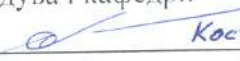


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

 Костенко Д. В.
«16» 12 2025 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

на тему Електрообладнання контейнеровоза з розробкою
системи автоматизованого управління СЕЕС

Виконав: студент 6363м групи

 Романов В. Р.
(підпис)

Керівник роботи:

д.т.н., професор
(педагог, науковий ступінь, вчене звання)
 Волянська Я. Б.
(підпис)

Миколаїв – 2025 р.

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів
Рівень вищої освіти магістр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(цифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(цифр і назва)
Освітня програма «Експлуатація суднових автоматизованих систем»
(цифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

В.М. Овчарук
«01» 10 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти магістр**

Студенту Романсєву Владиславу Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема кваліфікаційної роботи Електрообладнання контейнеровоза з розробкою системи автоматизованого управління СЕЕС
Керівник кваліфікаційної роботи Волянська Яна Богданівна, професор, д.т.н.

- (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом вищого навчального закладу від « » 2025 року №
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 08 грудня 2025 р.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи вантажопідйомність 1000т; дедвейт – 186 т; довжина найбільша - 56,4 м; довжина по КВЛ - 53,7 м; ширина найбільша - 11,2 м; ширина по КВЛ - 11,0 м; висота борту - 5,4 м; осадка - 2,9 м; дальність плавання – 2000 миль; автономність - 15 суток; швидкість ходу – 12 вузлів; екіпаж – 17 чоловік.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) характеристика судна; розрахунок потужності та вибір кількості генераторів; вибір апаратів, шин, кабелів; розрахунок струмів короткого замикання; перевірка обладнання на термічну та динамічну стійкість;

розрахунок провалу напруг; охорона праці; охорона навколишнього середовища.

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

Електронна презентація

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання на кваліфікаційну роботу «15» вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Видача завдання на КР	15.09.2024 р.	
2	Рубіжний контроль. Чернові варіанти розділів та розширеного змісту ПЗ	24.02.2025 р.	
3	Рубіжний контроль. Готовий розширений зміст ПЗ, спецрозділів, 1-3 розділи ПЗ. Розрахунки.	26.05.2025 р.	
4	Рубіжний контроль. Чернетка повної пояснювальної записки, презентації та доповіді.	15.09.2025 р.	
5	Кафедральний захист. Готова, зшита ПЗ, підписана студентом, керівником. Готова презентація та доповідь укр. мовою.	01.12.2025 р.	
6	Подання документів на захист.	08.12.2025 р.	
7	Захист ДП	20.12–30.12. 2025 р.	

Студент


(підпис)

Романсєв В. Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник
кваліфікаційної роботи


(підпис)

Волянська Я. Б.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи актуальна і пов'язана з розробкою електропривода суднового підйомника зі швидкістю переміщення кабіни 0,2 м/с з метою підняття в процесі руху вантажів встановлених на європалетах.

В кваліфікаційній роботі виконано огляд підймальних механізмів за типом електропривода та наведено загальне призначення перетворювачів електричної енергії. Наведено загальну характеристику електропривода суднового підйомника та основні вимоги щодо його експлуатації. Представлено технічні характеристики вибраного складового обладнання. Розроблено 3D модель конструкції електропривода суднового підйомника. Відповідно до розрахунків виконано вибір вантажної кабіни та визначено швидкість її руху. Виконані розрахунки кінематичних, силових та енергетичних параметрів підйомника. Проведено перевірки канатоведучого шківа на буксування. Наведено електричну принципову схему керування електроприводом суднового підйомника з застосуванням перетворювача частоти і програмованого логічного контролера та описано принцип її роботи.

Ключові слова: електропривод, система управління, електрообладнання, судновий підйомник, контролер.

ABSTRACT

The theme of the qualification work is relevant and is related to the development of an electric drive for a ship elevator with a cabin speed of 0,2 m/s in order to lift cargo installed on Euro pallets during movement.

The qualification work provides an overview of lifting mechanisms by type of electric drive and the general purpose of electrical energy converters. The general characteristics of the ship's elevator electric drive and the main requirements for its operation are given. The technical characteristics of the selected component equipment are presented. A 3D model of the design of the ship's elevator electric drive is developed. According to the calculations, the cargo cabin is selected and its speed is determined. Calculations of the kinematic, power and energy parameters of the elevator are performed. The rope pulley is checked for slippage. An electrical schematic diagram of the ship's elevator electric drive control using a frequency converter and a programmable logic controller is given and the principle of its operation is described.

Keywords: electric drive, control system, electrical equipment, ship lift, controller.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	4
Вступ	5
1 Загальна характеристика та умови застосування електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т	8
1.1 Значення перетворювачів електричної енергії у сучасних електроприводах	8
1.2 Загальна характеристика електропривода суднового підйомника	11
1.3 Висновок по розділу	13
2 Технічні характеристики електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т	14
2.1 Загальні технічні характеристики електропривода суднового підйомника	14
2.2 Технічні характеристики спуско-підйомного механізму	14
2.3 Технічні характеристики вантажопідіймального каната	15
2.4 Технічні характеристики перетворювача частоти	16
2.5 Технічні характеристики логічного контролера	17
2.6 Висновок по розділу	19
3 Опис та обґрунтування прийнятих технічних рішень при розробці електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т	18
3.1 Розробка 3D моделі конструкції електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т	20
3.2 Визначальні фактори меж регулювання швидкості та моменту приводних двигунів	28
3.3 Електрична принципова схема керування електроприводом суднового підйомника	30
3.4 Висновок по розділу	34

4 Розрахунки, що підтверджують працездатність розробки електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т	35
4.1 Вибір вантажної платформи і визначення швидкості її руху	35
4.2 Визначення продуктивності суднового підйомника	37
4.3 Вибір вантажопідіймального каната	39
4.4 Розрахунок кінематичних параметрів суднового підйомника	43
4.5 Розрахунок силових параметрів підйомника	51
4.6 Перевірка канатоведучого шківа на буксування	60
4.7 Розрахунок енергетичних параметрів суднового підйомника	62
4.8 Висновок по розділу	66
5 Охорона праці	67
5.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що впливають на організм людини	67
5.2 Вимоги правил Регістру судноплавства України до електричних апаратів та настановної арматури	71
5.3 Вимоги правил СОЛАС-74 до засобів пожежогасіння у машинних відділеннях	76
5.4 Висновок по розділу	78
Висновки	79
Перелік посилань	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АД – асинхронний двигун;

ГДК – гранично допустима концентрація;

ГДР – гранично допустимий рівень;

ЗІЗ – засіб індивідуального захисту;

ЗКЗ – засоби колективного захисту;

НШВФ – небезпечні і шкідливі виробничі фактори;

ПЕЕ – перетворювач електричної енергії;

ПЛК – програмований логічний контролер

ВСТУП

Огляд наукової літератури та визначення актуальності дослідження.

Задачі, для виконання яких можуть застосовуватися підйомники, є надзвичайно різноманітними [1, 2]. Залежно від конструктивного виконання та функціонального призначення, підйомники поділяються на пасажирські та вантажні, що дозволяє забезпечити ефективне транспортування як людей, так і різноманітних вантажів у вертикальному напрямку [3, 4]. Такий тип підйомно-транспортного обладнання відзначається простотою системи керування, яка забезпечує зручність в експлуатації та не потребує спеціальної підготовки персоналу для виконання основних операцій з переміщення [5]. Сучасні підйомники мають відповідати підвищеним вимогам щодо зручності користування, надійності та безпеки пасажирів і обслуговуючого персоналу [6]. Для цього у конструкції передбачаються численні засоби безпеки, такі як системи аварійного гальмування, обмежувачі швидкості, пристрої контролю перевантаження, а також автоматичні системи сигналізації й блокування [7, 8]. Разом із тим, попри зовнішню простоту користування, підйомники є складним технічним пристроєм, що належить до категорії обладнання підвищеної небезпеки. Його робота безпосередньо пов'язана з дією значних динамічних навантажень, тому особливої актуальності набувають питання дослідження динаміки електропривода, стабільності його режимів роботи, енергетичної ефективності та довговічності вузлів [9, 10]. У зв'язку з цим все більшого значення набуває проектування та вдосконалення електроприводів підйимальних систем, які забезпечують плавність руху, точність зупинок і високу енергоефективність у процесі експлуатації [11, 12]. Такі електроприводи, будучи основним елементом системи вертикального транспортування, суттєво зменшують трудомісткість операцій з підйому та спуску вантажів, сприяють підвищенню продуктивності праці й безпеки обслуговування.

Об'єктом дослідження є конструктивні особливості суднового вантажного підйомника з канатоведучим шківом.

Предметом дослідження є розробка електропривода для міжповерхового переміщення вантажів сформованих на палетах.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т.

Завдання кваліфікаційної роботи, які потрібно вирішити для досягнення поставленої мети:

- виконати огляд підйимальних механізмів за типом електропривода;
- виконати розрахунок спуско-підйомного механізму;
- виконати розробку 3D моделі конструкції електропривода суднового підйомника;
- представити електричну принципову схему керування електроприводом суднового підйомника з застосуванням перетворювача частоти та програмованого логічного контролера;
- виконати вибір складового обладнання електропривода підйомника;
- навести основні технічні характеристики розробки.

Методи дослідження. Для розв’язку поставлених у кваліфікаційній роботі завдань використано наступні методи дослідження:

- метод системного аналізу (для визначення взаємозв’язків між елементами електропривода та визначення способу його реалізації);
- метод графічного комп’ютерного моделювання (для створення 3D моделей складових елементів електромеханічного обладнання привода);
- метод аналітичного рішення алгебраїчних рівнянь (для проведення розрахунків електропривода суднового підйомника).

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків та переліку посилань. Робота містить 82 сторінки, у тому числі 7 таблиць, 7 рисунків, 22 найменування використаних посилань.

Практичне значення одержаних результатів. Застосування розробки може бути використане для організації технологічного процесу обробки вантажів на судах, які передбачають перевезення вантажів сформованих у вигляді окремих палет.

Апробація результатів дослідження не проводилася у зв’язку з військовим станом у країні та відсутністю технічної можливості.

Положення, що їх винесено на захист:

- виконано розрахунок електропривода суднового підйомника, а саме спуско-підйомного механізму вантажу масою 1,5 т;
- розроблено 3D модель конструкції електропривода суднового підйомника з канатоведучим шківом;
- виконано вибір необхідного складового обладнання електропривода суднового підйомника з застосуванням індивідуального переліку елементів, необхідних для реалізації розробки.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СУДНОВОГО ПІДЙОМНИКА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 1,5 Т

1.1 Значення перетворювачів електричної енергії у сучасних електроприводах

Невід’ємним компонентом будь-якого регульованого електропривода є перетворювач електричної енергії (ПЕЕ), який забезпечує зміну основних параметрів електроенергії – таких як напруга, частота та кількість фаз. Саме завдяки цьому пристрою реалізується можливість плавного регулювання швидкості, моменту та напрямку обертання електродвигуна. Перетворювач електричної енергії встановлюється між джерелом живлення та обмотками електродвигуна, забезпечуючи узгодження параметрів живлення з вимогами привідної системи.

