10^{-2}, [\kappa H]$$
(3.40)

$$S_{K4} = \frac{((1270.5 + 26.1 + 162) \cdot 10^{-2} - 0.0194) \cdot 1^2}{1} = 14.56 [\kappa H]$$

$$S_{II4} = \frac{(1908 \cdot 10^{-2} + 0.14)}{1 \cdot 1} + 183.6 \cdot 10^{-2} = 20.91 [\kappa H]$$
(3.41)

5. Перевантажена на 10% кабіна внизу, підйом. Динамічні випробування.

$$S_{K5} = S_{K1} + 0.1 \cdot Q \cdot 10^{-2}, [\kappa H]$$

$$S_{II5} = S_{II1}, [\kappa H]$$
(3.42)

$$S_{K5} = 27.65 + 0.1 \cdot 1275 \cdot 10^{-2} = 28.92 [\kappa H]$$

$$S_{II5} = 20.56 [\kappa H]$$
(3.43)

6. Перевантажена на 10% кабіна вверху, спуск. Динамічні випробування.

$$S_{K6} = S_{K2} + 0.1 \cdot Q \cdot 10^{-2}, [\kappa H]$$

$$S_{II6} = S_{II2}, [\kappa H]$$
(3.44)

$$S_{K6} = 27.7 + 0.1 \cdot 1275 \cdot 10^{-2} = 28.96 [\kappa H]$$

$$S_{II6} = 20.77 [\kappa H]$$
(3.45)

7. Режим опускання неврівноваженого вантажу.

Завантажена кабіна внизу, підйом.

$$S_{K7} = \frac{((Q + Q_K) \cdot 10^{-2} - F_K - F_{\Gamma}) \cdot \eta_B^2}{U_{II}} + Q_{TK} \cdot 10^{-2}, [\kappa H]$$

$$S_{II7} = S_{II3}, [\kappa H]$$
(3.46)

$$S_{K7} = \frac{((1275 + 1270.5) \cdot 10^{-2} - 0.0194 - 0.35) \cdot 1^2}{1} + 183.6 \cdot 10^{-2} = 27.65 \text{ [кН]} \quad (3.47)$$

$$S_{П7} = 20.84 \text{ [кН]}$$

8. Завантажена кабіна вверху, спуск.

$$S_{K8} = \frac{(Q + Q_K + Q_{ПК} + Q_Y) \cdot 10^{-2} \cdot \eta_B^2}{U_{П}}, \text{ [кН]} \quad (3.48)$$

$$S_{П8} = S_{П4}, \text{ [кН]}$$

$$S_{K8} = \frac{(1275 + 1270.5 + 26.1 + 162) \cdot 10^{-2} \cdot 1^2}{1} = 17.33 \text{ [кН]} \quad (3.49)$$

$$S_{П8} = 20.91 \text{ [кН]}$$

9. Порожня кабіна внизу, підйом.

$$S_{K9} = \frac{(Q_K \cdot 10^{-2} + F_K)}{U_{П} \cdot \eta_B^2} + Q_{TK} \cdot 10^{-2}, \text{ [кН]} \quad (3.50)$$

$$S_{П9} = S_{П1}, \text{ [кН]}$$

$$S_{K9} = \frac{(1270.5 \cdot 10^{-2} + 0.0194)}{1 \cdot 1^2} + 183.6 \cdot 10^{-2} = 14.56 \text{ [кН]} \quad (3.51)$$

$$S_{П9} = 20.56 \text{ [кН]}$$

10. Порожня кабіна вверху, спуск.

$$S_{K10} = \frac{(Q_K + Q_{ПК} + Q_Y) \cdot 10^{-2}}{U_{П} \cdot \eta_B^2}, \text{ [кН]} \quad (3.52)$$

$$S_{П10} = S_{П2}, \text{ [кН]}$$

$$S_{K10} = \frac{(1270.5 + 26.1 + 162) \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 1^2} = 14.58 \text{ [кН]} \quad (3.53)$$

$$S_{П10} = 20.77 \text{ [кН]}$$

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

$$S_{K11} = \frac{(2 \cdot Q + Q_K) \cdot 10^{-2}}{U_{П}} + Q_{TK} \cdot 10^{-2}, \text{ [кН]} \quad (3.54)$$

$$S_{П11} = Q_{П} \cdot \frac{10^{-2}}{U_{П}}, \text{ [кН]}$$

$$S_{K11} = \frac{(2 \cdot 1275 + 1270.5) \cdot 10^{-2}}{1} + 183.6 \cdot 10^{-2} = 40 \text{ [кН]} \quad (3.55)$$

$$S_{П11} = Q_{П} \cdot \frac{10^{-2}}{U_{П}} = 1908 \cdot \frac{10^{-2}}{1} = 19.08 \text{ [кН]}$$

### 3.5 Розрахунок співвідношення натягу канатів, консольного та окружного навантаження КВШ

Співвідношення натягів канатів визначається для 11 режимів розглянутих в пункті 3.4 за формулою:

$$\psi_i = \frac{S_{i \max}}{S_{i \min}} \quad (3.56)$$

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

$$\psi_1 = \frac{S_{1 \max}}{S_{1 \min}} = \frac{27.65}{20.56} = 1.34$$

$$\psi_2 = \frac{S_{2 \max}}{S_{2 \min}} = \frac{27.7}{20.77} = 1.33$$

$$\psi_3 = \frac{S_{3 \max}}{S_{3 \min}} = \frac{20.84}{14.51} = 1.43$$

$$\psi_4 = \frac{S_{4 \max}}{S_{4 \min}} = \frac{20.91}{14.56} = 1.43$$

$$\psi_5 = \frac{S_{5 \max}}{S_{5 \min}} = \frac{28.92}{20.56} = 1.40$$

$$\psi_6 = \frac{S_{6 \max}}{S_{6 \min}} = \frac{28.96}{20.77} = 1.39$$

$$\psi_7 = \frac{S_{7 \max}}{S_{7 \min}} = \frac{27.65}{20.84} = 1.32$$

$$\psi_8 = \frac{S_{8 \max}}{S_{8 \min}} = \frac{20.91}{17.33} = 1.2$$

$$\psi_9 = \frac{S_{9 \max}}{S_{9 \min}} = \frac{20.56}{14.56} = 1.41 \quad (3.57)$$

$$\psi_{10} = \frac{S_{10\max}}{S_{10\min}} = \frac{20.77}{14.58} = 1.42$$

$$\psi_{11} = \frac{S_{11\max}}{S_{11\min}} = \frac{40}{19.08} = 2.09$$

Консольне навантаження КВШ також визначається для кожного режиму за формулою:

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

Де  $i$  – порядковий номер режиму.

$$\begin{aligned} P_{K1} &= S_{K1} + S_{P1} = 27.65 + 20.56 = 48.21 \\ P_{K2} &= S_{K2} + S_{P2} = 27.7 + 20.77 = 48.47 \\ P_{K3} &= S_{K3} + S_{P3} = 20.84 + 14.51 = 35.35 \\ P_{K4} &= S_{K4} + S_{P4} = 20.91 + 14.56 = 35.47 \\ P_{K5} &= S_{K5} + S_{P5} = 28.92 + 20.56 = 49.48 \\ P_{K6} &= S_{K6} + S_{P6} = 28.96 + 20.77 = 49.77 \\ P_{K7} &= S_{K7} + S_{P7} = 27.65 + 20.84 = 49.73 \\ P_{K8} &= S_{K8} + S_{P8} = 20.91 + 17.33 = 38.24 \\ P_{K9} &= S_{K9} + S_{P9} = 27.65 + 20.56 = 48.21 \\ P_{K10} &= S_{K10} + S_{P10} = 20.77 + 14.58 = 35.35 \\ P_{K11} &= S_{K11} + S_{P11} = 40 + 19.08 = 59.08 \end{aligned} \tag{3.58}$$

Визначаємо окружне навантаження КВШ для режиму підйому невірноваженого вантажу:

$$P_i = S_{\max} - S_{\min} + 0.02 \cdot S_{\max} \tag{3.59}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= S_{1\max} - S_{1\min} + 0.02 \cdot S_{1\max} = 7.64 \\ P_2 &= S_{2\max} - S_{2\min} + 0.02 \cdot S_{2\max} = 7.48 \\ P_3 &= S_{3\max} - S_{3\min} + 0.02 \cdot S_{3\max} = 6.74 \\ P_4 &= S_{4\max} - S_{4\min} + 0.02 \cdot S_{4\max} = 6.76 \\ P_5 &= S_{5\max} - S_{5\min} + 0.02 \cdot S_{5\max} = 8.93 \\ P_6 &= S_{6\max} - S_{6\min} + 0.02 \cdot S_{6\max} = 8.76 \\ P_7 &= S_{7\max} - S_{7\min} + 0.02 \cdot S_{7\max} = 7.63 \\ P_8 &= S_{8\max} - S_{8\min} + 0.02 \cdot S_{8\max} = 3.99 \\ P_9 &= S_{9\max} - S_{9\min} + 0.02 \cdot S_{9\max} = 7.64 \\ P_{10} &= S_{10\max} - S_{10\min} + 0.02 \cdot S_{10\max} = 6.6 \\ P_{11} &= S_{11\max} - S_{11\min} + 0.02 \cdot S_{11\max} = 21.72 \end{aligned} \tag{3.60}$$

Розрахунок необхідної потужності приводу лебідки:

$$N_{Д} = \frac{P_{\max} \cdot V \cdot U_{II}}{\eta_M} = \frac{7.64 \cdot 1.6 \cdot 1}{0.75} = 16.29 \text{ [кВт]} \quad (3.61)$$

Беручи до уваги коефіцієнт запасу для врахування динамічних навантажень отримаємо:

$$P = K_3 \cdot P_{\max} = 1.2 \cdot 16.29 = 19.5 \text{ [кВт]} \quad (3.62)$$

### 3.6 Кінематика руху ЛПУ та остаточний вибір АД

Враховуючи задану продуктивність ліфта визначимо необхідну кількість включень в годину:

$$K_q = \frac{A}{E} = \frac{571}{17} = 33.6 \left( \frac{\text{вмик}}{\text{год}} \right) \quad (3.63)$$

Приймаємо кількість включень рівну  $K_q = 34$ .

Визначимо час робочого циклу:

$$T_{PII} = \frac{3600}{K_q} = \frac{3600}{34} = 107 \text{ (с)} \quad (3.64)$$

Визначимо час, який затрачається тільки на підйом людей:

$$T_P = \frac{T_{PII} - 2 \cdot T_{II}}{2} = \frac{107 - 16}{2} = 45.5 \text{ (с)} \quad (3.65)$$

Визначимо середню швидкість руху ліфта під час підйому:

$$V_{CP} = \frac{H}{T_P} = \frac{48}{45.5} = 1.05 \text{ (м / с)} \quad (3.66)$$

Тепер визначимо максимальну швидкість руху:

$$V_{MAX} = \alpha \cdot V_{CP} \quad (3.67)$$

Де  $\alpha = (1 \dots 2)$ .

$$V_{MAX} = 1.1 \cdot 1.05 = 1.15 \text{ (м / с)} \quad (3.68)$$

Прийmemo  $\alpha = 1.1$ , тоді:

$$\begin{aligned}
 t_1 = t_3 &= \frac{V_{\max}}{a_1} = \frac{1.16}{0.7} = 1.65 \text{ (с)} \\
 t_2 &= T_p - 2 \cdot t_1 = 45.5 - 3.3 = 42.2 \text{ (с)} \\
 x_1 = x_3 &= \frac{a_1 \cdot t_1^2}{2} = \frac{0.7 \cdot 1.65^2}{2} = 0.95 \text{ (м)} \\
 x_2 &= V_{\max} \cdot t_2 = 1.16 \cdot 42.2 = 48.95 \text{ (м)}
 \end{aligned}
 \tag{3.69}$$

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

$$F_r = G + \alpha \cdot G_H + g_k (H - 2 \cdot x) \pm m \cdot a \tag{3.70}$$

Де  $G$  – вага вантажу в ліфті, Н;

$G_H$  – номінальна вантажопідйомність ліфта, Н;

$\alpha = 0.5$  ;

$g_k$  – вага 1 метру підвісного канату, Н;

$H$  – висота підйому, м;

$x$  – відстань, пройдена кабіною в певний момент часу, м;

Знайдемо навантаження у контрольних точках:

$$\begin{aligned}
 F_0 &= 12495 + 0.5 \cdot 12495 + 29.4(48 - 2 \cdot 0) + 2698 = 22851.7 \text{ (Н)} \\
 F_1 &= 12495 + 0.5 \cdot 12495 + 29.4(48 - 2 \cdot 0.95) + 2698 = 22795.8 \text{ (Н)} \\
 F_2 &= 12495 + 0.5 \cdot 12495 + 29.4(48 - 2 \cdot 0.95) = 20097.8 \text{ (Н)} \\
 F_3 &= 12495 + 0.5 \cdot 12495 + 29.4(48 - 2 \cdot 49.91) = 17219 \text{ (Н)} \\
 F_4 &= 12495 + 0.5 \cdot 12495 + 29.4(48 - 2 \cdot 49.91) - 2698 = 14521 \text{ (Н)} \\
 F_5 &= 12495 + 0.5 \cdot 12495 + 29.4(48 - 2 \cdot 50.86) - 2698 = 14465 \text{ (Н)}
 \end{aligned}
 \tag{3.71}$$