Сучасні електроприводи можуть функціонувати як від централізованих, так і від автономних систем електропостачання, що визначається умовами експлуатації та технічним призначенням установки.

У більшості випадків використовується централізоване електропостачання, при якому електропривод живиться від загальної промислової електромережі. Такий спосіб є економічно доцільним, забезпечує стабільність напруги та спрощує технічне обслуговування.

Водночас у специфічних умовах, наприклад, на транспортних засобах, судах, у шахтних або польових установках, доцільним є використання автономного електроживлення. Воно характеризується повною незалежністю від зовнішньої мережі та містить власні джерела електроенергії – генераторні установки, що приводяться в дію двигунами внутрішнього згоряння або турбінами (дизель-генератори, турбогенератори), а також акумуляторні батареї, які застосовуються для живлення приводів невеликої потужності або як резервне джерело енергії.

Для найвідповідальніших систем, де неперервність роботи має вирішальне значення, застосовується комбінована схема живлення, яка поєднує централізоване

електропостачання з резервуванням від автономного джерела. Такий підхід підвищує надійність системи, зменшує ризик аварійного зупинення приводу та забезпечує безперебійну роботу обладнання навіть у разі відмови основного джерела енергії.

Централізоване електроживлення подається до силового каналу електропривода у вигляді змінного струму зі стандартними параметрами частоти та напруги, що відповідають нормам промислової мережі. Такий тип живлення є найбільш поширеним у промислових і транспортних установках, оскільки забезпечує стабільність і уніфікованість енергопостачання. Водночас автономне електроживлення може мати найрізноманітніші характеристики – як у вигляді змінного струму (з нестандартними значеннями частоти або напруги), так і у вигляді постійного струму. Подібні системи застосовуються там, де відсутній доступ до централізованої мережі або потрібна підвищена надійність роботи приводу, наприклад у мобільних, суднових або аварійно-резервних установках.

Цілеспрямоване регулювання швидкості обертання або крутного моменту на валу електродвигуна вимагає зміни потужності, що подається в силовий канал електропривода, як за величиною, так і за напрямом. Дане завдання реалізується за допомогою силових перетворювачів електричної енергії, які виконують роль проміжної ланки між джерелом живлення та електродвигуном. Завдяки роботі таких перетворювачів електропривод може функціонувати в різних режимах – як споживання енергії під час роботи двигуна, так і генерування у випадках рекуперації, коли кінетична енергія рухомих частин або навантаження повертається в електромережу, що дозволяє підвищити енергетичну ефективність системи, зменшити втрати енергії та забезпечити оптимальне керування динамічними процесами у приводі.

В режимі споживання електроприводом електричної енергії реалізується кілька основних типів перетворення енергії, що забезпечують узгодження параметрів живлення з вимогами електродвигуна та системи керування:

- 1) Перетворення нерегульованої змінної напруги від електричної мережі у постійний струм, який може бути як нерегульованим, так і регульованим за

величиною. Такий вид перетворення застосовується для забезпечення стабільного живлення електродвигунів постійного струму та проміжних елементів системи.

2) Перетворення постійної напруги у змінну або пульсуючу, параметри якої (частота та амплітуда) можуть регулюватися. Цей тип перетворення дозволяє забезпечити плавне керування швидкістю та моментом електродвигуна, оптимізуючи роботу приводу під різні навантаження.

3) Перетворення нерегульованої змінної напруги від мережі у змінну або пульсуючу, регульовану за частотою та амплітудою. Використання такого підходу забезпечує можливість прямого керування швидкістю та крутним моментом електродвигунів змінного струму без додаткових механічних редукторів.

4) Перетворення постійної напруги у постійну, яка може бути як регульованою, так і нерегульованою. Цей тип перетворення широко застосовується у системах з батарейним або автономним живленням, де необхідне плавне регулювання параметрів постійного струму для керування електроприводом.

У режимі генерування електроприводом електричної енергії реалізуються різні типи перетворення, що дозволяють віддавати електроенергію назад у мережу або живити споживачів у різних формах струму:

1) Перетворення постійної напруги в нерегульовану змінну, сумісну з параметрами електричної мережі. Цей тип перетворення забезпечує можливість передачі електроенергії, виробленої приводом, до загальної мережі безпосередньо або через проміжні пристрої.

2) Перетворення регульованої за частотою та амплітудою змінної або пульсуючої напруги на постійну. Такий режим застосовується, наприклад, для заряджання акумуляторних батарей або живлення інших пристроїв, що працюють на постійному струмі.

3) Перетворення регульованої за частотою та амплітудою змінної або пульсуючої напруги в нерегульовану змінну, відповідну стандартам електричної мережі, що дозволяє використовувати електропривод як генератор для підключення до загальної мережі або інших споживачів змінного струму.

Перетворення регульованої постійної напруги на постійну, що може застосовуватися у автономних системах живлення або в системах, де потрібне точне регулювання постійної напруги для споживачів.

Для реалізації зазначених режимів використовуються як електромашинні перетворювачі, так і статичні напівпровідникові перетворювачі, які забезпечують високу швидкодію, надійність та можливість гнучкого керування параметрами енергії в реальному часі. Вибір конкретного типу перетворювача залежить від вимог до режимів роботи електропривода, потужності системи та умов експлуатації.

1.2 Загальна характеристика електропривода суднового підйомника

Використання електропривода підйомника передбачається для експлуатації на судні. У таких випадках рух вантажної кабіни здійснюється по вертикальних напрямних, що гарантує стабільне та безпечне переміщення вантажів.

Залежно від типу застосованого електропривода виділяють два основних конструктивних варіанти підйомників:

- підйомники з барабанами;
- підйомники з канатоведучими шківками.

У підйомниках з барабанами вантажний канат міцно фіксується на барабані. Таке рішення забезпечує надійну фіксацію кабіни, однак значно ускладнює систему контролю та захисту каната від перевантажень, що є критичним у випадках різкої зупинки або заклинювання кабіни, коли зростає ризик обриву каната.

Розташування барабанних лебідок обумовлює необхідність наявності машинного відділення, що пояснюється великими масо-габаритними характеристиками основних елементів виконавчого електрообладнання. Крім того, така конструкція потребує додаткових заходів безпеки та спеціальних систем захисту для запобігання аварійним ситуаціям у процесі експлуатації.

Більш ефективним варіантом є застосування підйомників з канатоведучими шківками. Їх конструктивне виконання є простішим, а надійність системи захисту підйомальних канатів від постійного перевантаження та, як наслідок, від обриву,

значно вища. Серед переваг таких підйомників також відсутність обов'язкової наявності машинного відділення для розташування основних компонентів виконавчого електрообладнання.

У рамках виконання кваліфікаційної роботи запропоновано розробити електропривод суднового підйомника з канатоведучими шківками. При виборі матеріалу для виготовлення електропривода суднового підйомника слід враховувати міцність, витривалість, зносостійкість, а також можливість забезпечити мінімальну металомісткість вузлів і адекватну складність їх термообробки. Крім того, необхідно враховувати ударну в'язкість та схильність матеріалу до холодноламкості при низьких температурах, що особливо важливо для експлуатації на судні.

При виборі матеріалів для побудови конструкції механізму електропривода суднового підйомника слід враховувати, що їх вартість становить приблизно 40-75 % загальної вартості підйомника.

Деталі, що зазнають інтенсивного зносу (диски тертя, шестерні, вали-шестерні та інші аналогічні вузли), рекомендується виготовляти зі сталі 50Г. Важко навантажені вали, вали-шестерні, черв'яки та зірочки механізмів слід виконувати зі сталі 40Х або 45Х. Металеві конструкції, що працюють в умовах тривісного напруженого стану, доцільно виготовляти з низьколегованих сталей 10ХСНД, 15ХСНД, 09Г2. Для виготовлення барабанів, блоків та ходових коліс при невеликих навантаженнях використовується модифікований чавун.

Болти, що з'єднують металоконструкції з маловуглецевої сталі, виготовляють зі сталі Ст3, а ті, що з'єднують металоконструкції з низьколегованих сталей, – зі сталі 40Х. Для інших елементів конструкції підйомника передбачено спеціальні матеріали:

- теплоізоляція кабін – пінопласт;
- облицювання стін – декоративний паперошаровий пластик;
- буфери та втулки пальцевих муфт – гума;
- гальмівні колодки – азбестова фрикційна стрічка.

Таке комплексне застосування спеціалізованих матеріалів забезпечує надійність, довговічність і безпеку експлуатації підйомника, одночасно оптимізуючи його масо-габаритні та економічні показники.

1.3 Висновок по розділу

В розділі виконано огляд підйимальних механізмів за типом електропривода та наведено загальне призначення перетворювачів електричної енергії. Визначено напрямок для наукової задачі дослідження, який полягає в розробці електропривода судового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т.

2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СУДНОВОГО ПІДЙОМНИКА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 1,5 Т

2.1 Загальні технічні характеристики електропривода суднового підйомника

Основні технічні характеристики електропривода суднового підйомника представлені у вигляді табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики електропривода підйомника

Найменування параметра	Значення
Вантажність, т	1,5
Середня швидкість руху, м/с	0,2
Кількість обслуговуючих поверхів	4
Максимальна висота підняття вантажної кабіни, м	10,8
Кількість персоналу, що можуть застосовувати підйомник, чол.	8
Продуктивність підйомника, палет/год	96
Маса однієї завантаженої палети з шести допустимих, кг	250
Габаритні розміри вантажної кабіни, мм	1550×1840
Маса вантажної кабіни, кг	1200
Габаритні розміри механізму спуску/підйому вантажу, мм	1875×986×1000
Маса механізму спуску/підйому вантажу підйомника, т	2,57

2.2 Технічні характеристики спуско-підйомного механізму

Основні технічні характеристики спуско-підйомного механізму суднового підйомника представлені у вигляді табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики спуско-підйомного механізму

Найменування параметра	Значення
Виконавчий електродвигун	AC2-101-6/24
Тип асинхронного електродвигуна (АД)	з короткозамкненим ротором
Напруга змінного живлення, В	380
Частота мережі, Гц	50
Споживчі потужності, кВт	20/5
Швидкості обертання вала, об/хв	930
Діаметр привідного шківa, мм	600
Передатне число редуктора	85
Тип лебідки	електрична, ЛГ 225-35
Коефіцієнт перевантаження	2,8/1,8
Момент інерції ротора, кг·м ²	0,234
Момент інерції гальмівного шківa, кг·м ²	0,133

2.3 Технічні характеристики вантажопідіймального каната

У якості вантажопідіймального каната будемо застосовувати канат типу ЛК-РО. Основні технічні характеристики вантажопідіймального каната представлені у вигляді табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики вантажопідіймального каната

Найменування параметра	Значення
Тип каната	ЛК-РО
Діаметр каната, мм	9
Кількість підіймальних канатів, шт.	4
Загальна довжина каната, м	45
Розривна сила каната, Н	47400
Границя міцності каната, МПа	1860

Найменування параметра	Значення
Запас міцності каната	9
Маса каната, кг	46,8

2.4 Технічні характеристики перетворювача частоти

Зовнішній вигляд застосованого перетворювача частоти наведено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд перетворювача частоти *NE300-4T0220G*

Технічні характеристики перетворювача частоти наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики перетворювача *NE300-4T0220G*

Назва параметра	Величина
Модель	<i>NE300-4T0220G</i>
Номінальна змінна напруга живлення, В	3×380
Номінальна потужність, кВт	22

Продовження таблиці 2.4

Назва параметра	Величина
Номінальна сила струму споживача, А	45
Вихідна напруга, %	0 – 100%
Вихідна частота, Гц	0,1 – 600
Перевантажувальна здатність, %	150 % від номінальної потужності двигуна протягом 60 с та 165 % протягом 2 с
Несуща частота, кГц	1 – 15
Комутаційний порт	RS485
Регулювання швидкості	1:100
Спосіб керування	векторний
Кількість входів	7 програмованих цифрових, 1 високочастотний імпульсний, 1 програмований аналоговий -10 – +10 В, 1 програмований аналоговий 0 – +10 В, або 0 – 20 мА
Кількість виходів	1 програмований цифровий, 2 програмованих релейних, 2 програмованих аналогових 0 – +10 В, або 0 – 20 мА
Габаритні розміри, мм	400×250×210
Маса, кг	25

2.5 Технічні характеристики логічного контролера

Зовнішній вигляд програмованого логічного контролера (ПЛК) UN300 виробництва компанії *UniMAT* наведено на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд UN300

Основні характеристики UN300 представлені у вигляді табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики UN300

Найменування параметра	Значення
Модель	<i>UniMAT UN300</i>
Номінальна напруга постійного живлення, В	24
Споживча потужність, Вт	до 14
Центральний процесор	<i>RISC-процесор Texas Instruments Sitara AM3358, 800 МГц</i>
Об'єм флеш-пам'яті, Мбайт	512
Об'єм оперативної пам'яті, Мбайт	256
Операційна система	<i>Linux, ядро 4.14.67</i>
Інтерфейси зв'язку	<i>Ethernet 100 Base-T, RS-485, RS-232, USB</i>
Напруга комутації релейних виходів, В	264 при змінній напрузі живлення, 30 при постійній напрузі живлення
Час перемикання контактів реле, мс	10

Найменування параметра	Значення
Максимальний струм комутації реле, А	5 при змінній напрузі живлення, 3 при постійній напрузі живлення
Клас захисту	<i>IP20</i>
Габаритні розміри	125×40×120
Маса, кг	0,8

2.6 Висновок по розділу

З метою розробки електропривода суднового підйомника наведені зовнішні вигляди основного складового електрообладнання, а саме: перетворювача частоти та логічного контролера. Представлені основні технічні характеристики електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т в загальному вигляді, а також технічні характеристики його основних комплектуючих елементів електрообладнання, вибраних в результаті виконаних розрахунків.

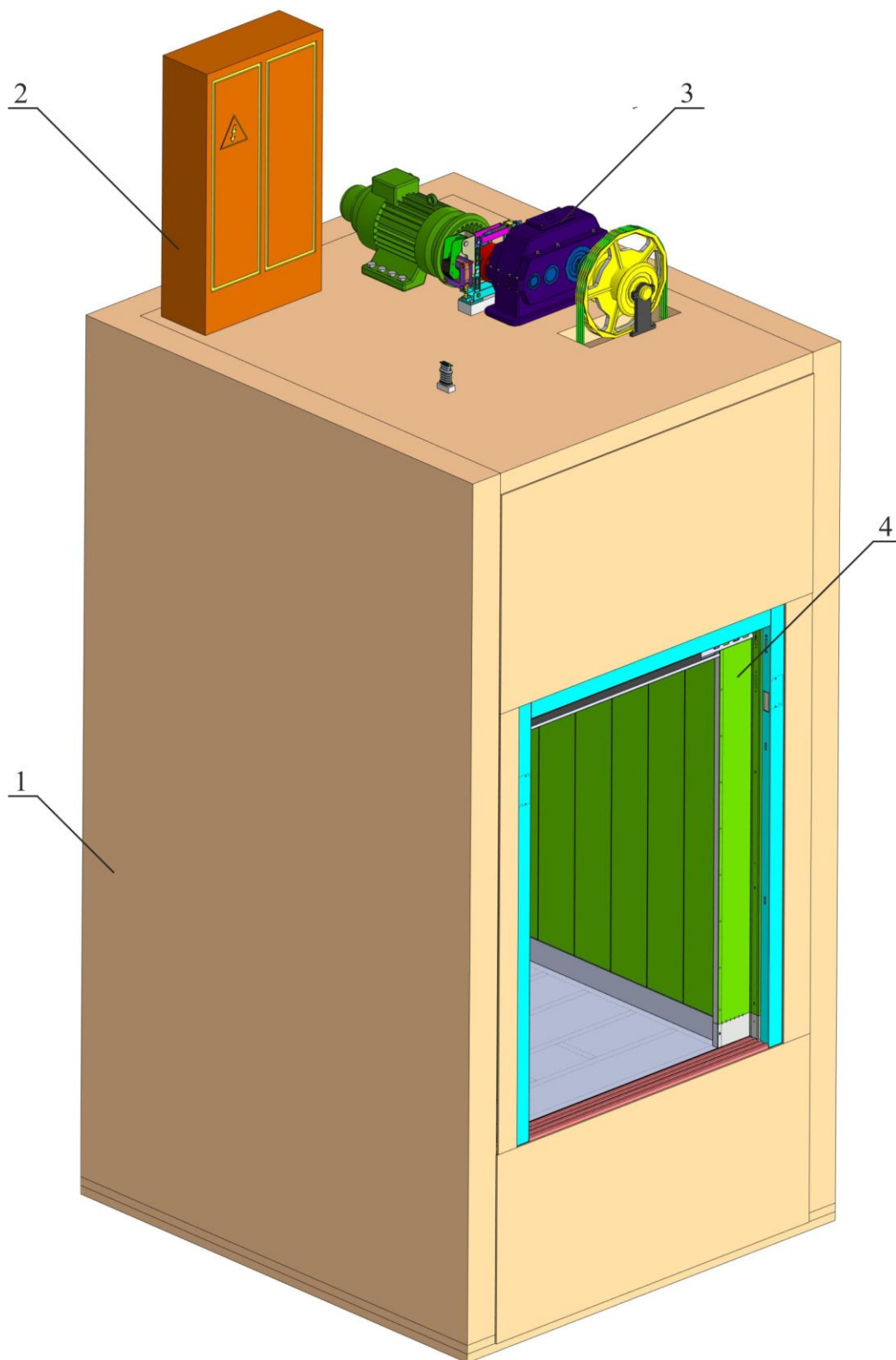
3 ОПИС ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ РОЗРОБЦІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СУДНОВОГО ПІДЙОМНИКА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 1,5 Т

3.1 Розробка 3D моделі конструкції електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т

3D модель конструкції електропривода конструкції електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т побудована в програмному середовищі *AutoCAD*. При цьому враховані масогабаритні характеристики вибраного виконавчого електрообладнання та складових елементів конструкції виробу. Зовнішній вигляд 3D моделі конструкції електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т представлений на рис. 3.1.

Загальна конструкція розміщена у вертикальній шахті (1, рис. 3.1), яка слугує несучим елементом і виконує функції захисного корпусу. Шахта забезпечує безпечну роботу персоналу, запобігає потраплянню сторонніх предметів у простір руху кабіни та знижує рівень шуму під час роботи обладнання. Конструкційно вона виконана зі сталевих листів із посиленням ребрами жорсткості, що гарантує міцність і стійкість при роботі під навантаженням.

На верхній частині шахти розташовується машинне відділення, в якому змонтовано щит енергетики та керування (2, рис. 3.1), що отримує живлення від суднової мережі трифазного змінного струму напругою 380 В, частотою 50 Гц. В щиті розміщено обладнання керування електроприводом, пристрої комутації, захисту, а також контролю параметрів роботи підйомника. Основним функціональним вузлом є підйомник (3, рис. 3.1), що складається з електродвигуна, двох муфт, редуктора, гальмівного механізму, шківів для намотування сталевих канатів. В середині шахти переміщується вантажна кабіна (4), призначена для транспортування вантажів між палубами. Вона виготовлена з легких, але міцних матеріалів, має посилену підлогу та жорстку раму, що гарантує стабільність руху.

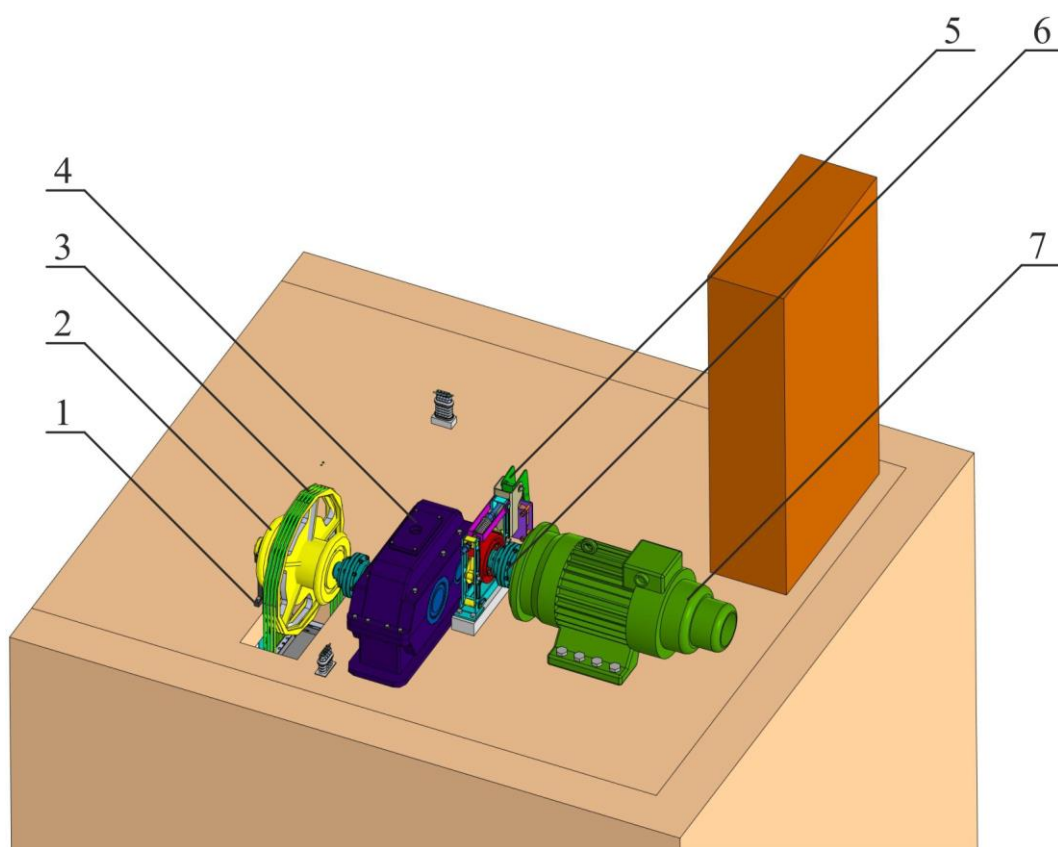


- 1) – вертикальна шахта; 2) – щит енергетики та керування; 3) – підйомник;
4) – вантажна кабіна;

Рисунок 3.1 – 3D модель конструкції електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т (вид спереду, ліворуч)

Напрямні забезпечують точність вертикального переміщення без перекосів, а двері kabіни обладнані запірними пристроями, що унеможливають їх випадкове відкриття під час руху.