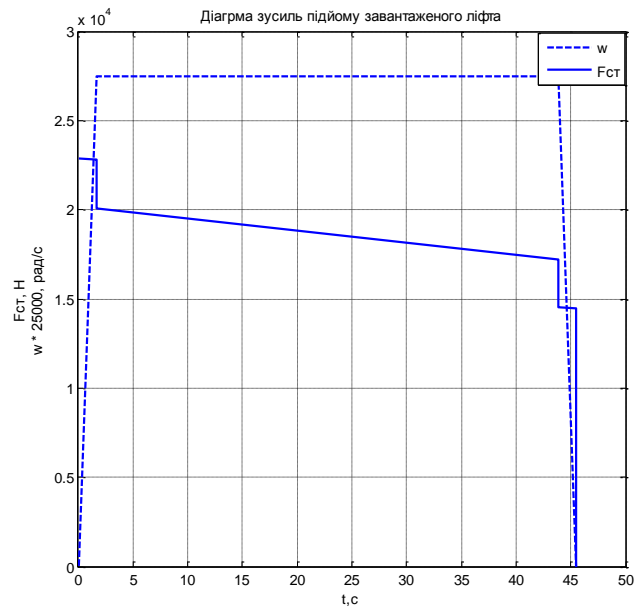


Рисунок 3.3 – Діаграма зусиль при підйомі завантаженого ліфта

## 2. Режим спуску порожнього ліфта ( $G = 0$ ):

$$F = G + \alpha \cdot G_H + g_K (2 \cdot x - H) \pm m \cdot a \quad (3.72)$$

$$F_0 = 0.5 \cdot 12495 + 29.4(0 - 48) + 1423.5 = 6259.8 \quad (H)$$

$$F_1 = 0.5 \cdot 12495 + 29.4(2 \cdot 0.95 - 48) + 1423.5 = 6315.66 \quad (H)$$

$$F_2 = 0.5 \cdot 12495 + 29.4(2 \cdot 0.95 - 48) = 4892.1 \quad (H)$$

$$F_3 = 0.5 \cdot 12495 + 29.4(2 \cdot 49.91 - 48) = 7771 \quad (H)$$

$$F_4 = 0.5 \cdot 12495 + 29.4(2 \cdot 49.91 - 48) - 1423.5 = 6347.5 \quad (H)$$

$$F_5 = 0.5 \cdot 12495 + 29.4(2 \cdot 50.86 - 48) - 1423.5 = 6403.3 \quad (H)$$

(3.73)

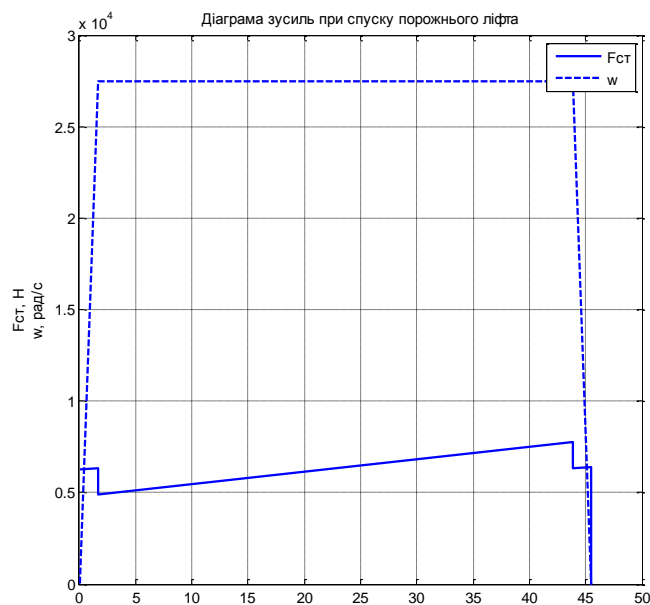


Рисунок 3.6 – Діаграма зусиль при спуску порожнього ліфта

Знайдемо середні значення зусиль:

$$\begin{aligned}
 F_{CP1} &= \frac{F_0 + F_1}{2} = \frac{22851.7 + 22795.8}{2} = 22823.8 \text{ (H)} \\
 F_{CP2} &= \frac{F_2 + F_3}{2} = \frac{20097.8 + 17219}{2} = 18658.4 \text{ (H)} \\
 F_{CP3} &= \frac{F_4 + F_5}{2} = \frac{14521 + 14465}{2} = 14493 \text{ (H)} \\
 F'_{CP1} &= \frac{F'_0 + F'_1}{2} = \frac{6259.8 + 6315.6}{2} = 6287.7 \text{ (H)} \\
 F'_{CP2} &= \frac{F'_2 + F'_3}{2} = \frac{4892.1 + 7771}{2} = 6331.5 \text{ (H)} \\
 F'_{CP3} &= \frac{F'_4 + F'_5}{2} = \frac{6347.5 + 6403.3}{2} = 6375.4 \text{ (H)}
 \end{aligned} \tag{3.74}$$

Знайдемо еквівалентне значення зусиль:

$$\begin{aligned}
 F_{екв} &= \sqrt{\frac{F_{CP1}^2 \cdot t_1 + F_{CP2}^2 \cdot t_2 + F_{CP3}^2 \cdot t_3 + F'_{CP1}^2 \cdot t_1 + F'_{CP2}^2 \cdot t_3 + F'_{CP3}^2 \cdot t_3}{2 \cdot T_p}} = \\
 &= \sqrt{\frac{22823^2 \cdot 1.65 + 18658^2 \cdot 42.2 + 14493^2 \cdot 1.65 + 6287^2 \cdot 1.65 + 6331^2 \cdot 42.2 + 6375.4^2 \cdot 1.65}{2 \cdot 45.5}} = \tag{3.75} \\
 &= 13954 \text{ (H)}
 \end{aligned}$$

Виходячи з цього необхідна потужність двигуна буде наступною:

$$P = \frac{F_{екв} \cdot V_{max}}{\eta_p} = \frac{13954 \cdot 1.15}{0.75} = 21.4 \text{ (кВт)} \tag{3.76}$$

Отже попередній вибір двигуна 4A200M6У3 потужністю 22 кВт підтверджено.

Відповідно до отриманої потужності обираємо електродвигун 4A200M6У3 параметрами, які наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1. – Паспортні дані асинхронного двигуна типу 4А200М6У3

Номінальна потужність	$P_{2n} = 22 (\text{кВт})$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1n} = 380 (\text{В})$
Число пар полюсів	$p_n = 3$
Момент інерції	$J_d = 0,4 (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0,9$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi = 0,9$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 2,4$
Номінальне ковзання	$s_n = 0,023$
Критичне ковзання	$s_k = 0,135$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50 (\text{Гц})$
<b>Параметри Г-подібної схеми заміщення (відносні одиниці)</b>	
Індуктивний опір розсіювання статора	$\overline{x_1'} = 0,11$
Активний опір статора	$\overline{R_1'} = 0,05$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\overline{x_2''} = 0,14$
Приведений активний опір ротора	$\overline{R_2''} = 0,024$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\overline{x_\mu} = 4,1$

### 3.7 Розрахунок номінальних даних двигуна

Кутова частота напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 (\text{рад} / \text{с}). \quad (3.77)$$

Швидкість ідеального холостого ходу двигуна:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n} = \frac{314}{3} = 104,6 (\text{рад} / \text{с}). \quad (3.78)$$

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega_n = \omega_{xx}(1 - s_n) = 104.6(1 - 0,023) = 102.2 \text{ (рад / с)}. \quad (3.79)$$

Номинальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{22000}{102.2} = 215.26 \text{ (Н} \cdot \text{м)}. \quad (3.80)$$

Критичний момент двигуна (по перевантажувальній здатності  $\lambda$  з каталогу):

$$M_k = l \cdot M_n = 2,4 \cdot 215.26 = 516.63 \text{ (Н} \cdot \text{м)}. \quad (3.81)$$

Номинальні діючі значення фазної напруги та струму статора:

$$U_n = U_{1n} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220 \text{ (В)}, \quad (3.82)$$

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{22000}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 41.15 \text{ (А)}. \quad (3.83)$$

Амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$\begin{aligned} U_{na} &= \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ (В)}, \\ I_{na} &= \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 41.15 = 58.19 \text{ (А)}. \end{aligned} \quad (3.84)$$

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

$$\psi_{1xx} = \frac{U_{na}}{\omega_{0n}} = \frac{311}{314} = 0,99 \text{ (Вб)}. \quad (3.85)$$

### 3.8 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення

Математична модель АД отримана для Т-подібної схеми заміщення, що показана на рис. 3.1, в той час як приведені каталожні параметри відповідають Г-подібній схемі заміщення, рис. 3.2. Для перерахунку параметрів з Г-подібної схеми в Т-подібну використовується наступна методика:

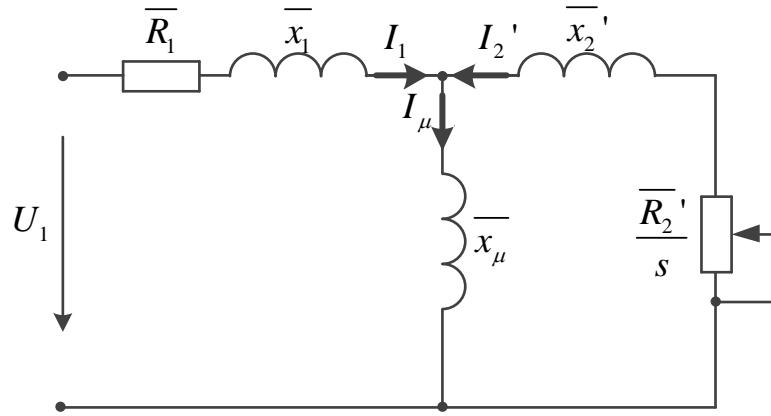


Рисунок 3.7. Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

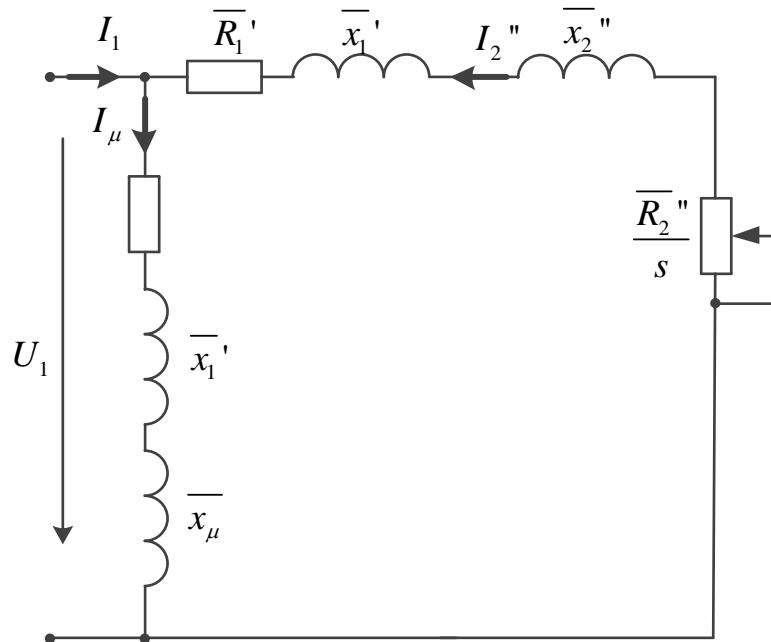


Рисунок 3.8. Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Коефіцієнт перерахунку між Т-подібною та Г-подібною схемами заміщення:

$$c_1 = \frac{\bar{x}_\mu + \sqrt{\bar{x}_\mu^2 + 4 \cdot \bar{x}_1' \cdot \bar{x}_\mu}}{2 \cdot \bar{x}_\mu} = \frac{4,1 + \sqrt{(4,1)^2 + 4 \cdot 0,11 \cdot 4,1}}{2 \cdot 4,1} = 1,026. \quad (3.86)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\bar{x}_1 = \frac{\bar{x}_1'}{c_1} = \frac{0,11}{1,026} = 0,107 \quad (3.87)$$

$$\overline{R_1} = \frac{\overline{R_1'}}{c_1} = \frac{0,05}{1,026} = 0,048 \quad (3.88)$$

$$\overline{x_2'} = \frac{\overline{x_2''}}{c^2} = \frac{0,14}{(1,026)^2} = 0,132 \quad (3.89)$$

$$\overline{R_2'} = \frac{\overline{R_2''}}{c^2} = \frac{0,024}{(1,026)^2} = 0,022. \quad (3.90)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях запишуться:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1' \frac{U_n}{I_n} = 0,107 \cdot \frac{220}{41,15} = 0,572 \text{ (Ом)}, \\ R_1 &= R_1' \frac{U_n}{I_n} = 0,048 \cdot \frac{220}{41,15} = 0,256 \text{ (Ом)}, \\ x_2' &= x_2' \frac{U_n}{I_n} = 0,132 \cdot \frac{220}{41,15} = 0,705 \text{ (Ом)}, \\ R_2 &= R_2' \frac{U_n}{I_n} = 0,022 \cdot \frac{220}{41,15} = 0,117 \text{ (Ом)}, \\ x_\mu &= x_\mu' \frac{U_n}{I_n} = 4,1 \cdot \frac{220}{41,15} = 21,91 \text{ (Ом)}. \end{aligned} \quad (3.91)$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$\begin{aligned} L_{1\sigma} &= \frac{x_1}{\omega_0} = \frac{0,572}{314} = 0,0018 \text{ (Гн)}, \\ L_{2\sigma} &= \frac{x_2'}{\omega_0} = \frac{0,705}{314} = 0,0022 \text{ (Гн)}. \end{aligned} \quad (3.92)$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_0} = \frac{21,91}{314} = 0,069 \text{ (Гн)}. \quad (3.93)$$

Індуктивності статора і ротора:

$$\begin{aligned} L_1 &= L_m + L_{1\sigma} = 0,069 + 0,0018 = 0,0708 \text{ (Гн)}, \\ L_2 &= L_m + L_{2\sigma} = 0,069 + 0,0022 = 0,0712 \text{ (Гн)}. \end{aligned} \quad (3.94)$$