На рис. 3.2 представлено детальну 3D модель конструкції підйомного механізму електропривода суднового підйомника. Основне призначення цього вузла – забезпечення підйому та спуску вантажної kabіни за допомогою канатної системи, що працює від електродвигуна через передавальні механізми. Вузол спирається на підшипникову опору (1, рис. 3.2), яка виконує функцію підтримки обертового вала та забезпечує його точне позиціонування у корпусі підйомника. Опора сприймає як радіальні, так і осьові навантаження, зменшуючи тертя та підвищуючи довговічність системи. Для підвищення надійності вона має ущільнення, що запобігають потраплянню вологи та пилу, характерних для суднових умов експлуатації.



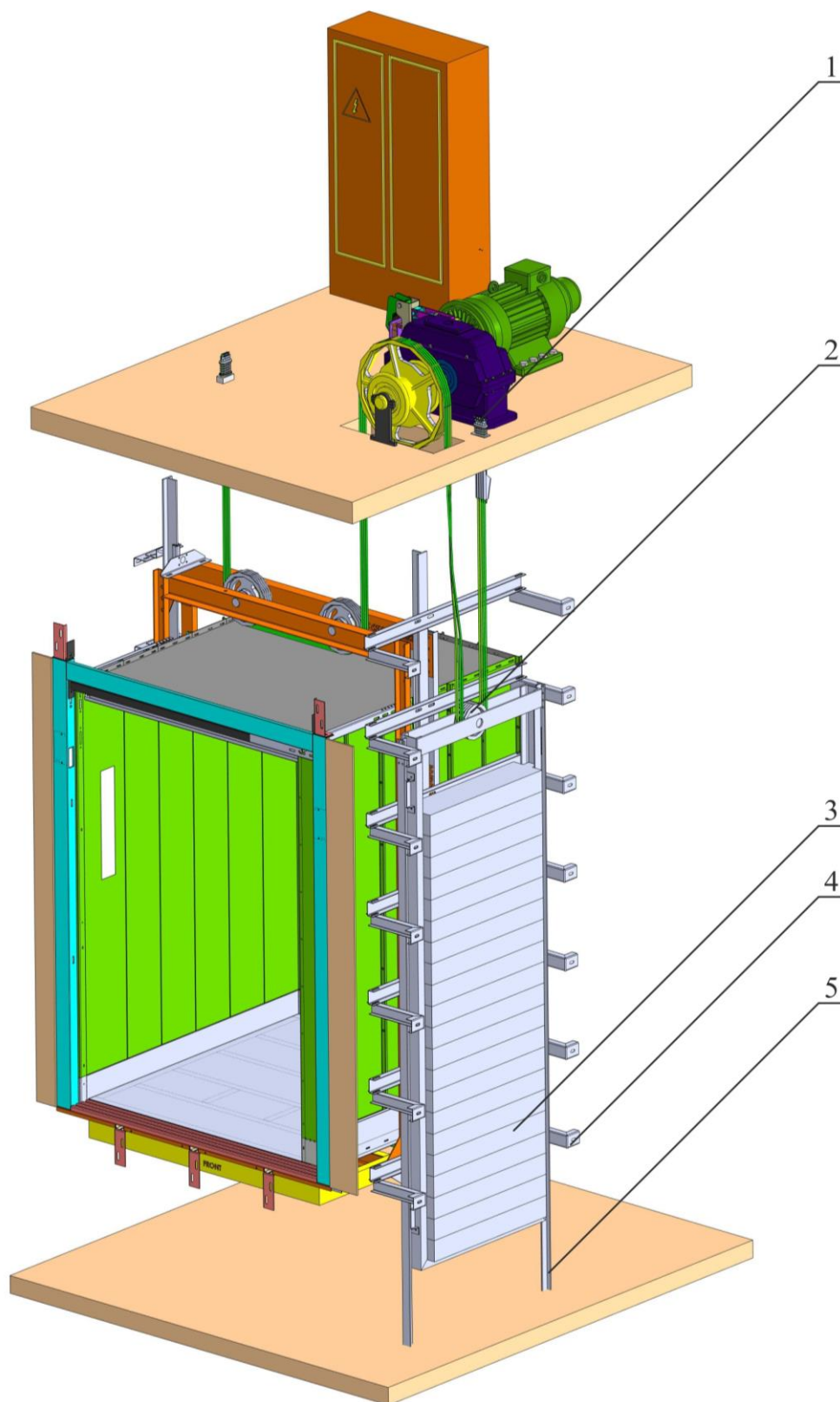
- 1) – підшипникова опора; 2) – шків; 3) – вантажні канати; 4) – редуктор;
5) – двоклодкові гальма; 6) – з'єднувальна муфта; 7) – електродвигун

Рисунок 3.2 – 3D модель конструкції електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т (вид зверху, праворуч)

На валу змонтовано шків (2, рис. 3.2), через який відбувається переміщення вантажних канатів (3, рис. 3.2). Канати передають тягове зусилля від приводу до кабіни, забезпечуючи її рівномірний рух у вертикальній площині. Конструкція шківів розрахована на роботу з багаторазовими циклами підйому та спуску, а поверхня жолобів має підвищену зносостійкість для запобігання прослизанню канатів.

Привідну частину утворює електродвигун (7, рис. 3.2), який є джерелом механічної енергії системи. Двигун асинхронного типу, трифазний, розрахований на роботу від суднової електромережі змінного струму 380 В, частотою 50 Гц. Його характеристики забезпечують достатній пусковий момент і стабільну роботу при тривалих навантаженнях. Корпус двигуна має захист від вологи та корозії, а система охолодження підтримує робочу температуру в допустимих межах навіть при інтенсивному використанні. Крутний момент від електродвигуна передається через з'єднувальну муфту (6, рис. 3.2) на швидкохідний вал редуктора (4, рис. 3.2), який виконує функцію зниження швидкості обертання при одночасному збільшенні крутного моменту на вихідному валу. Передавальне відношення редуктора підібрано з урахуванням забезпечення плавності руху та необхідної вантажопідйомної сили. Корпус редуктора герметичний, заповнений мастилом. Ще одна муфта з'єднує тихохідний вал редуктора та обертовий вал канатоведучого шківів. Для забезпечення безпечної експлуатації система оснащена двоколодковими гальмами (5, рис. 3.2), розташованими між редуктором і муфтою. Гальма спрацьовують автоматично при відключенні живлення або аварійній зупинці, надійно фіксуючи вантаж у нерухомому положенні. Їхня конструкція дозволяє виконувати тонке регулювання притискного зусилля, що гарантує швидке спрацьовування та мінімальний знос фрикційних накладок.

У верхній частині машинного відділення закріплено розчал каната №1 (1, рис. 3.3) – це точка фіксації одного з кінців вантажних канатів, що слугують зв'язком між підйомною кабіною та противагою. Розчал виконано у вигляді масивного кріпильного вузла з болтовими з'єднаннями, який сприймає значні статичні та динамічні навантаження. Місце фіксації обладнане амортизаційними прокладками для зменшення вібрацій, що виникають під час пуску або зупинки електропривода.



1) – розчал каната №1; 2) – шків противаги; 3) – противага; 4) – кронштейн кріплення напрямних руху противаги; 5) – напрямні руху противаги

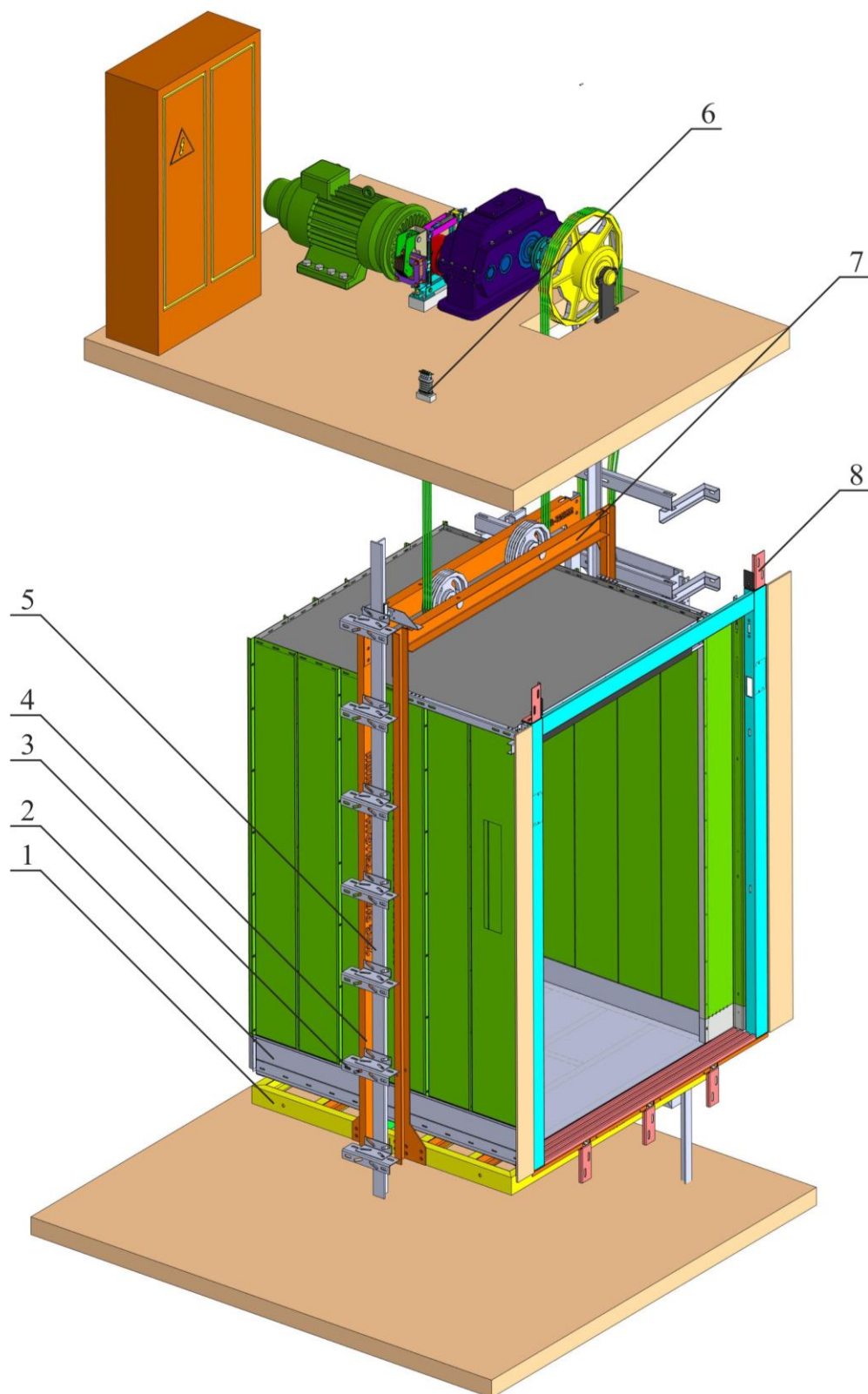
Рисунок 3.3 – 3D модель конструкції електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т (вид спереду, праворуч, без шахти)

Після фіксації канат переходить через шків противаги (2, рис. 3.3), який забезпечує зміну напрямку руху каната та рівномірний розподіл зусиль між кабіною і противагою. Шків має прецизійно оброблену робочу поверхню жолоба, що знижує ризик прослизання і зносу каната. Він обертається на підшипникових опорах із закритою мастильною системою, що дозволяє працювати у важких морських умовах із підвищеною вологістю та вібраціями.

Наявність противаги (3, рис. 3.3) врівноважує масу кабіни з урахуванням вантажу. Вона виконана у вигляді сталевго блоку з можливістю додавання або зняття окремих секцій, що дозволяє регулювати баланс системи. Конструкція противаги передбачає наявність отворів для кріплення канатів та направляючих, а її маса підібрана так, щоб зменшити енергоспоживання електродвигуна при русі кабіни. Для цього застосовано кронштейни кріплення напрямних (4, рис. 3.3), що надійно фіксують напрямні у шахті підйомника. Кронштейни зварної конструкції виконані зі сталевих профілів, що гарантує їхню жорсткість і стійкість до деформацій при тривалих циклах роботи.

Переміщення противаги здійснюється вздовж напрямних руху противаги (5, рис. 3.3), які забезпечують вертикальну стабільність траєкторії, запобігають їй перекосам і коливанням. Направмі виготовлені з високоміцної сталі з антикорозійним покриттям, а поверхня контакту з кареткою противаги має мінімальний коефіцієнт тертя. Це забезпечує безшумну роботу механізму, зменшує зношування і продовжує ресурс експлуатації системи.

Оснoву конструкції становить вантажна платформа (1, рис. 3.4), що є несучим елементом кабіни. Вона сприймає повне навантаження від вантажу, що транспортується, а також від власної маси кабіни. Платформа виконана зі сталевго листа, підсиленого ребрами жорсткості, які утворюють каркасну сітку, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження по всій площині. Нижня частина платформи оснащена монтажними гніздами для фіксації амортизаторів, які зменшують вібраційний вплив під час руху та зупинки кабіни.



1) – платформа; 2) – загородження; 3) – кронштейн кріплення напрямних руху кабіни до стінок шахти; 4) – вертикальні стійки кабіни; 5) – напрямна руху кабіни; 6) – розчал каната №2; 7) – горизонтальні стійки кабіни; 8) – кронштейни

Рисунок 3.4 – 3D модель конструкції електропривода суднового підйомника

вантажопідйомністю 1,5 т (вид спереду, ліворуч, без шахти)

Бічну частину конструкції утворює загородження кабіни (2, рис. 3.4) – захисний елемент, призначений для унеможливлення випадіння вантажу під час руху. Загородження складається з панелей, виготовлених із листової сталі, закріплених на вертикальних і горизонтальних профілях каркаса. Конструкція забезпечує достатню жорсткість та водночас дає змогу проводити швидкий демонтаж для технічного огляду або обслуговування.

Закріплення напрямних до корпусу шахти реалізовано за допомогою кронштейнів кріплення напрямних руху кабіни до стінок шахти (3, рис. 3.4). Кронштейни мають регулювальні отвори, що дозволяють здійснювати точне центрування кабіни відносно осі шахти. Несучу просторову структуру кабіни формують вертикальні стійки (4, рис. 3.4), які з'єднують платформу з верхньою рамою. Вони виконані зі сталевого профілю прямокутного перерізу, що забезпечує високу міцність при мінімальній масі. Стійки беруть участь у сприйнятті навантажень на вигин і стиск під час руху кабіни, а також під час гальмування.

Рух кабіни по висоті забезпечується напрямними руху кабіни (5, рис. 3.4). Вони виготовлені з термообробленої сталі з високою зносостійкістю поверхні. Профіль напрямних оптимізований для мінімізації тертя при контакті з роликами або ковзними елементами каретки кабіни.

У машинному відділенні також встановлено ще один розчал каната – №2 (6, рис. 3.4). Даний вузол забезпечує закріплення вантажних канатів, що передають тягове зусилля від привідного механізму до кабіни. Кріплення здійснюється за допомогою різьбових з'єднань і фіксувальних шайб, що унеможливорює самовільне послаблення під час роботи.

Каркас кабіни додатково посилений горизонтальними стійками (7, рис. 3.4), які підвищують загальну жорсткість конструкції та запобігають деформаціям при експлуатаційних навантаженнях. Вони слугують опорою для монтажу двох додаткових канатоведучих шківів над вантажною кабіною.

Зовнішнє облицювання кабіни встановлюється через кронштейни кріплення фасадів (8, рис. 3.4), що забезпечують монтаж панелей облицювання кабіни з можливістю їхнього зняття без порушення основної несучої структури.

3.2 Визначальні фактори меж регулювання швидкості та моменту приводних двигунів

У більшості випадків підймальні механізми працюють у режимі ручного керування за командами оператора і перебувають під його безперервним контролем. За допомогою командного пристрою оператор визначає напрямок і швидкість руху вантажу, момент початку та закінчення чергової операції та інші параметри.

Органи керування мають кілька фіксованих положень, які задають рівень та напрямок швидкості приводного двигуна в режимі, що встановився, а також визначають його момент у перехідних процесах. Кожному положенню органу керування відповідає конкретна механічна характеристика електропривода, а сукупності всіх положень органу керування формують відповідне сімейство характеристик.

Всі типи підймальних механізмів мають специфічні набори бажаних механічних характеристик, що визначаються особливостями статичних і динамічних навантажень, технологічними вимогами, точністю позиціонування робочого органу та іншими експлуатаційними факторами.

Найбільш ефективним способом зменшення динамічних навантажень у механізмі підйому за допомогою електропривода (наприклад, при виборі слабину канатів) є забезпечення зниженої швидкості на початковій стадії пуску механізму.

Для отримання м'якої пускової характеристики, при якій пусковий момент двигуна становить близько 70-80 % від номінального, у простих системах електропривода застосовуються, наприклад, реостатні схеми регулювання.

У механізмах пересування вантажу часто використовується тримасова розрахункова схема, що дозволяє врахувати взаємодію двигуна, трансмісії та мас вантажу. Під час роботи механізму спостерігаються коливання металоконструкцій і трансмісійних валів, а також розгойдування вантажу на канатах.

Це зумовлює виділення двох основних груп проблем:

- 1) Обмеження динамічних навантажень у пружних зв'язках механізму під час перехідних процесів, коли навантаження досягають максимальних значень.

2) Аналіз процесів розгойдування підвішеного вантажу, що важливо для безпеки і точності позиціонування робочого органу.

Частоти маятникових коливань вантажу значно нижчі (на порядок і більше) за частоти пружних коливань металоконструкції. Тому при визначенні навантажень у пружних зв'язках, як правило, застосовують двомасову розрахункову схему з пружним механізмом і жорстким підвісом вантажу, у той час як маятникові коливання вантажу, підвішеного до механізму пересування, розглядають на основі аналізу двомасової схеми з гнучким підвісом вантажу та жорстким механізмом.

Для механізмів пересування наведений момент інерції поступально рухомих частин значно перевищує наведений момент інерції обертальних частин. На відміну від механізмів підйому, загальний момент інерції електроприводів механізмів пересування, а особливо механізмів повороту, у 10-30 і більше разів перевищує момент інерції приводного двигуна.

Динамічні навантаження у пружних зв'язках механізмів пересування та повороту, як правило, вищі, ніж у механізмах підйому. Під час роботи підймальних механізмів часто виникає потреба у точному зупиненні вантажу в заданих координатах - наприклад, при точному спуску вантажу, точній зупинці вантажу під час переміщення візка, крана або механізму повороту.

При ручному керуванні позиціонування вантажу здійснюється за участю оператора. Якщо відхилення вантажу від заданої координати перевищує допустимі межі, оператор може виконати коригуючі дії шляхом повторного увімкнення двигуна для доведення вантажу до точного положення.

У випадку автоматизованого керування, наприклад у стелажних кранах-штабелерах, оператор не бере участь у процесі гальмування. Внаслідок цього вимоги до електропривода, пов'язані з забезпеченням точності зупинки вантажу, стають більш суворими та складнішими, ніж у разі ручного керування.

Проте і при ручному керуванні небажано часто повторювати включення двигуна, оскільки це негативно впливає на нагрів, зносостійкість та ресурс електрообладнання.

Більшість кранових механізмів повинні забезпечувати малі швидкості для точної установки вантажів. При автоматизованому керуванні часто задається допустима точність зупинки, на основі якої визначають значення настановної швидкості та відповідну їй жорсткість механічної характеристики.

У разі ручного керування визначення встановленої швидкості розрахунковим шляхом є складним. Зазвичай її визначають на основі досвіду експлуатації діючих установок, з урахуванням особливостей технологічного процесу, який обслуговують підйомні крани.

У кранових електроприводах часто застосовують одну й ту ж знижену швидкість як для точного позиціонування вантажу, так і для обмеження динамічних навантажень механізмів. Для більшості кранових механізмів прийнятний діапазон регулювання швидкості становить приблизно 8-10:1 від номінальної швидкості. У ряді випадків цей діапазон може бути більшим - до 30:1 у механізмах пересування автоматизованих кранів-штабелерів, або меншим залежно від конкретних умов експлуатації.