На основі проведених розрахунків обчислюємо значення параметрів

$\alpha, \alpha_1, \beta, \gamma, \sigma, \mu_1$ :

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{0,117}{0,0712} = 1,64 \text{ (Ом / Гн)},$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{0,256}{0,0708} = 3,61 \text{ (Ом / Гн)},$$

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2}\right) = 0,0708 \left(1 - \frac{(0,069)^2}{0,0708 \cdot 0,0712}\right) = 0,0039 \text{ (Гн)},$$

$$\beta = \frac{L_m}{L_2 \cdot \sigma} = \frac{0,069}{0,0712 \cdot 0,0039} = 248,48 \text{ (1 / Гн)},$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot L_m \cdot \beta = \frac{0,256}{0,0039} + 1,64 \cdot 0,069 \cdot 248,48 = 93,75 \text{ (Ом / Гн)},$$

$$\mu_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,069}{0,0712} = 1,45.$$

Таблиця 3.2. Параметри двигуна 4А200М6У3

$P_{2n}, (\text{кВт})$	22	$R_1, (\text{Ом})$	0,256
$\omega_{xx}, (\text{рад / с})$	104.6	$R_2, (\text{Ом})$	0,117
$\omega_n, (\text{рад / с})$	102.2	$L_1, (\text{Гн})$	0,0708
$M_n, (\text{Н} \cdot \text{м})$	215.26	$L_2, (\text{Гн})$	0,0712
$M_k, (\text{Н} \cdot \text{м})$	516.63	$L_m, (\text{Гн})$	0,069
$\lambda$	2,4	$\alpha, (\text{Ом / Гн})$	1,64
$I_{na}, (\text{А})$	58.19	$\alpha_1, (\text{Ом / Гн})$	3,61
$\psi_{1XX}, (\text{Вб})$	0,99	$\sigma, (\text{Гн})$	0,0039
$\eta$	0,9	$\beta, (1 / \text{Гн})$	248,48
$\cos \varphi$	0,9	$\gamma, (\text{Ом / Гн})$	93,75
$J_d, (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$	0,22	$\mu_1$	1,45

### 3.9 Розробка системи керування

На рис 3.4 представлено типову функціональну схему електропривода змінного струму, який оснований на базі перетворювача частоти з ланкою постійного струму. Перетворювач частоти поєднує в собі як перетворювач, так і керуючий пристрій.

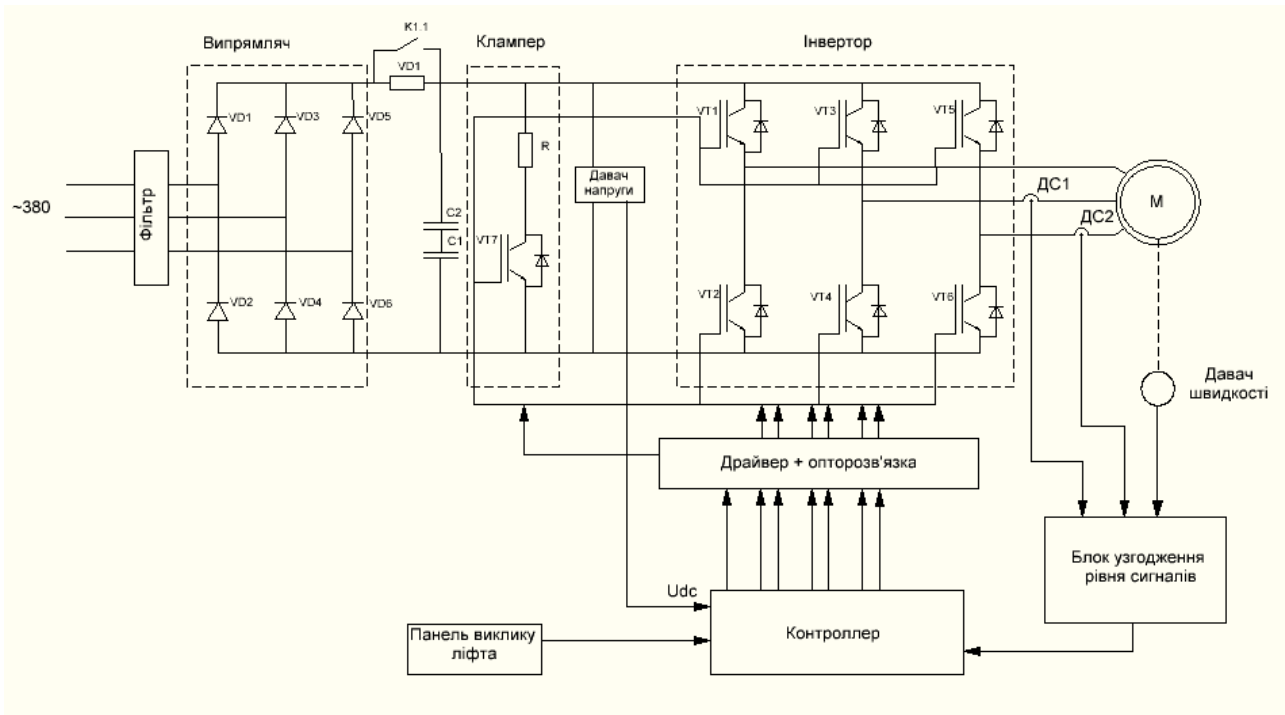


Рисунок 3.9. Функціональна схема асинхронного електропривода

Стандартно перетворювач розділяють на дві основні складові:

1) Силова частина. До неї відносять вхідний фільтр, випрямляч, зарядне коло, клампер, давач напруги ланки постійного струму, інвертор, давачі вихідного струму, блоки драйверів та гальванічної розв'язки.

2) Керуючий контроллер, до якого належать сам цифровий контроллер, а також блок узгодження рівня сигналів.

Фільтр – має дві основні складові: варистори для того щоб не допустити перенапругу в ланці постійного струму через перепади напруги в мережі живлення, а також фільтр радіоперешкод, який перешкоджає розповсюдженню високочастотних радіоперешкод, що з'являються при комутації ключів інвертора.

Випрямляч – його призначення перетворювати змінну напругу від мережі живлення в постійну напругу ланки постійного струму.

С – фільтр, згладжує випрямлену напругу на виході випрямляча.

Зарядне коло (резистор  $R_3$  та реле  $K1$ ) – забезпечують плавний заряд ємності фільтру випрямляча С при подачі живлення на перетворювач. Після закінчення заряду контакт реле  $K1.1$  замикається.

Клампер – призначений для стабілізації напруги в ланці постійного струму при генераторних режимах роботи двигуна, які супроводжуються рекуперацією енергії в ланку постійного струму.

Датчик напруги – призначений для передачі в керуючий контроллер інформації про напругу ланки постійного струму  $U_{dc}$ , де вона використовується для забезпечення захисних функцій, контролю заряду ємності фільтру випрямляча, а також для генерування імпульсів керування ключами інвертора по законам широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

Інвертор – перетворює постійну напругу ланки постійного струму у задану трифазну напругу на виході перетворювача, результуючий вектор якої (усереднений на періоді ШІМ) має заданий модуль, частоту та кутове положення.

Датчики струму ДС1, ДС2 – призначені для передачі в керуючий контроллер інформації про фазні струми двигуна, де вона використовується для організації захисних функцій інвертора та двигуна, а також для організації зворотних зв'язків в системах векторного керування.

Датчик швидкості – призначений для вимірювання контролером кутової швидкості (положення) з метою організації зворотних зв'язків та захисних функцій.

Драйвери – перетворюють параметри імпульсів керування силовими ключами, які надходять від контроллера, з метою забезпечення надійного відкриття та запирання IGBT ключів. Фактично драйвери можна розглядати як підсилювачі сигналів. Досить часто драйвери додатково забезпечують захист від струмів короткого замикання інвертора.

Опторозв'язка – забезпечує гальванічну розв'язку дискретних сигналів керування з метою підвищення завадозахищеності керуючого контролера, а також для запобігання виходу його з ладу при аварійних режимах в силовій частині. Виконується за допомогою оптопар, або оптоволоконних ліній зв'язку у перетворювачах великої потужності.

Керуючий контролер – виконує всі функції автоматизації перетворювача, отримання завдання на регульовані координати, розраховує алгоритм керування двигуном, генерує імпульси керування ключами, реалізує захисні функції, здійснює комунікації з системами верхнього рівня.

Схеми узгодження рівнів сигналів та фільтрації – необхідна для приведення рівнів сигналів, які отримуються від датчиків струму та напруги до рівнів допустимої вхідної напруги аналого-цифрового перетворювача керуючого контролера. Фільтрація може застосовуватися для підвищення завадостійкості системи керування.

Інтерфейс датчика швидкості – дозволяє підключати до контролера фото імпульсні датчики з різними типами апаратних інтерфейсів. Як правило містить гальванічну розв'язку.

Блок живлення – пристрій який забезпечує живлення власних потреб перетворювача: живлення контролера, драйверів, зовнішні +10 В та +24 В, живлення датчиків та ін. В сучасних перетворювачах вхідна напруга для блоку живлення власних потреб береться від ланки постійного струму, що забезпечує безпечну зупинку системи при зникненні напруги мережі живлення.

Зовнішні термінали – служать для підключення до перетворювача дискретних входів/виходів (наприклад сигналів керування перетворювачем «Пуск», «Стоп», «Реверс», інших), аналогових входів/виходів (наприклад завдання швидкості, зворотного зв'язку за технологічним параметром та інших).

Панель оператора – призначена для налаштування параметрів системи, подачі команд перетворювача та завдання на регульовану величину в ручному режимі, спостереження за контрольними величинами та діагностики.

Додаткові входи виходи – призначені для керування додатковими системами, наприклад для включення вентиляторів системи охолодження, контролю спрацювання зарядного реле та ін.

Максимальне значення струму в фазі двигуна визначається перевантажувальною здатністю електроприводу  $k_{ovl}$ , яка, в загальному випадку залежить від конкретного типу механізму і дорівнює орієнтовно  $k_{ovl} = (1.1 \div 1.3)$  для турбомеханізмів,  $k_{ovl} = (1.4 \div 2)$  – для екструдерів, конвеєрів, підйомно-транспортних механізмів,  $k_{ovl} = (2 \div 3)$  – для високо-динамічних застосувань, таких як роботи, приводи подачі та інші.

Прийнявши перевантажувальну здатність для привода ліфта  $k_{ovl} = 1.8$ , розрахуємо максимальний струм на виході перетворювача:

$$I_{max} = k_{ovl} I_{na} = 1.8 \cdot 58.19 = 104.75 \text{ [A]}; \quad (3.95)$$

Напруга на виході випрямляча.  $U_{dcn} = \sqrt{2} U_{grid} \approx 540 \text{ В}$ .

При виборі IGBT для автономних інверторів напруги їх максимально-допустима напруга колектор-емітер має бути мінімум в 1.5 разів вищою, ніж максимальна напруга в ланці постійного струму, тобто  $U_{ce} > 1.5 U_{dcmax}$ .

Максимальна напруга в сучасних перетворювачів визначається допустимою напругою встановлених електролітичних конденсаторів фільтру, і складає приблизно 750 В для перетворювачів з трифазним живленням, і 375 В для перетворювачів з однофазним живленням

Звідси маємо:

$$U_{ce} = 1.5 U_{dcmax} = 1.5 \cdot 750 = 1125 \text{ [В]}; \quad (3.96)$$

IGBT транзистори обираємо за такими параметрами:

$$I_c > I_{max}, U_{cemax} > U_{ce}$$

де  $I_c$  – тривалий струм колектора,  $U_{cemax}$  – напруга колектор-емітер.

Обов'язковою є умова наявності антипаралельного діода, який в більшості

випадків є вбудованим в один корпус із транзистором і не потребує окремого розрахунку. Обираємо в каталозі IGBT модуль M1XA80W1200TEN з параметрами  $U_{ce} = 1200 \text{ В}$ ,  $I_c = 120 \text{ А}$

Ємність випрямляча визначається за формулою:

$$C = \frac{1}{2\pi k_p m f R_0} \quad (3.97)$$

де  $k_p$  – коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги, який для перетворювачів частоти вибирають в діапазоні  $(0.02 \div 0.05)$ ,  $m$  – число фаз випрямляча,  $f$  – частота напруги мережі живлення,  $R_0$  – еквівалентний опір навантаження ланки постійного струму.

Для визначення  $R_0$  розрахуємо значення струму ланки постійного струму з врахуванням перевантаження:

$$I_{dc} = \frac{k_{ovl} P_n}{U_{dcn} \eta \eta_{inv}} = \frac{1.8 \cdot 22000}{540 \cdot 0.9 \cdot 0.96} = 84.87 \text{ [А]} \quad (3.98)$$

де  $\eta_{inv} = (0.95 \div 0.97)$  – коефіцієнт корисної дії інвертора напруги.

Тоді еквівалентний опір навантаження розраховується як

$$R_0 = \frac{U_{dcn}}{I_{dc}} = \frac{540}{84.87} = 6.36 \text{ [Ом]} \quad (3.99)$$

значення ємності фільтра для  $k_p = 0.04$  дорівнює:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 0.04 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 6.36} = 417 \text{ [мкФ]} \quad (3.100)$$

Вибираємо по каталогу конденсатори типу MAL209334271E3 (VISHAY) ємністю  $C_c = 910 \text{ мкФ}$  та максимальною напругою 250 В. Потрібна ємність

та робоча напруга фільтру досягається послідовним включенням двох конденсаторів.

Вибір датчиків струму здійснюють за максимальний струмом, який необхідно вимірювати, тобто щоб вимірюваний діапазон датчика був більшим від максимально допустимого струму в системі. Для вимірювання струмів на виході перетворювача для вибору використовують значення максимального струму.