Під час нормальної роботи механізмів пересування їх приводні колеса перекочуються по рейках без ковзання. Однак при пуску або гальмуванні умови зчеплення коліс з рейками погіршуються, що може призвести до прослизання, а як наслідок – до перекосів підйомника, підвищеного зносу коліс та рейкових колій.

Для забезпечення надійного зчеплення приводних коліс із рейками необхідно обмежувати величину прискорень механізму під час перехідних процесів, що дозволяє зменшити динамічні навантаження на металоконструкції та підвищує довговічність експлуатації підйомника.

3.3 Електрична принципова схема керування електроприводом суднового підйомника

Для реалізації режимів роботи електропривода суднового підйомника запропоновано застосовувати електричну принципову схему наведену на рис. 3.5. Номінальна напруга живлення електропривода суднового підйомника становить

380 В змінного струму при частоті мережі 50 Гц. Електричне живлення на вході електропривода трифазне. Основний перелік вибраного електромеханічного обладнання наведений у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік застосованого обладнання

№ п/п	Найменування	Позначення	Тип
1	Електромагнітні контактори	<i>KL, KS, K1, K2, KF</i>	<i>S-N11</i>
2	Трансформатор	<i>Tr</i>	OM-10/0,38/0,23
3	Автоматичний вимикач	<i>Q1</i>	<i>SH201-B40</i>
4	Автоматичний вимикач	<i>Q2</i>	<i>SH201-B16</i>
5	Мостовий випрямляч	<i>VD</i>	<i>GHE40L</i>
6	Діод	<i>D</i>	<i>1KSMB24A</i>
7	Фільтр радіоперешкод	<i>RFI</i>	<i>4EF1511-8AA10</i>
8	Логічний контролер	<i>LC</i>	<i>UN300</i>
9	Перетворювач частоти	<i>FC</i>	<i>NE300-4T0220G</i>
10	Виконавчий електродвигун	<i>M1</i>	<i>AC2-101-6/24</i>
11	Електромагнітні гальма	<i>EMB (№1, №2)</i>	ТКП-200
12	Гальмівний резистор	<i>RF (№1, №2)</i>	<i>ERBS027R600W</i>

Для зменшення впливу радіоперешкод на експлуатацію суднового підйомника в його системі керування застосовується окремий *RFI* фільтр. Повністю усунути вплив радіоперешкод він не може, проте суттєво їх приглушує, що відповідає вимогам стандарту електромагнітної сумісності *EN 61800-3*.

Місце встановлення фільтра розташоване безпосередньо на введенні електроживлення до перетворювача частоти *FC*. Крім того, слід зазначити, що комутація двох виконавчих електродвигунів *M1* і *M2*, здійснюється із застосуванням електромагнітних контакторів *K1* та *K2*, що забезпечує надійне керування приводом та захист електрообладнання від перенавантажень.

Серед складового обладнання, що входить до механізму забезпечення роботи гальмівної системи підйомника, окрім перетворювача частоти, також присутні електромагнітні гальма *EMB* та контролер *KF*, які забезпечують надійну роботу приводу та контроль за безпекою механізму.

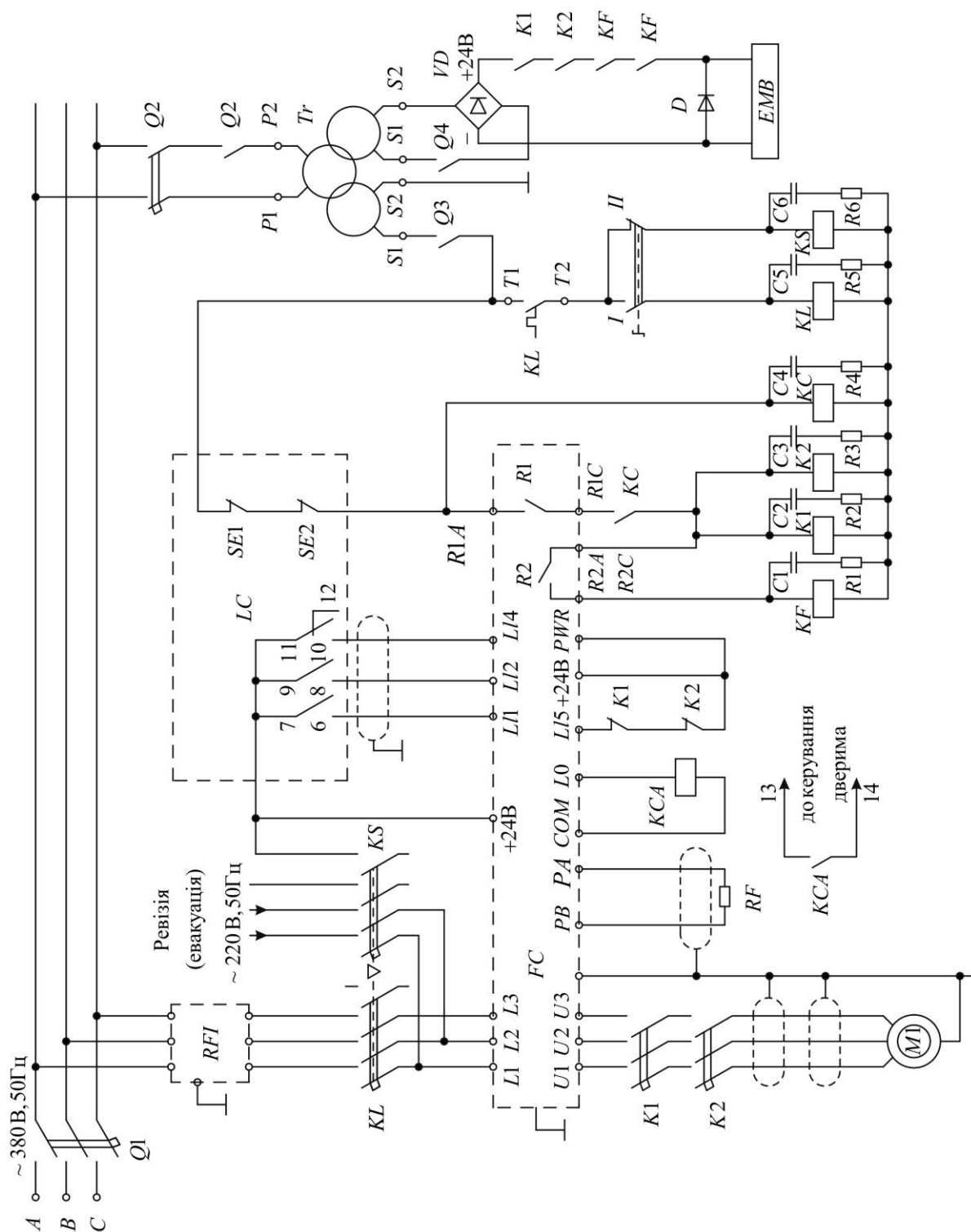


Рисунок 3.5 – Електрична принципова схема керування електроприводом суднового підйомника

Основною функцією електромагнітного контролера є керування силовою частиною електромагнітних гальм *ЕМВ*. Номінальна напруга живлення електромагнітних гальм має надходити від вторинного джерела живлення і становити +48 В. У якості такого джерела використовується мостовий випрямляч *VD*, для захисту від струмів зворотного зв'язку якого застосовується відповідний діод *D*.

Для забезпечення повної зупинки руху електропривода суднового вантажного підйомника може використовуватися гальмівний резистор *RF*. Використовуючи параметри цього резистора, перетворювач частоти здатний забезпечити максимальний перехідний гальмівний момент, що гарантує ефективне та безпечне гальмування механізму.

Електрична принципова схема керування електроприводом суднового вантажного підйомника передбачає роботу в двох режимах: робочому та ревізії.

Робочий режим призначений для повсякденної експлуатації підйомника.

Режим ревізії забезпечує можливість виконання ремонтних та налагоджувальних робіт.

У випадках виникнення проблем з роботою електропривода підйомника спрацьовують відповідні вимикачі *SE1* і *SE2*, які переводять систему у режим ревізії. Якщо ж переведення у цей режим викликане службовою необхідністю, наприклад під час планових оглядів, перемикання між режимами може здійснюватися вручну за допомогою кнопок *I/II*.

Під час роботи в робочому режимі функції комутації виконує електромагнітний контактор *KL*, а під час режиму ревізії – відповідний інший контактор *KS*. Керування обома елементами здійснюється через логічний контролер *LC*, який отримує номінальне живлення +24 В від вторинного джерела електроенергії.

Лініями зв'язку логічного контролера *LC* та перетворювача частоти *FC* є канали перетворювача *L1*, які відповідають за роботу електропривода підйомника під час підйому, спуску, регулювання швидкості руху та керування режимом експлуатації. Зокрема, це канали зв'язку *L11*, *L12*, *L14*, *L15* відповідно.

Контакт KL , на електричній принциповій схемі забезпечує обмеження роботи електропривода підйомника за параметрами номінального температурного режиму. Номінальна напруга для цього контакту є однофазною 220 В змінного струму. Аналогічне живлення отримують електромагнітні контактори KL та KS , а також вимикачі $SE1$ та $SE2$.

Варто зазначити, що електроживлення для цих елементів надходить від двохомоткового трансформатора Tr . За принципом своєї дії, його дві вторинні обмотки гальванічно відокремлені від первинної, проте підтримують той самий рівень напруги. Заземлення одного з контурів вторинних обмоток трансформатора забезпечує безпечні умови експлуатації підйомника у випадку випадкового доторкання до фазної лінії.

3.4 Висновок по розділу

Після вибору необхідного складового електрообладнання розроблено 3D модель конструкції суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т. Виконано аналіз чинників, які визначають межі регулювання швидкості та моменту приводних двигунів. Наведено електричну принципову схему керування електроприводом суднового підйомника з застосуванням перетворювача частоти та логічного програмованого контролера.

4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СУДНОВОГО ПІДЙОМНИКА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 1,5 Т

4.1 Вибір вантажної платформи і визначення швидкості її руху

До експлуатації електропривода суднового підйомника можуть бути залучені лише члени екіпажу судна, а це не більше 8 чоловік, і тільки за умови оформлення відповідного допуску. Висота місця установки ліфта $H_{\text{ш}} = 13,5$ м.

Максимальна висота підняття вантажної кабіни

$$H = H_{\text{ш}} - h_{\text{п}} = 13,5 - 2,7 = 10,8 \text{ м},$$

де $h_{\text{п}} = 2,7$ м – висота одного поверху.

Для експлуатації підйомника на судні, платформою передбачено розміщення вантажів сформованих на $z = 6$ окремих палетах європейського зразка. Габаритний розмір однієї палети становить 800×1200 мм.

Вантажність такого підйомника

$$Q = m \cdot z,$$

де $m = 250$ кг – маса вантажу на одній палеті.

Тоді

$$Q = 250 \cdot 6 = 1500 \text{ кг}.$$

Вага вантажу, що підіймається ліфтом

$$G = Q \cdot g,$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Отже

$$G = 1500 \cdot 9,81 = 14714 \text{ Н.}$$

Для цієї вантажності вибираємо вантажну платформу $m_{\text{кб}} = 1200 \text{ кг}$ та габаритними розмірами: ширина $B_{\text{кб}} = 1550 \text{ мм}$, глибина $L_{\text{кб}} = 1840 \text{ мм}$.

Вага вантажної кабіни

$$G_{\text{кб}} = m_{\text{кб}} \cdot g,$$

$$G_{\text{кб}} = 1200 \cdot 9,81 = 11771 \text{ Н.}$$

Кількість поверхів на які буде переміщуватися вантажі

$$N_{\text{п}} = \frac{H_{\text{ш}}}{h_{\text{п}}},$$

$$N_{\text{п}} = \frac{13,5}{2,7} = 5 \text{ поверхів.}$$

Вибираємо ліфт із середньою швидкістю руху вантажної платформи $v = 0,2 \text{ м/с}$.

4.2 Визначення продуктивності суднового підйомника

Продуктивність суднового підйомника

$$P = \frac{3600 \cdot z}{T} \cdot \varphi,$$

де T – тривалість одного рейсу вантажної платформи

$$T = \frac{2 \cdot H}{v} + t_d,$$

де t_d – час який витрачається на підготовку вантажу до відправлення, пуск і тому подібне

$$t_d = 1,1 \cdot [t_1 \cdot (K + 1) + t_2 \cdot z \cdot \varphi],$$

де $t_1 = 17$ с – час, який витрачається на пуск і зупинення підйомника;

$\varphi = 0,8$ – коефіцієнт заповнення вантажної платформи.

Тоді

$$t_d = 1,1 \cdot [17 \cdot 2 + 6 \cdot 0,8] = 42,7 \text{ с.}$$

Відповідно

$$T = \frac{2 \cdot 10,8}{0,2} + 42,7 = 151 \text{ с.}$$

Отже, продуктивність суднового підйомника становитиме

$$\Pi = \frac{3600 \cdot 6}{151} \cdot 0,8 = 114 \text{ палет/год.}$$

Визначаємо розрахунковий вантажопотік за 5 хвилин

$$\Pi_5 = K_0 \cdot \Pi,$$

де $K_0 = 0,07$ – дослідний коефіцієнт.

Таким чином

$$\Pi_5 = 0,07 \cdot 114 = 8 \text{ палет.}$$

Розрахунковий вантажопотік за 1 год

$$\Pi_p = \frac{60}{5} \cdot \Pi_5,$$

$$\Pi_p = \frac{60}{5} \cdot 8 = 96 \text{ палет/год.}$$

Достатня кількість підйомників для обробки такого вантажопотоку

$$z_{\text{л}} = \frac{\Pi_p}{\Pi},$$

$$z_{\text{л}} = \frac{96}{114} \approx 1.$$

Отже, на судні одного підйомника буде достатньо. Тривалість очікування оператора повернення вантажної кабіни з останнього поверху на перший

$$t_{\text{оч}} = \frac{T}{z_{\text{л}}} = \frac{151}{1} = 151 \text{ с.}$$

Для суднового підйомника визначена тривалість очікування є достатньою.

4.3 Вибір вантажопідіймального каната

Для підйомника з канатоведучим шківом вантажністю $Q = 1500$ кг, діаметр привідного шківа становить 800 мм. Попередньо приймаємо кількість підіймальних канатів $z_k = 1$.

Канат, призначений для підвішування вантажної кабіни, розраховується за статичним натягом від ваги кабіни $G_{\text{кб}}$, ваги номінального вантажу G і максимальної власної ваги каната G_k (коли вантажна кабіна внизу).

Сила натягу одного каната

$$S = \frac{G + G_{\text{кб}} + G_k}{z_k},$$

де G_k – вага каната типу ЛК-РО діаметром $d_k = 9$ мм, який попередньо передбачено використовувати в підйомних механізмах.

$$G_k = q_k \cdot L_k,$$

де q_k – лінійна (погонна) вага каната

L_k – довжина канатів, коли вантажна платформа внизу.

Лінійна вага каната

$$q_k = m_k \cdot g,$$

де $m_k = 1,04$ кг/м – лінійна (погонна) маса каната.

Довжина канатів

$$L_k = z_k \cdot (H_{\text{ш}} - h_{\text{кб}} + h_0 + h_{\text{рез}}),$$

де $h_{\text{кб}} = 2,5$ м – висота вантажної кабіни з вантажем;

$h_0 = 0,2$ м – відстань від стелі верхнього поверху до центра канатоведучого шківів;

$h_{\text{рез}} = 2$ м – резервна довжина каната.

Отже

$$L_k = (13,5 - 2,5 + 0,2 + 2) = 13,2 \text{ м.}$$

Тоді, лінійна вага каната

$$q_k = 1,04 \cdot 9,81 = 10,2 \text{ Н/м.}$$

Вага каната типу ЛК-РО

$$G_k = 10,2 \cdot 12,2 = 125 \text{ Н.}$$

Відповідно сила натягу одного каната

$$S = \frac{14714 + 11771 + 125}{1} = 26610 \text{ Н.}$$

Розривна сила каната

$$S_p \geq k_k \cdot S,$$

де $k_k = 9$ – запас міцності каната.

Отже

$$S_p \geq 9 \cdot 26620 = 239580 \text{ Н.}$$

Попередньо, до перевірки каната за допустимим тиском на шків, вибираємо канат типу ЛК-РО з границею міцності дротів $\sigma_b = 1860$ МПа, діаметром $d_k = 9$ мм, з лінійною (погонною) масою $m_k = 0,52$ кг/м ($q_k = 5,1$ Н/м) та розривною силою всіх дротів $G_z = 47,4$ кН – найближче більше табличне значення відносно S_p .

Щоб остаточно вибрати канат, перевіряємо його за допустимим тиском на канатоведучий шків. Робочий профіль шківа має підріз з кутом $\beta = 100^\circ$. При такому підрізі зведений коефіцієнт тертя між канатом і шківом $\mu = 0,194$.

Допустиме навантаження на кожний канат

$$S = d_k \cdot D_{ш} \cdot p \cdot \frac{3,14 - \beta - \sin \beta}{8 \cos(\beta / 2)},$$

де p – допустимий тиск між канатом і шківом: щоб запобігти надмірному спрацюванню шківа і каната, допустимий тиск беремо з 15% запасом, тобто

$$p = 0,85 \cdot p_{\max},$$

де $p_{\max} = 10$ МПа – максимально допустимий тиск для підйомника з канатоведучим шківом у режимі інтенсивної роботи.

Отже

$$p = 0,85 \cdot 10,$$

$$p = 8,5 \text{ МПа.}$$

Таким чином, допустиме навантаження на кожний канат

$$S = 0,009 \cdot 0,6 \cdot 8,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 - 1,745 - \sin 100^\circ}{8 \cdot \cos(100^\circ / 2)} = 3658 \text{ Н.}$$

Кількість канатів

$$z_k = \frac{G + G_{\text{кб}} + G_k}{S},$$

$$z_k = \frac{14714 + 11771 + 135}{26620} = 1.$$

Діаметр канатоведучого шківa має задовольняти умову

$$D_{\text{ш}} \geq e \cdot d_k,$$

де $e = 30$ – коефіцієнт, який залежить від типу і швидкості ліфта.

Таким чином, виконується умова $600 \geq 30 \cdot 9 = 270 \text{ мм.}$

Остаточно приймаємо $z_k = 4$ шт. і вибираємо канат виконаний у вигляді металевго каната конструкції 6хх25 мм, з границею міцності $\sigma_b = 1860 \text{ МПа.}$

4.4 Розрахунок кінематичних параметрів суднового підйомника

Для розрахунку кінематичних параметрів вибираємо п'ятиперіодну робочу діаграму. Середня швидкість руху кабіни $v = 0,2$ м/с.

Беремо прискорення:

– під час пуску $a_1 = 0,6$ м/с².

– під час гальмування $a_3 = 0,6$ м/с² і $a_5 = 0,3$ м/с².

Вага противаги

$$G_{\text{пр}} = G_{\text{пр}} + \psi_{\text{зр}} \cdot G,$$

де $\psi_{\text{зр}} = 0,8$ – коефіцієнт зрівноважування ваги вантажу, що відповідає коефіцієнту використання підйомника $\phi = 0,8$.

Розрахункова потужність привідного механізму підйомника

$$P = \frac{F \cdot v}{\eta_{\text{ред}}},$$

де F – колова сила на шківу;

$\eta_{\text{ред}} = 0,7$ – коефіцієнт корисної дії черв'ячного редуктора.

Відповідно

$$F = G \cdot (1 - \psi_{\text{зр}}) + G_{\text{к}} + W,$$

де W – додатковий опір рухові кабіни.

Таким чином

$$W = K_1 \cdot G,$$

де $K_1 = 0,04$ – коефіцієнт, який враховує опір рухові вантажної платформи в напрямних.

Отже, додатковий опір рухові вантажної платформи

$$W = 0,04 \cdot 14714 = 589 \text{ Н.}$$

Тоді, колова сила на шківу

$$F = 14714 + 11771 + 135 + 589 - 23542 = 3667 \text{ Н.}$$

За розрахунковою потужністю вибираємо електродвигун типу *АС2-101-6/24* потужністю $P = 20$ кВт, частота обертання валу $n = 930$ об/хв.

Коефіцієнт перевантаження

$$\psi = \frac{M_{\max}}{M_{\text{н}}},$$

де $M_{\max} = 2,8$ – відношення максимального моменту;

$M_{\text{н}} = 1,8$ – відношення номінального моменту.