Якщо для керування координатами двигуна використовуються методи, які не потребують організації зворотних зв'язків за струмом, а вимірювання струму здійснюється лише для захисту системи, то для здешевлення перетворювача датчики на виході інвертора можна не встановлювати і обмежитися лише датчиком струму в ланці постійного струму.

В нашому випадку максимальний струм на виході перетворювача:

$$I_{\max} = k_{\text{ovl}} I_{\text{na}} = 1.8 \cdot 48.15 = 86.67 [\text{A}] \quad (3.101)$$

Тоді по каталогу обираємо датчик TLI4970D050T4XUMA1 (INFIN), який розрахований на вхідний струм до 100 А.

В документах на датчик зазначено, що максимальний струм первинного кола  $I_{\text{p max}} = 14$  мА. Тому значення опору резистора R1 дорівнює:

$$R_1 = \frac{U_{\text{dc max}}}{I_{\text{p max}}} = \frac{750}{0.014} = 53571 [\text{Ом}] \quad (3.102)$$

Зі стандартного ряду резисторів вибираємо R1=56 кОм.

Виберемо абсолютний енкодер АМТ232В-V з розподільчою здатністю 16384 імпульсу на оберт з каталогу . Він буде забезпечувати зворотній зв'язок за швидкістю.

Нижче наведемо таблиці з параметрами обраних компонентів.

У табл. 4.1 наведено основні параметри IGBT модулю PS22054, який було обрано для силової частини перетворювача .

Таблиця 4.1 – Основні параметри IGBT модулю STGW20IH125DF (ST)

Параметр	Значення
Напруга колектор-емітер $U_{ce}$	1250 В
Струм $I_c$	40 А

У табл. 5.2 наведено основні параметри конденсатору типу CD60, який було обрано за каталогом [20].

Таблиця 4.2 – Основні параметри конденсатору типу MAL209334271E3 (VISHAY)

Ємність $C$	910 мкФ
Максимальне значення напруги $U$	420 В
Робоча температура $T_{sgr}$	Від -40 до 85 $C^{\circ}$

У табл. 4.3 наведено основні параметри датчика типу LV-25NP, який було обрано для побудови каналу вимірювання напруги

Таблиця 4.3 – Основні параметри датчика типу LV-25NP

Параметр	Значення
Струм первинного кола $I_{p \max}$	14 мА
Напруга живлення $U$	+ -12...15 В
Робоча температура $T_{sgr}$	Від -25 до 95 $C^{\circ}$

У табл. 4.4 наведено основні параметри абсолютного енкодера типу АМТ232В-V.

Таблиця 4.4 – Основні параметри абсолютного енкодера типу АМТ232В-V

Параметр	Значення
Розподільча здатність	16384 імп/об
Напруга живлення $U$	+ -3.8...5.8 В
Робоча температура $T_{sgr}$	Від -40 до 105 $C^{\circ}$

Вибираючи перетворювач частоти необхідно звернути увагу на величину споживаного електричного струму двигуном, оскільки потужність двигуна визначається максимальним струмом. Беручи до уваги факт, що режим роботи двигуна є досить важким, має невеликий час для розгону, то можуть траплятися ситуації, коли двигун зазнає значних перевантажень. Через це можливе виникнення значень струму вище номінального рівня. Перетворювач частоти

повинен підтримувати векторний метод керування оскільки він є незамінним у випадках, де необхідна висока швидкодія системи на зміну навантаження .

На основі розрахунків наведених вище, обираємо перетворювач частоти фірми АВВ типу ACS550-02-602А-4 [16] з паспортними даними, які приведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 [15] – Паспортні данні перетворювача частоти ACS550-01-059А-4

Виробник	АВВ
Серія	ACS 550
Потужність	30 кВт
Число фаз/напруга на вході	3-ф/380 В
Число фаз/напруга на виході	3-ф/380 В
Номінальний струм	59 А
ККД перетворювача	98.5%
Векторний режим керування з енкодером	ОТАС-01
Векторний режим керування без енкодера	Так

### Висновки до розділу 3

1. В даному розділі бакалаврської роботи було виконано здійснено розрахунок силової частини ліфтової підйомної установки, розрахунок кінематики та динаміки ЛПУ, на основі якого було обрано електродвигун серії 4А200М6У3 потужністю 22 кВт. Була наведена функціональна схема електропривода та обрані елементи що входять до неї, IGBT-транзистори, конденсатори, а також перетворювач частоти компанії АВВ ACS550-01-059А-4 .

2. Отримані результати дають можливість сформувати математичну модель електромеханічної системи.



## 4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА СТРУКТУРНА СХЕМА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Функціональна схема електромеханічної системи ліфтової підйомної установки наведена на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Функціональна схема ліфтової підйомної установки

Позначення на схемі: ЗІ – задатчик інтенсивності; РШ – регулятор швидкості; АД – асинхронний двигун.

### 4.1 Математична модель електропривода

Векторне керування – це один з найбільш поширених методів керування асинхронними двигунами. Дозволяє формувати не лише струми і напруги фаз, а й безпосередньо керувати магнітним потоком двигуна.

Для моделювання систем керування АД прийнято використовувати математичну модель, яка записується в стаціонарній системі координат (а – b):

$$\begin{aligned}\dot{\omega} &= \frac{1}{J}(M - M_c) - v\omega, & M &= \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_2} p_n (\psi_{2a} i_{1b} - \psi_{2b} i_{1a}), \\ \dot{i}_{1a} &= -\gamma i_{1a} + \alpha \beta \psi_{2a} + \beta p_n \omega \psi_{2b} + \frac{1}{\sigma} u_{1a}, \\ \dot{i}_{1b} &= -\gamma i_{1b} + \alpha \beta \psi_{2b} - \beta p_n \omega \psi_{2a} + \frac{1}{\sigma} u_{1b}, \\ \dot{\psi}_{2a} &= -\alpha \psi_{2a} - p_n \omega \psi_{2b} + \alpha L_m i_{1a}, \\ \dot{\psi}_{2b} &= -\alpha \psi_{2b} + p_n \omega \psi_{2a} + \alpha L_m i_{1b},\end{aligned}$$

де  $\omega$  – кутова швидкість ротора,  $(i_{1a}, i_{1b})^T$  – компоненти вектора струму статора в системі координат (a – b),  $(\psi_{2a}, \psi_{2b})^T$  – компоненти вектора потокозчеплень ротора,  $(u_{1a}, u_{1b})^T$  – компоненти вектора напруги статора,  $M_c$  – момент навантаження,  $v$  – коефіцієнт в'язкого тертя. Додатні константи, що відносяться до електричних і механічних параметрів АД, визначені в такий спосіб

$$\sigma = L_1 \left( 1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right), \quad \beta = \frac{L_m}{\sigma L_2}, \quad \mu = \frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{J L_2}, \quad \alpha = \frac{R_2}{L_2}, \quad \gamma = \left( \frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta \right)$$

де  $J$  – повний момент інерції ротора,  $R_1, R_2, L_1, L_2$  – опори й індуктивності статора і ротора відповідно,  $L_m$  – індуктивність намагнічуючого контуру,  $p_n$  – число пар полюсів.

Алгоритми векторного керування записаний в синхронній системі координат ( $d - q$ ), що обертається відносно стаціонарної системи координат (a-b) зі швидкістю  $\omega^0$ , представлено на рис. 4.2.

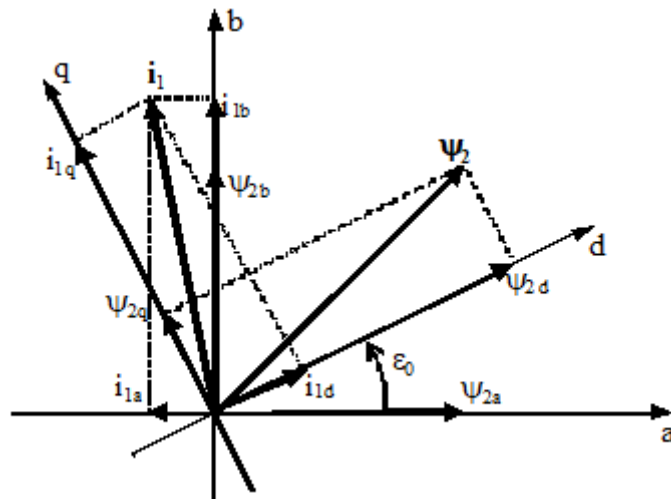


Рисунок 4.2 - Розташування векторів АД у просторі

Перетворення координат визначаються [21]:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{dq} &= \mathbf{e}^{-j\varepsilon_0} \mathbf{x}_{ab} \\ \mathbf{x}_{ab} &= \mathbf{e}^{j\varepsilon_0} \mathbf{x}_{dq} \end{aligned} \quad \text{де} \quad \mathbf{e}^{-j\varepsilon_0} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_0 & \sin \varepsilon_0 \\ -\sin \varepsilon_0 & \cos \varepsilon_0 \end{bmatrix}$$

де  $\mathbf{x}_{yz}$  позначає двовимірний вектор напруги, потоку і струму статора,  $\varepsilon_0$  – кутове положення системи координат ( $d - q$ ) відносно стаціонарної ( $a - b$ ) [21].

Повний алгоритм прямого векторного керування АД з використанням замкненого спостерігача магнітного потоку пониженого порядку містить [21]:

Спостерігач магнітного потоку АД:

$$\begin{aligned} \dot{|\hat{\psi}|} &= -\alpha |\hat{\psi}| + \alpha L_m i_{1d}, \\ \dot{\varepsilon}_0 &= \omega_0 = \omega + \alpha L_m \frac{i_{1q}}{|\hat{\psi}|} \end{aligned}$$

Регулятор магнітного потоку:

$$i_{1d}^* = \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \psi^* + \dot{\psi}^* - k_\psi \tilde{\psi} - x_\psi),$$

$$\dot{x}_\psi = k_{\psi i} \tilde{\psi},$$

Регулятор струму по осі d :

$$u_{1d} = \sigma (\gamma i_{1d}^* - \omega_0 i_{1q} - \alpha \beta |\hat{\psi}| + \dot{i}_{1d}^* - k_{id} \tilde{i}_d - x_d),$$

$$\dot{x}_d = k_{ii} \tilde{i}_d, \text{ де}$$

$$\dot{i}_{1d}^* = \frac{1}{\alpha L_m} \{ \alpha \dot{\psi}^* + \ddot{\psi}^* - k_\psi [ -(\alpha + k_\psi) \tilde{\psi} + \alpha L_m \tilde{i}_d - x_\psi ] - \dot{x}_\psi \}$$

Регулятор швидкості:

$$i_{1q}^* = \frac{1}{\mu \psi^*} (-k_\omega \tilde{\omega} + \hat{M}_c + \dot{\omega}^*)$$

$$\dot{\hat{M}}_c = -k_{\omega i} \tilde{\omega}$$

Регулятор струму по осі q :

$$u_{1q} = \sigma \left[ \gamma i_{1q}^* + \omega_0 i_{1d} + \beta \omega \psi^* + \dot{i}_{1q}^* - k_{iq} \tilde{i}_q - \frac{1}{\psi^*} (\dot{\psi}^* \tilde{i}_q + \zeta) \right]$$

$$\dot{\zeta} = k_{\eta i} (\psi^* \tilde{i}_q)$$

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

Реальні напруги, що прикладаються до обмоток статора двигуна, дорівнюють]:

$$\begin{pmatrix} u_{1a} \\ u_{1b} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_0 & -\sin \varepsilon_0 \\ \sin \varepsilon_0 & \cos \varepsilon_0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u_{1d} \\ u_{1q} \end{pmatrix}$$

Структурна схема алгоритму прямого векторного керування буде зображена на рис. 4.3 .

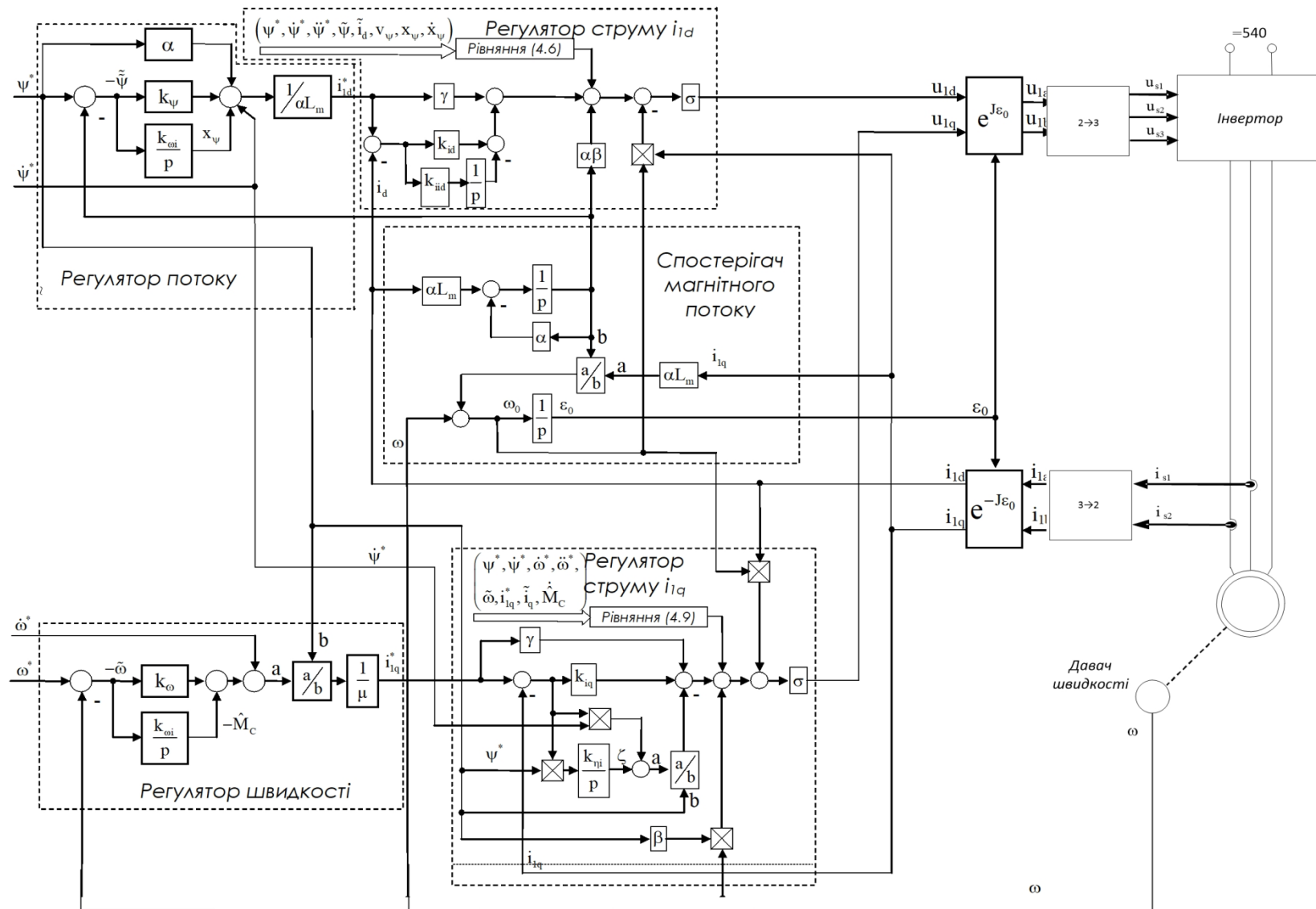


Рисунок 4.3 - Структурна схема алгоритму прямого векторного керування

## 4.2 Синтез регулятора швидкості

Передатна функція регульованого двигуна може бути записана у вигляді аперіодичної ланки:

$$W(p) = \frac{M_d}{\omega_0 - \omega} = \frac{\beta}{T_\omega \cdot p + 1} \quad (4.1)$$

$\beta$  - жорсткість;

$T_\omega$  - електромагнітна стала часу двигуна.

В даному випадку вихідною координатою є момент на валу двигуна, тобто двигун розглядається в якості джерела моменту. У цьому випадку момент інерції самого двигуна доцільно віднести до передавального пристрою ЕП. Це дозволяє забезпечити зручність в узгодженні математичної моделі двигуна і технологічного об'єкта, особливо для багатомасового ЕМС. Якщо доповнити передаточну функцію двигуна ланкою, пов'язуючим керуючим впливом, в нашому випадку частоту, з різницею, а також передатної функції механічної частини у вигляді одномасової схеми, то отримаємо структурну схему асинхронного двигуна. А при доповненні цієї схеми передатною функцією перетворювача частоти яка може бути представлена у вигляді:

$$W_{пч}(p) = \frac{K_{пч}}{T_\mu \cdot p + 1} \quad (4.2)$$

То отримаємо структурну схему об'єкта регулювання контуру швидкості, а саме (Рисунок 4.1)

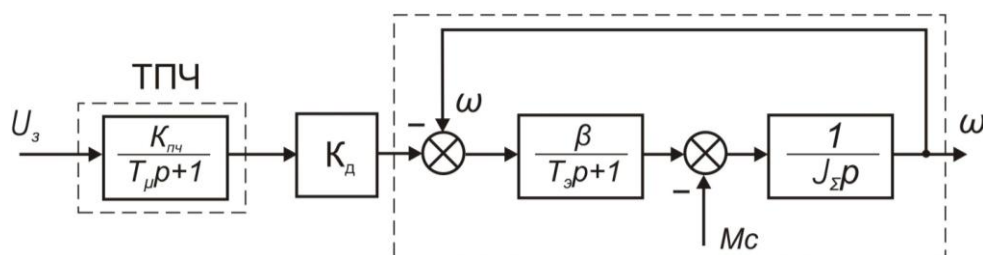


Рисунок 4.4- Структурна схема об'єкта регулювання

Розрахуємо параметри передатних функцій даної структурної схеми.

Передатна функція ПЧ :

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{K_{ПЧ}}{T_{\mu} \cdot p + 1} = \frac{5}{0,01 \cdot p + 1} \quad (4.3)$$

$$K_{ПЧ} = \frac{f_H}{U_3} = \frac{50}{10} = 5 \text{ - коефіцієнт підсилення ПЧ}$$

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

Інші параметри схеми:

$\omega_0$  - номінальна швидкість ідеального холостого ходу;

$p$  - кількість пар полюсів обмотки статора;

$T_e$  - електромагнітна стала часу двигуна;

$\omega_H$  - номінальна швидкість двигуна;

$M_H$  - номінальний момент двигуна;

$\beta$  - модуль статичної жорсткості;

$J_M$  - момент інерції механізму;

$J_{\Sigma}$  - сумарний момент інерції;

$T_M$  - Електромеханічна стала двигуна;

$M_C$  - Момент навантаження;

$K_D$  - Коефіцієнт передачі двигуна.

Ці параметри можна визначити по наступних співвідношеннях, параметри  $\omega_0$ ,  $\omega_H$  та  $M_H$  розраховані у попередньому пункті 3.2 :

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0C} \cdot S_{KH}} = \frac{1}{314 \cdot 0.135} = 0.023; \quad (4.4)$$

$$\beta = \frac{M_H}{\omega_C - \omega_H} = \frac{215.26}{104.6 - 102.2} = 89.69 \text{ Нм} \cdot \text{с}; \quad (4.5)$$

$$J_{\Sigma} = J_{ДВ} + J_{РЕД} + J'_{КАБ} + J'_{ВАНТ} \quad (4.6)$$

Визначимо радіус приведення та приведемо моменти інерції:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{R_{III}}{i_P} = \frac{1.15}{40} = 0.029 \text{ (м)} \\
 J'_{КАБ} &= m_{КАБ} \cdot r^2 = 1270.5 \times 0.029^2 = 1.07 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \\
 J'_{ВАНТ} &= m_{ВАНТ} \cdot r^2 = 1275 \times 0.029^2 = 1.07 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \\
 J_{РЕД} &= 0.3 \cdot J_{ДВ} = 0.3 \times 0.4 = 0.12 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \\
 J_{ДВ} &= 0.4 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2)
 \end{aligned}
 \tag{4.7}$$

Тепер можемо визначити сумарний момент інерції системи:

$$J_{\Sigma} = 0.4 + 0.17 + 0.99 + 0.99 = 2.66 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \tag{4.8}$$

$$T_M = \frac{J_{\Sigma}}{\beta} = \frac{2.66}{89.69} = 0.029 \text{ с}; \tag{4.9}$$

$$K_D = \frac{2 \cdot \pi}{p} = \frac{2 \cdot 3.14}{3} = 2.09 \tag{4.10}$$

З метою отримання необхідних динамічних властивостей системи використовуємо контур регулювання із зворотним зв'язком по швидкості. Коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості:

$$K_{\omega} = \frac{U_3}{1.3 \cdot \omega_H} = \frac{10}{1.3 \cdot 104.6} = 0.073 \text{ В} \cdot \text{с} \tag{4.11}$$

Таким чином, узагальнена структурна схема ПЧ-АД має такий вигляд

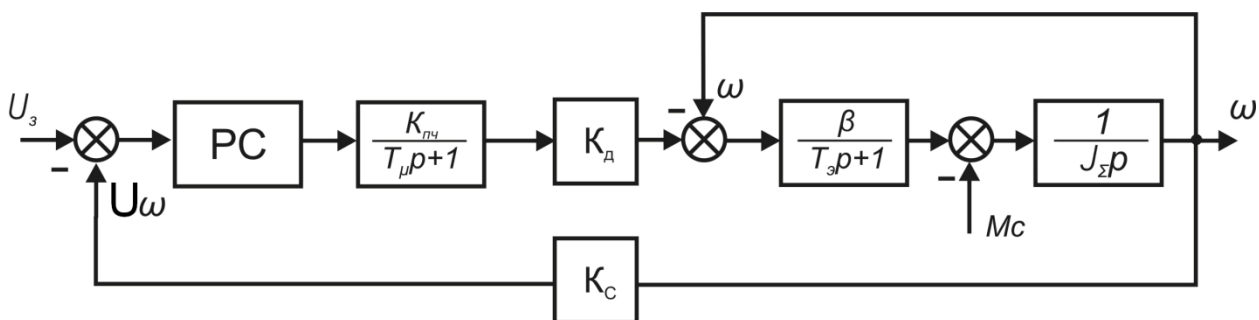


Рисунок 4.5- Структурна схема частотного регулювання

Передаточна функція двигуна буде мати вигляд :

$$\begin{aligned}
 W_d(p) &= \frac{\beta \cdot K_d}{1 + \frac{J_\Sigma \cdot p \cdot (T_\Omega \cdot p + 1)}{\beta}} = \frac{\beta \cdot K_d}{J_\Sigma \cdot T_\Omega \cdot p^2 + J_\Sigma \cdot p + \beta} = \\
 &= \frac{K_d}{T_M \cdot T_\Omega \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1} = \frac{2.09}{0.023 \cdot 0.029 \cdot p^2 + 0.029 \cdot p + 1} = \\
 &= \frac{2.09}{0.00067 \cdot p^2 + 0.29 \cdot p + 1}
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

Структурна схема регулювання контуру швидкості (Рисунок 3.3) виглядає наступним чином :

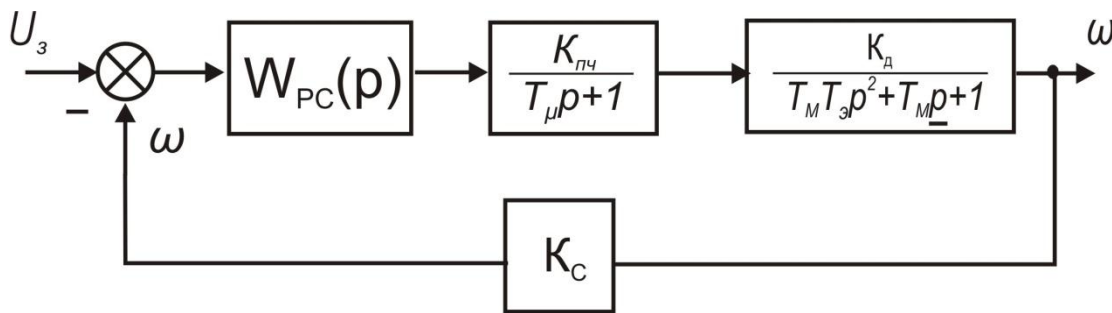


Рисунок 4.6 - Структурна схема регулювання контуру швидкості

Звідси передатна функція об'єкта регулювання за швидкістю буде:

$$\begin{aligned}
 W_{OPШ}(p) &= \frac{K_{ПЧ} \cdot K_d}{(T_\mu \cdot p + 1) \cdot (T_M \cdot T_\Omega \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1)} = \\
 &= \frac{5 \cdot 2.09}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0.025 \cdot 0.03 \cdot p^2 + 0.03 \cdot p + 1)} = \\
 &= \frac{10.45}{(0,01 \cdot p + 1) \cdot (0.00067 p^2 + 0.029 \cdot p + 1)}.
 \end{aligned} \tag{4.13}$$

Регулятор швидкості будемо вибирати з наступних міркувань. Прийmemo, що передатна функція об'єкта регулювання має вигляд:

$$W_{OP\emptyset}(p) = \frac{K_1 \cdot K_2 \dots K_n}{\prod_1^m (T_i \cdot p + 1)} \tag{4.14}$$

$T_i$  - стала часу об'єкта регулювання.

Користуючись співвідношенням:

$$X_i \cdot W_i \cdot \frac{1}{W_i} = X_i$$

Можна компенсувати постійні часу, виключивши їх з розімкнутого контуру регулювання. Аналогічним шляхом можна виключити з розімкнутого контуру регулювання всі коефіцієнти  $K_1 \cdot K_2 \dots K_n$ , а для усунення статичної помилки ввести в нього інтегральний елемент з постійною часу.

Таким чином, вихідний розімкнутий контур регулювання вдається замінити бажаним контуром, які мають загальний коефіцієнт посилення, рівний одиниці (зворотний зв'язок представляється одиничним). Але що володіє астатизмом першого порядку і забезпечує високу швидкодію завдяки незначними постійних часу, що залишилися не скомпенсованими.

$$W_{PA3C}(p) = W_{OPC}(p) \cdot W_{PC}(p) = \frac{1}{T_o p \cdot \prod_{i+1} (T_i p + 1)} \quad (4.15)$$

де  $i$ - число постійних, компенсованих регулятором.

$$W_{PC}(p) = \frac{W_{PA3C}(p)}{W_{OPC}(p)} = \frac{T_M \cdot T_{\Delta} \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1}{T_U \cdot p} = \frac{0,00067 \cdot p^2 + 0,029 \cdot p + 1}{0,045 \cdot p} \quad (4.16)$$

$$\text{де} \quad T_U = a_c \cdot K_{\omega} \cdot K_{ПЧ} \cdot K_{Д} \cdot T_M = 2 \cdot 0,073 \cdot 5 \cdot 2,09 \cdot 0,03 = 0,045 \text{ с} \quad (4.17)$$

$a_c$ - коефіцієнт демпфування, дане значення відповідає оптимальному за швидкодією перехідному процесу.

Підставимо значення, отримаємо:

$$W_{PC}(p) = 0.015 \cdot p + 0.666 + \frac{1}{0.045 p}. \quad (4.18)$$

#### **Висновки до розділу 4**

1. В даному розділі бакалаврської роботи була представлена математична модель асинхронного двигуна, структурна схема алгоритму прямого векторного керування та виконано синтез регулятора швидкості.
2. Представлені математичні моделі елементів електромеханічної системи та структурна схема алгоритму керування дозволяють розробити модель для дослідження статичних та динамічних режимів підйомної установки в програмному середовищі MATLAB "Simulink".

## 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ СИСТЕМИ ЛІФТОВОЇ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ

На підставі отриманих у розділі 4 математичної моделі та структурної схеми ліфтової підйомної установки за допомогою пакета програми MATLAB “Simulink”, розроблена модель для дослідження статичних та динамічних режимів даної установки, загальна схема якої представлена на рисунку 5.1

### 5.1. Розробка моделі для дослідження динамічних режимів системи

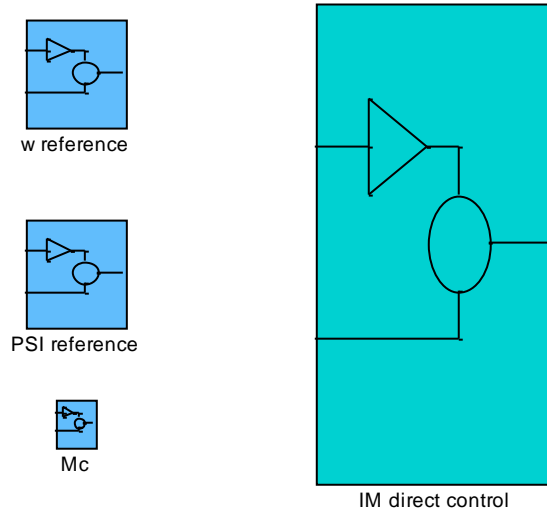


Рисунок 5.1. Загальна схема моделі.

На рисунку 5.2 представлений вигляд блоку IM direct control

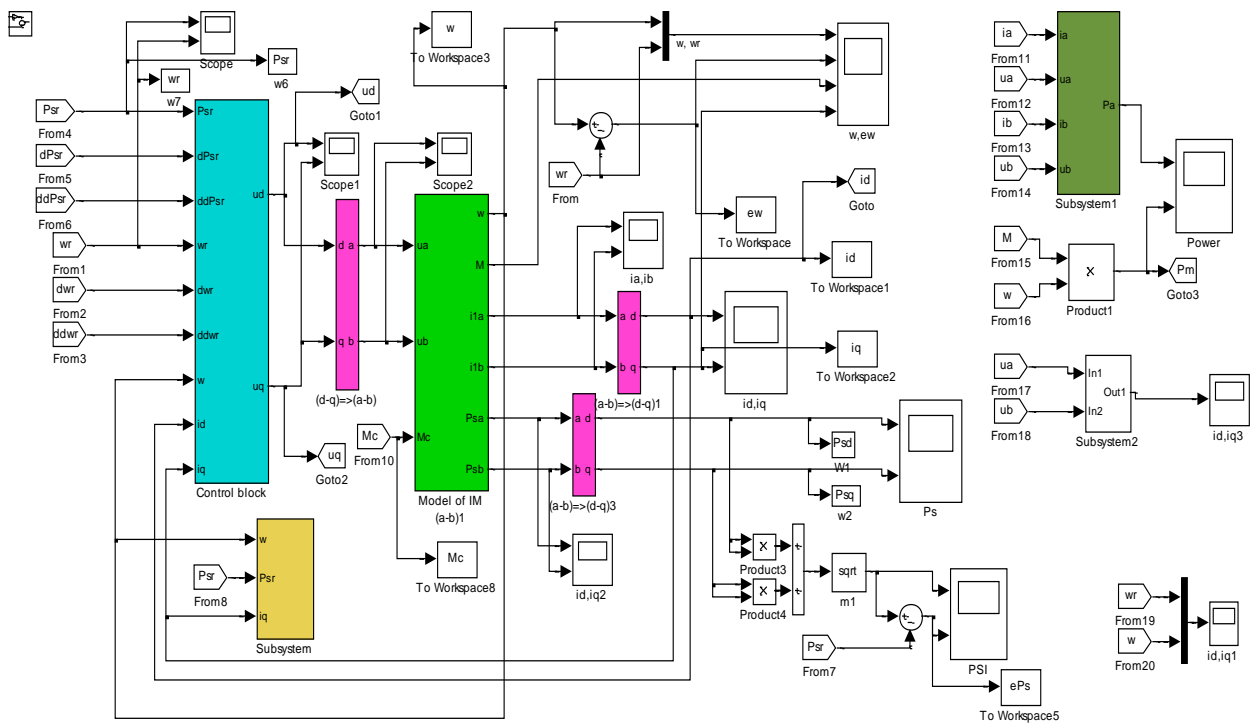


Рисунок 5.2. Вигляд блоку IM direct control

Для моделювання даної системи розрахуємо коефіцієнти регуляторів:

Некомпенсована стала часу [22]:

$$\tau_{\mu} = T_{ш} + 0,5T_p + 0,5T_{\phi} = 2,5 \cdot 10^{-4} + 0,5 \cdot 6,66 \cdot 10^{-9} = 0,00025 \text{ (с)} \quad (5.1)$$

де  $T_{ш}$  – стала часу ШІМ[23];

$$T_{ш} = \frac{1}{f_{ш\text{ім}}} = \frac{1}{4000} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ (с)} \quad (5.2)$$

де  $T_p$  – розрахункова стала часу[23];

$$T_p = \frac{1}{f_k} = \frac{1}{150000000} = 6,666 \cdot 10^{-9} \text{ (с)}, \quad (5.3)$$

$$\tau_{\mu}^{-1} = \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-4}} = 4000 \text{ (с)} \quad (5.4)$$

Якщо апроксимувати не модельовану динаміку в контурі регулювання струму, то  $\omega_{\mu} = \tau_{\mu}^{-1} = 4000$  [23].

$$\omega_{\mu} > (5 - 6)\omega_{oi} \quad (5.5)$$

де  $\omega_{oi} \approx 800$  – полоса пропускання в контурі регулювання струму[21];

$$k_i = 2\xi\omega_{oi} = 2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 800 = 1131,37 \approx 1150, \quad (5.6)$$

$$k_{ii} = \frac{k_i^2}{2} = \frac{1150^2}{2} = 661250 \quad (5.7)$$

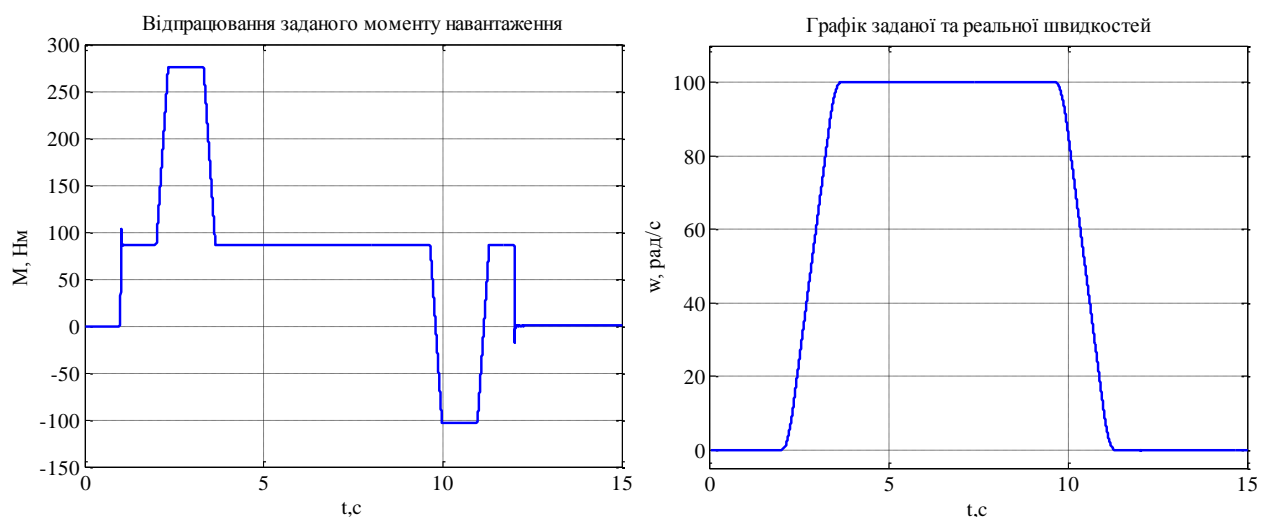
Так як контур потокозчеплення повинен бути максимально швидкодіючим, то  $\omega_{oi} \approx \omega_{o\psi}$ . Тоді:  $k_{\psi} = k_i = 1150, k_{\psi i} = 661250$  [21].

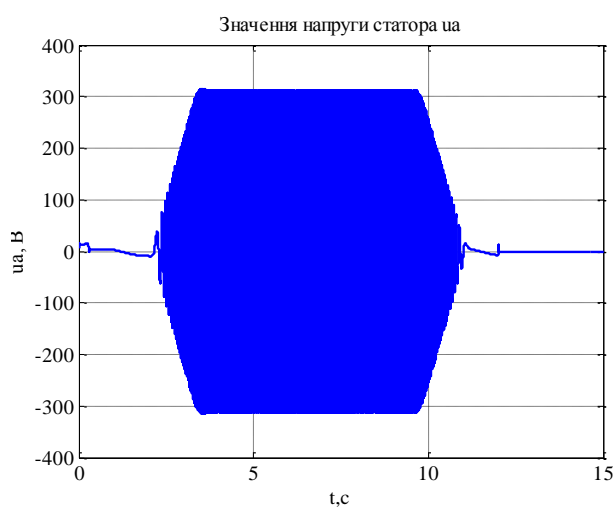
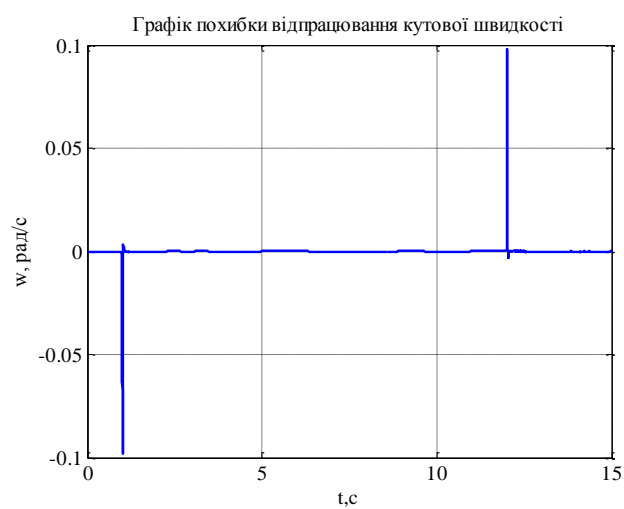
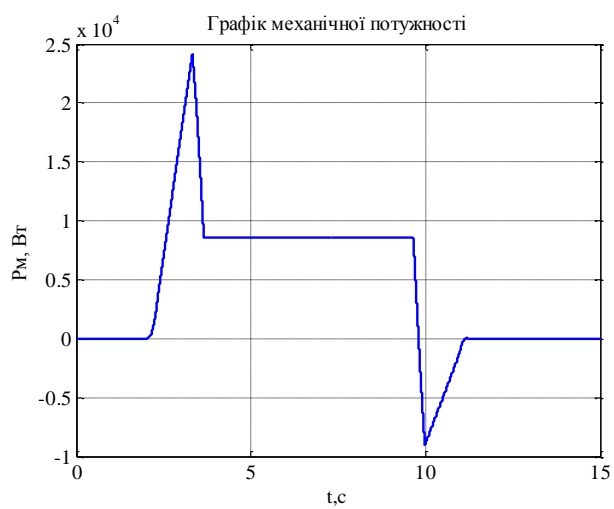
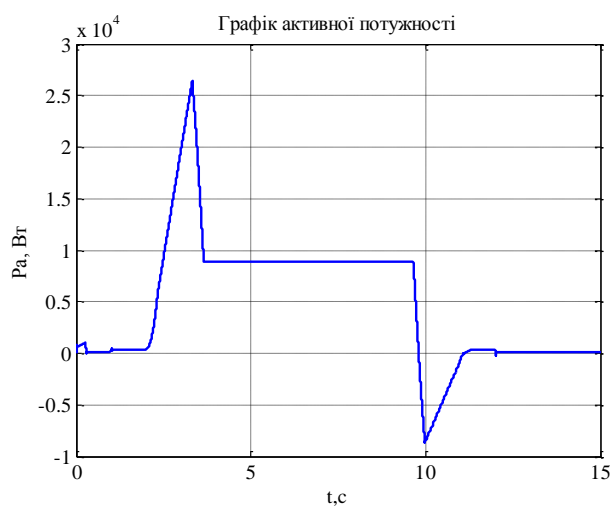
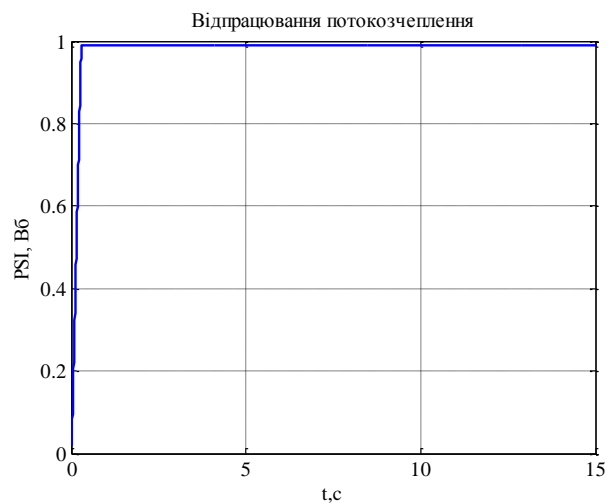
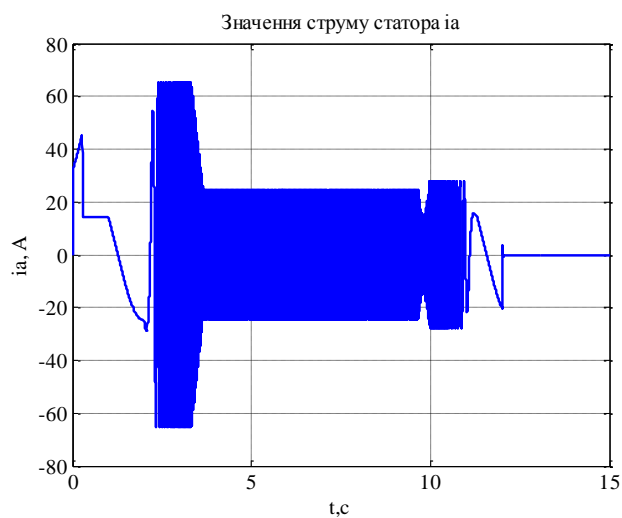
## 5.2. Дослідження динамічних режимів роботи установки

Оскільки ліфтові підйомні установки характеризуються широким спектром зміни навантажень, то дуже важливо оцінити вплив завантаженості кабіни ліфта на якість перехідних процесів в електромеханічній системі.

З цією метою проведено дослідження для випадків  $M=0.4M_H$ ,  $M=M_H$  та  $M=1.2M_H$ .

Результати досліджень представлені на рис. 5.3 – 5.5.





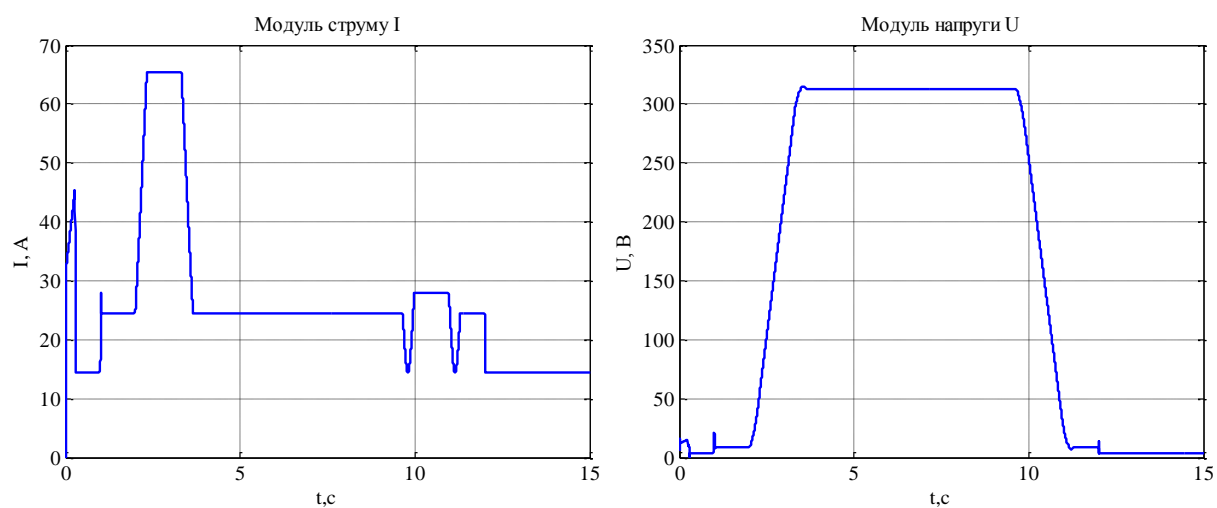
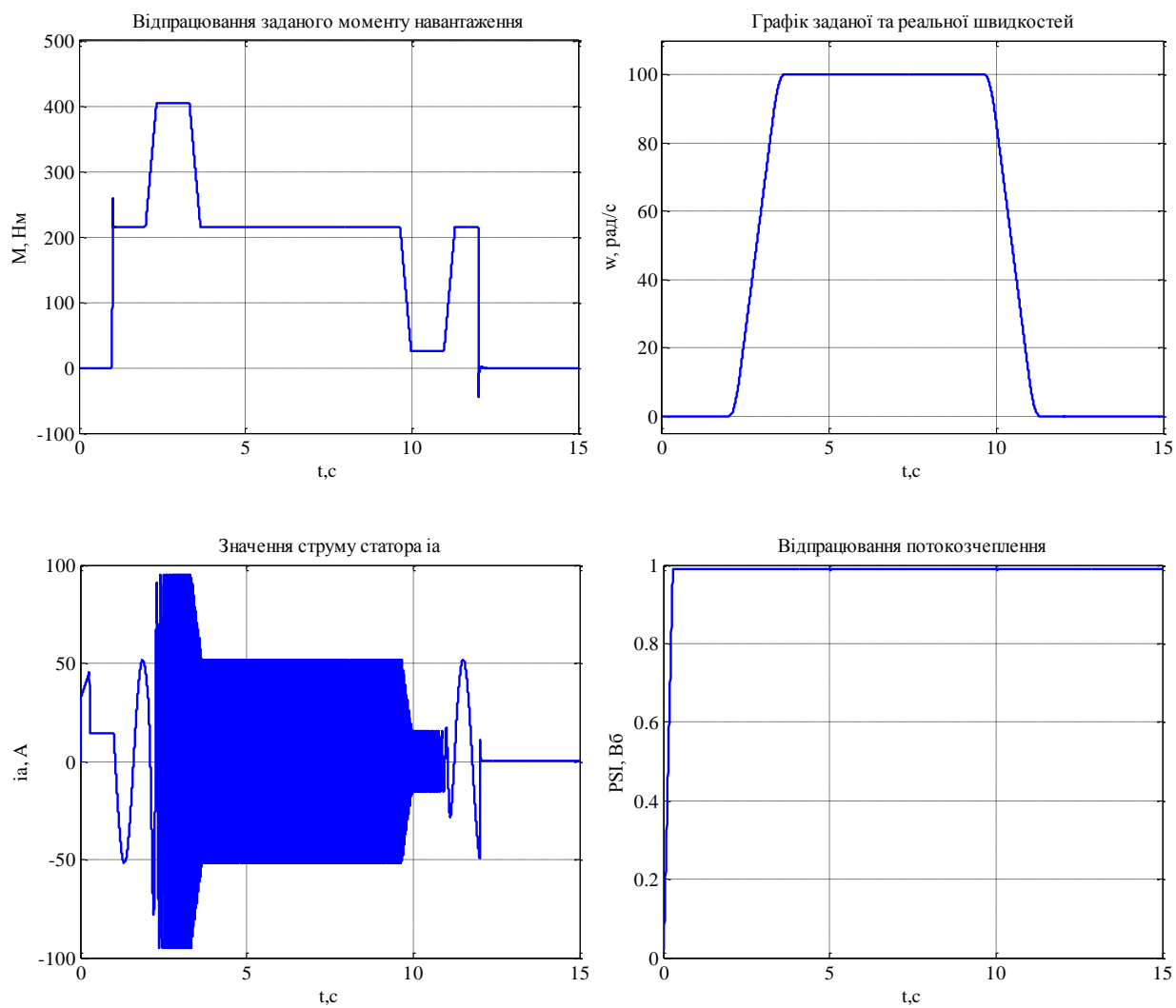
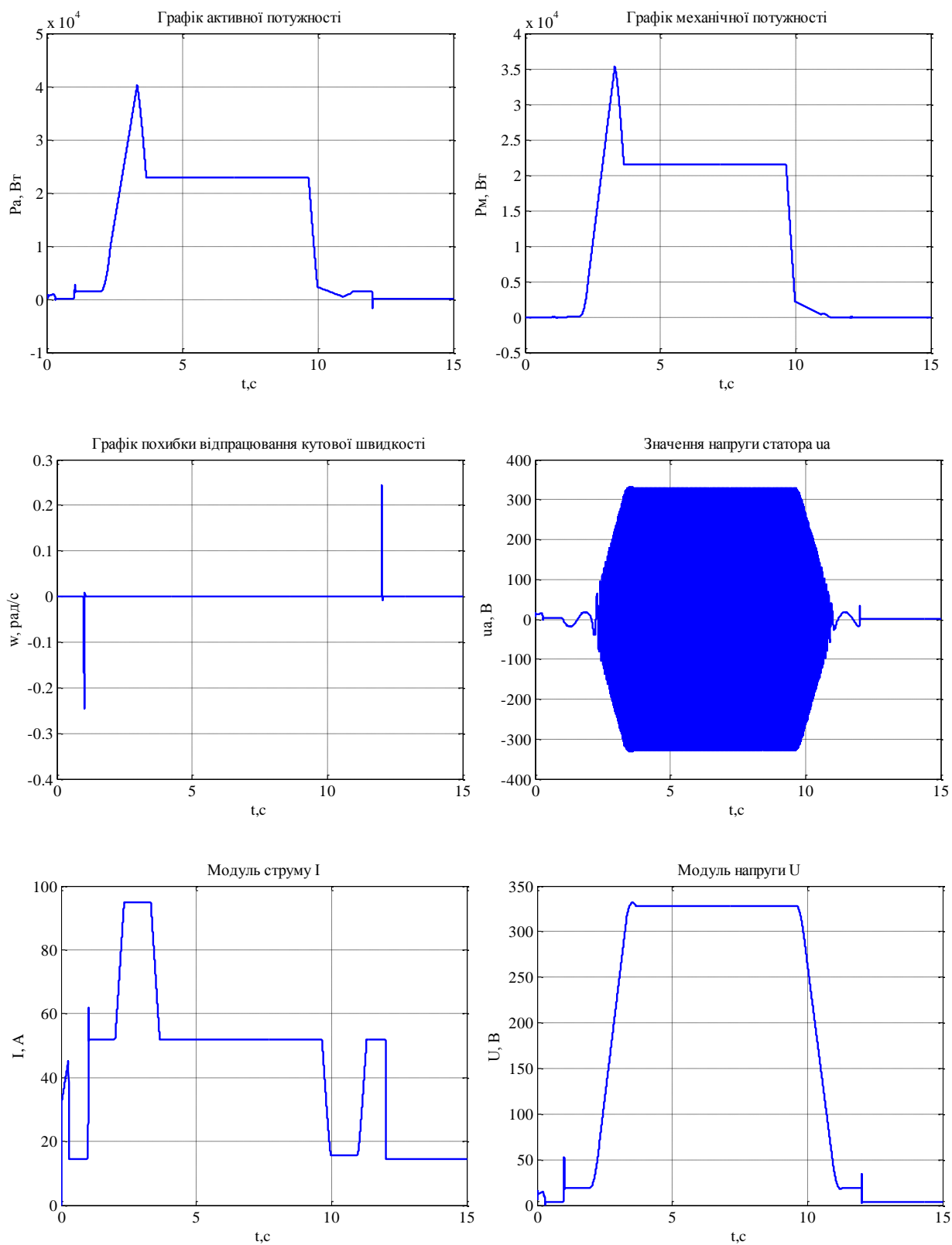
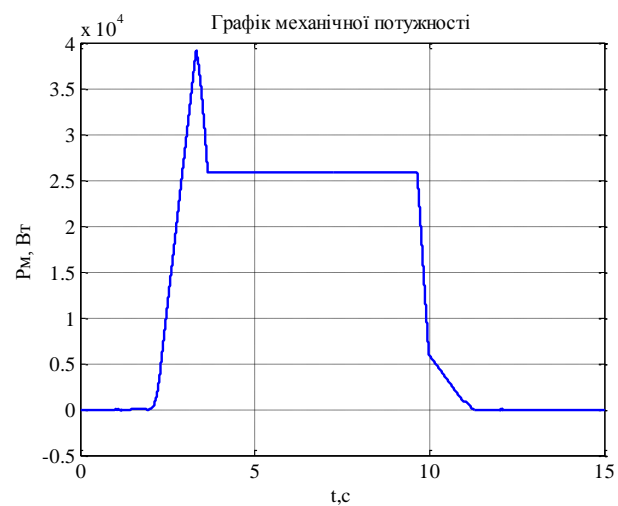
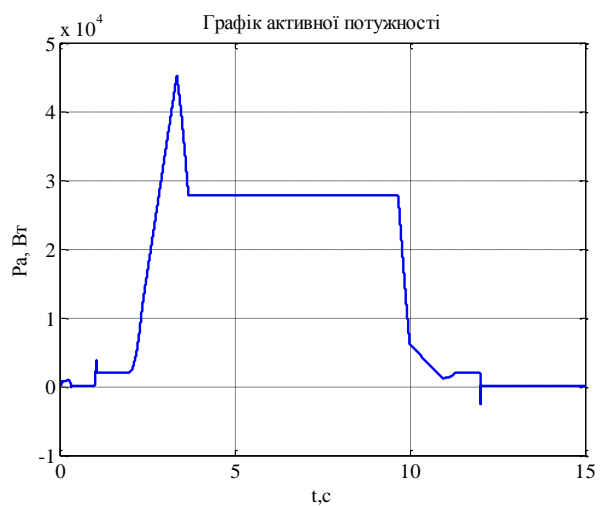
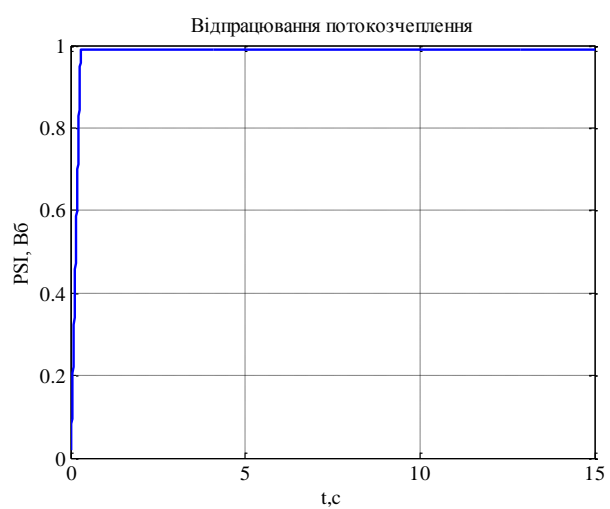
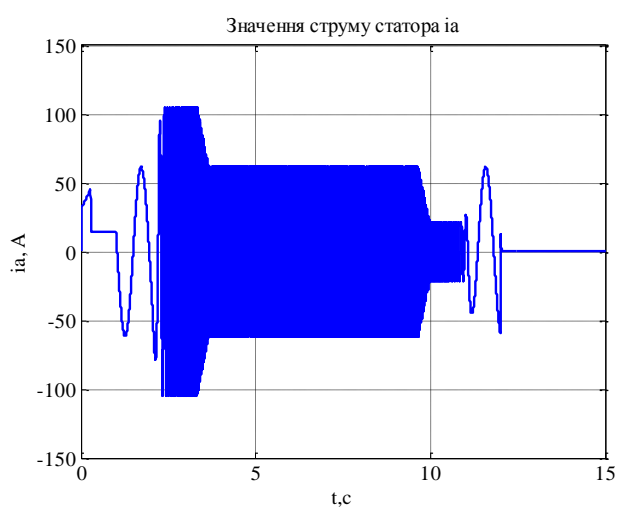
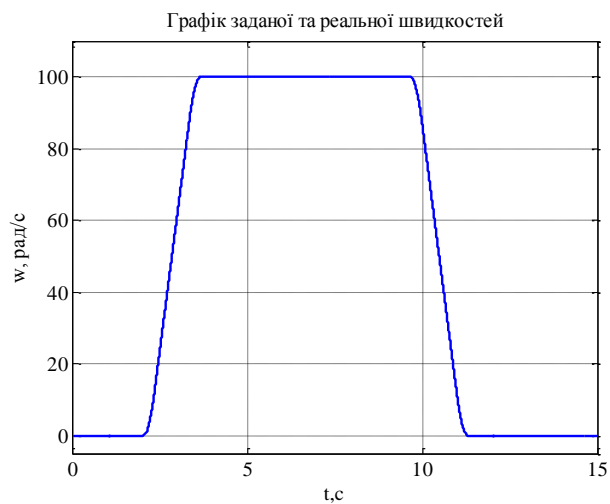
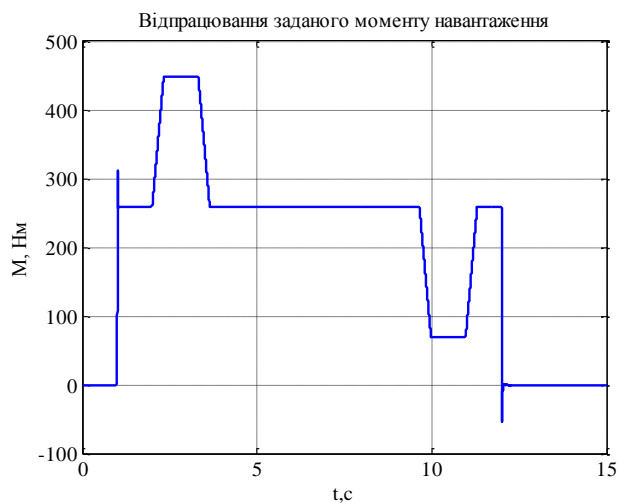


Рисунок 5.3. Перехідні процеси у двигуні при  $0.4 M_H$



Рисунок 5.4. Перехідні процеси у двигуні при  $M_N$



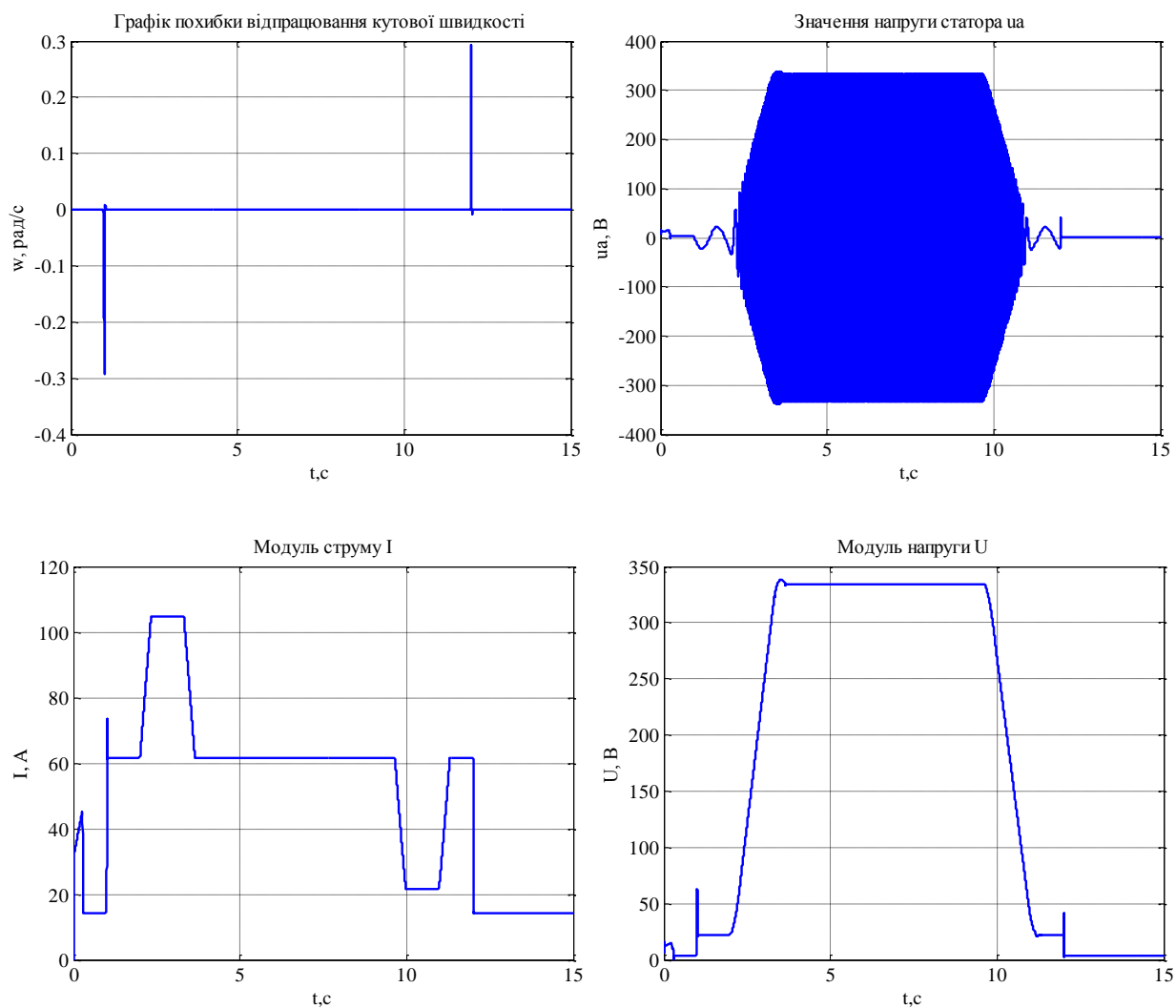
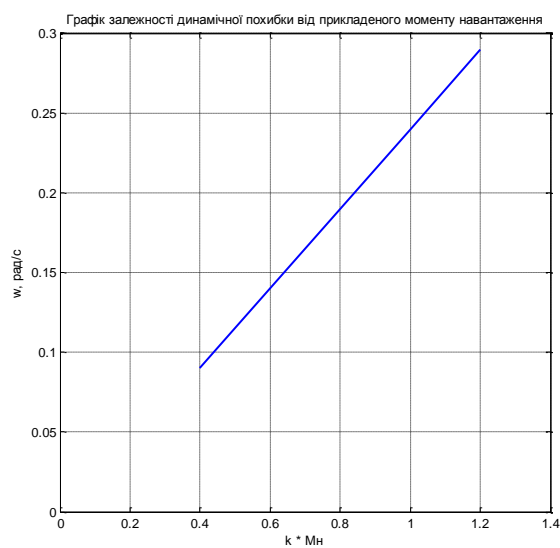
Рисунок 5.5. Перехідні процеси у двигуні при  $1.2M_H$ 

Рисунок.5.6 – Графік залежності динамічної похибки по швидкості від прикладеного моменту навантаження

Аналіз отриманих результатів показує, що система в статичних режимах дуже точно відтворює заданий характер зміни швидкості. Незначна динамічна похибка виникає в момент накидання та скидання навантаження у межах від  $0.4 M_H$  та до  $1.2M_H$  і не перевищує  $0.4\%$  від заданої швидкості. При цьому час перехідного процесу відновлення швидкості не перевищує  $0.035c$ . Вказані збурення знаходяться у межах допустимих значень для канатних вертикальних транспортних систем та не призводять до виникнення коливальних процесів у канатах.

### **Висновки до розділу 5**

Отримана модель дозволила виконати дослідження динамічних режимів роботи електромеханічної системи ліфтової підйомної установки. Аналіз отриманих результатів свідчить що при появі збурень у системі у вигляді моменту навантаження від  $0.4 M_H$  до  $1.2M_H$  величина динамічної похибки по швидкості не перевищує  $0.4\%$  від заданого значення, що знаходиться у межах допустимих норм безпеки та не призводить до появи коливальних процесів у системі.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконаної роботи вирішена задача по розробці системи керування ліфтової підйомної установки з використанням керованого асинхронного електропривода.

В результаті аналізу режимів роботи системи канатного вертикального транспорту сформульовані вимоги до електропривода, і як найбільш перспективна прийнята система ПЧ-АД.

Розробка функціональної схеми, розрахунок та вибір її елементів дозволив отримати їх математичну модель, на підставі якої проведені дослідження динамічних режимів електромеханічної системи.

Аналіз результатів дослідів показав, що заданий графік зміни швидкості відтворюється досить точно. Динамічна похибка по швидкості викликана накиданням та скиданням моменту навантаження від  $0.4 M_H$  до  $1.2 M_H$  не перевищує  $0.4\%$ , що знаходиться у межах допустимих збурень для даного класу механізмів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Архангельский Г.Г. и др. Лифты: Учебник для вузов. 2-е издание. Під ред. Волкова Д.П. – М.: Изд-во АСВ, 2010.
2. Архангельский Г.Г., Бабичев С.Д. и др. Гидравлические лифты: Учебное пособие для вузов. – М: Изд-во АСВ, 2002.
3. Волков Д.П., Ионов А.А., Чутчиков П.И. Атлас конструкции лифтов: Учебное пособие для вузов. – М: Изд-во АСВ, 2003.
4. Яновский Л. (перевод с английского). Проектирование механического оборудования лифтов (монография). Научный редактор Архангельский Г.Г. – М: Изд-во АСВ, 2005.
5. Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов. Сборник документов. – М.: ДЕАН, 2010.
6. Архангельский Г.Г., Ионов А.А. Основы расчета и проектирования лифтов. – М.: МИСИ, 1985.
7. Архангельский, Г.Г. Гидравлические лифты: конструкция, монтаж и обслуживание: учебное пособие. – М.: МГСУ, 2013.
8. Бадагуев Б.Т. Лифты. Организация безопасной эксплуатации. – М.: Альфа-Пресс, 2012.
9. Вишневецкий И.М. Модернизация лифтов. – М.: *Стройиздат*, 1993.
10. Вишневецкий И.М., Ермишкин В.Г. Охрана труда при техническом обслуживании пассажирских и грузовых лифтов: справ. - 2-е изд., – М.: *Стройиздат*, 1988.
11. Ермишкин В.Г., Нелидов И.К., Коханов К.П. Наладка лифтов. - 2-е изд., перераб.и доп. – М.: *Стройиздат*, 1992.
12. Иоффе Е.Я. Высокоскоростные лифты. – М.: *Стройиздат*, 1988.

13. Макаров А.Г., Ломакин Г.К. Автоматика скоростных лифтов. – М.: *Стройиздат*, 1989.
14. Манухин С.Б., Нелидов И.К. Устройство, техническое обслуживание и ремонт лифтов. – М.: *Академия*, 2004.
15. Полетаев А.А. Эксплуатация лифтов: Вопросы и ответы: справ. - 2-е изд., – М.: *Стройиздат*, 1991.
16. Полковников В.С., Лобов Н.А., Грузинов Е.В. Монтаж и эксплуатация лифтов: учеб. - 5-е изд., – М.: *Высш.шк.*, 1987.
17. Райков Е.И., Грузинов Е.В. Справочник молодого монтажника лифтов. – М.: *Высш.шк.*, 1990.
18. Федосеев В.Н., Гончаров Г.К. Безопасная эксплуатация лифтов. – М.: *Стройиздат*, 1987.
20. <https://www.compel.ru>
21. С.М. Пересада, докт. техн. наук, М.А. Коноплінський, асист., В.М. Трандафілов, асп. Векторне керування моментом асинхронного двигуна, адаптивне до варіацій активних опорів статора і ротора, побудоване на основі нелінійного принципу розділення. Національний технічний університет України "Київський політехнічний університет", 2014. 6 с.
22. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни “Системи керування електроприводами ” для студентів денної форми навчання зі спеціальності “ Електромеханічні системи автоматизації та електропривод” / Укл. О.І.Кіселичник. - К. : НТУУ “КПІ” , 2002 . – 49с.
23. Кравчик А. Э. Шлаф М. М. Асинхронные двигатели серии 4А:Справочник/А90. – М.: *Энергоатомиздат*, 1982.- 29с.