Отже

$$\psi = \frac{2,6}{1,7} = 1,53.$$

Момент інерції ротора $I_p = 0,234 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, моменті інерції гальмівного шківа, встановленого на валу двигуна $I_{\text{гш}} = 0,133 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

У третього періоді робочої діаграми, щоб перейти на знижену швидкість, електродвигун перемикають на знижену частоту обертання, при цьому швидкість руху вантажної кабіни

$$v_{p.k6} = n_n \cdot v,$$

де $n_1 = 930$ об/хв – вибрана висока швидкість роботи електродвигуна з урахуванням номінальної;

$n_2 = 195$ об/хв – вибрана низька швидкість роботи електродвигуна з урахуванням номінальної.

$$v_{p.k6} = \frac{195}{930} \cdot 0,2 = 0,04 \text{ м/с.}$$

Параметри діаграми:

– тривалість руху вантажної платформи

$$t_{p.k6} = \frac{H}{v},$$

$$t_{p.k6} = \frac{10,8}{0,2} = 54 \text{ с.}$$

– тривалість пуску в першому періоді

$$t_1 = \frac{v}{a_1},$$

$$t_1 = \frac{0,2}{0,6} = 0,33 \text{ с.}$$

– шлях, пройдений вантажною кабіною за час пуску

$$h_1 = \frac{0 + v}{2} \cdot t_1,$$

$$h_1 = \frac{0 + 0,2}{2} \cdot 0,33 = 0,033 \text{ м.}$$

– умовна швидкість

$$v_y = v - v_{\text{р.кб}},$$

$$v_y = 0,2 - 0,04 = 0,16 \text{ м/с.}$$

– тривалість гальмування у третьому періоді

$$t_3 = \frac{v_y}{a_3},$$

$$t_3 = \frac{0,16}{0,6} = 0,267 \text{ с.}$$

– шлях, пройдений вантажною кабіною за час гальмування в третьому періоді

$$h_3 = \frac{v_y + 0}{2} \cdot t_3,$$

$$h_3 = \frac{0,16}{2} \cdot 0,267 = 0,021 \text{ м.}$$

– тривалість гальмування в п'ятому періоді

$$t_5 = \frac{v_{p.k\delta}}{a_5},$$

$$t_5 = \frac{0,04}{0,3} = 0,13 \text{ с.}$$

– шлях, пройдений кабіною за час гальмування в п'ятому періоді

$$h_5 = \frac{0 + v_{p.k\delta}}{2} \cdot t_5,$$

$$h_5 = \frac{0,04}{2} \cdot 0,13 = 0,0026 \text{ м.}$$

Довжина шляху, який вантажна кабіна проходить зі швидкістю $v_{p.k\delta} = 0,04 \text{ м/с}$, $h_4 = 1 \text{ м}$, тривалість цього руху

$$t_4 = \frac{h_4}{v_{p.k\delta}},$$

$$t_4 = \frac{1}{0,04} = 25 \text{ с.}$$

Щоб визначити максимальну швидкість руху вантажної кабіни $v_{\max}$, фактичну п'ятиперіодну діаграму її швидкості замінюємо умовною триперіодною з параметрами: висота підняття H_y , тривалість руху t , швидкість руху $v_{t.y}$.

Час для реалізації умовної триперіодної діаграми

$$t_y = t_{p.k\bar{b}} - \frac{v_{p.k\bar{b}}}{a_1} - \frac{h_4}{v_{p.k\bar{b}}} - \frac{v_{p.k\bar{b}}}{a_5},$$

$$t_y = 54 - \frac{0,04}{0,6} - \frac{1}{0,04} - \frac{0,04}{0,3} = 28,8 \text{ с},$$

$$t_1'' = \frac{v_{p.k\bar{b}}}{a_1},$$

$$t_1'' = \frac{0,04}{0,6} = 0,067 \text{ с},$$

$$t_1' = t_1' - t_1'',$$

$$t_1' = 0,33 - 0,067 = 0,27 \text{ с},$$

$$h_1'' = \frac{0 + v_{p.k\bar{b}}}{2} \cdot t_1'',$$

$$h_1'' = \frac{0,04}{2} \cdot 0,067 = 0,0013 \text{ м}.$$

За умовною триперіодною діаграмою швидкості руху вантажної кабіни:

— довжина шляху

$$H_y = H_y - h_1'' - h_4 - h_5 - v_{p.k\bar{b}} \cdot t_y,$$

$$H_y = 10,8 - 0,0013 - 1 - 0,0027 - 0,04 \cdot 28,8 = 8,64 \text{ м}.$$

– біном прискорень

$$\xi_{\alpha} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3},$$

$$\xi_{\alpha} = \frac{1}{0,6} + \frac{1}{0,6} = 3,33 \text{ (м/с}^2\text{)}^{-1},$$

– константа кінематичного режиму

$$E_{\alpha} = \frac{t_y^2}{\xi_{\alpha} \cdot H_y},$$

$$E_{\alpha} = \frac{28,8^2}{3,33 \cdot 8,64} = 28,8,$$

– множник швидкості

$$\alpha = E_{\alpha} - \sqrt{E_{\alpha}^2 - 2 \cdot E_{\alpha}},$$

$$\alpha = 28,8 - \sqrt{28,8^2 - 2 \cdot 28,8} = 1,02.$$

– максимальна швидкість

$$v_{\max y} = \alpha \cdot \frac{H_y}{t_y},$$

$$v_{\max y} = 1,02 \cdot \frac{8,64}{28,8} = 0,306 \text{ м/с}.$$

Максимальна швидкість за фактичною діаграмою

$$v_{\max} = v_{\max y} + v_{p.кб},$$

$$v_{\max} = 0,306 + 0,04 = 0,346 \text{ м/с.}$$

Частота обертання канатоведучого шківа

$$n_{ш} = \frac{60 \cdot v_{\max}}{3,14 \cdot D_{ш}},$$

$$n_{ш} = \frac{60 \cdot 0,346}{3,14 \cdot 0,6} = 11 \text{ об/хв.}$$

Передатне число редуктора, що відповідає максимальній швидкості вантажної кабіни

$$u_p = \frac{n}{n_{ш}},$$

$$u_p = \frac{930}{11} = 94,5.$$

Щоб забезпечити максимальну швидкість, вибираємо стандартний редуктор підіймальної лебідки Ц2-350-1000 з передатним числом $u_{л} = 85$. Тоді фактична частота обертання шківа

$$n_{ш.ф} = \frac{n}{u_{л}},$$

$$n_{\text{ш.ф}} = \frac{930}{85} = 10,9 \text{ об/хв.}$$

Фактична максимальна швидкість руху вантажної платформи

$$v_{\text{max}} = \frac{3,14 \cdot D_{\text{ш}} \cdot n_{\text{ш.ф}}}{60},$$

$$v_{\text{max}} = \frac{3,14 \cdot 0,6 \cdot 10,9}{60} \approx 0,34 \text{ м/с.}$$

4.5 Розрахунок силових параметрів підйомника

Визначимо повну масу частин суднового підйомника, зведену до твірної канатоведучого шківа.

Зведені до твірної шківа маси:

– ротор двигуна

$$m_p = \frac{I_p}{R_{\text{ш}}^2} \cdot u_{\text{л}}^2,$$

де радіус барабана визначається за формулою

$$R_{\text{ш}} = \frac{D_{\text{ш}}}{2},$$

$$R_{\text{ш}} = \frac{0,6}{2} = 0,3 \text{ м.}$$

Таким чином, маса ротора становитиме

$$m_p = \frac{0,234}{0,3^2} \cdot 85^2 = 18,785 \text{ кг},$$

– гальмівного шківa

$$m_{\text{гш}} = \frac{I_{\text{гш}}}{R_{\text{ш}}^2} \cdot u_{\text{л}}^2,$$

$$m_{\text{гш}} = \frac{0,133}{0,3^2} \cdot 85^2 = 10,676 \text{ кг}.$$

– редуктора

$$m_{\text{ред}} = \frac{I_{\text{ред}}}{R_{\text{ш}}^2} \cdot u_{\text{л}}^2,$$

де $I_{\text{ред}}$ – момент інерції редуктора, зведений до швидкохідного вала, що визначається за формулою

$$I_{\text{ред}} = (\delta - 1) \cdot (I_p + I_{\text{гш}}),$$

$$I_{\text{ред}} = (1,05 - 1) \cdot (0,234 + 0,133) = 0,0183 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Отже, маса редуктора

$$m_{\text{ред}} = \frac{0,0183}{0,3^2} \cdot 85^2 = 146,9 \text{ кг}.$$

– привідного шківа

$$m_{\text{ш}} = \frac{I_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}^2},$$

де $I_{\text{ш}} = 46,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції канатоведучого шківа.

Таким чином, маса привідного шківа

$$m_{\text{ш}} = \frac{46,2}{0,3^2} = 513 \text{ кг},$$

Маса вантажу $m_{\text{п}} = 1500 \text{ кг}$. Маса вантажної кабіни $m_{\text{кб}} = 1200 \text{ кг}$. Маса противаги $m_{\text{пр}} = 2399 \text{ кг}$.

Маса каната

$$m_{\text{к}} = m_{\text{кб}} \cdot L_3,$$

де L_3 – загальна довжина каната, що визначається виразом

$$L_3 = L_{\text{к}} + L_{\text{кп}},$$

де $L_{\text{к}} = 22,1 \text{ м}$ – довжина каната з боку вантажної кабіни, коли вона внизу;

$L_{\text{кп}}$ – довжина каната з боку противаги, коли вантажна кабіна вгорі, і ділянка каната, що огинає шків

$$L_{\text{кп}} = z_{\text{к}} \cdot \left[h_0 + (h_{\text{п}} - h_{\text{пр}}) + 0,5 \cdot 3,14 \cdot D_{\text{ш}} + h_{\text{рез}} \right],$$

де $h_{\text{пр}} = 5,1 \text{ м}$ – висота противаги.

Відповідно, довжина каната з боку противаги

$$L_{\text{кп}} = [0,2 + (2,7 - 5,1) + 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,6 + 2] = 0,742 \text{ м.}$$

Таким чином, загальна довжина каната

$$L_3 = 22,1 \cdot 2 + 0,742 = 45 \text{ м.}$$

Отже, повна маса каната

$$m_k = 1,04 \cdot 27,1 = 46,8 \text{ кг.}$$

Повна маса частин шківів, зведена до твірної шківів

$$m = m_p + m_{\text{гш}} + m_{\text{ред}} + m_{\text{ш}} + m_{\text{пр}} + m_{\text{кб}} + m_{\text{пр}} + m_k,$$

$$m = 18785 + 10676 + 1469 + 513 + 1500 + 1200 + 2399 + 46,8 = 3,675 \text{ кг.}$$

Розрахуємо рухомі зусилля на ободі канатоповодного шківів.

Зусилля на першому етапі руху

$$F_1 = k \left[(1 - \psi_{\text{зр}}) \cdot G + q_k \cdot L_k \right] + a_1 \cdot m,$$

де $k=1,07$ – коефіцієнт, який враховує шкідливий опір рухові: для підйомників вантажністю до 2 т з ковзними башмаками.

Відповідно, зусилля на першому етапі руху

$$F_1 = 1,07 \left[(1 - 0,8) \cdot 14714 + 10,2 \cdot 22,1 \right] + 0,6 \cdot 3675 = 25234 \text{ Н.}$$

Зусилля на початку другого етапу руху

$$F_2 = k \left[(1 - \psi_{\text{зп}}) \cdot G + q_{\text{к}} \cdot L_{\text{к}} \right],$$

$$F_2 = 1,07 \left[(1 - 0,8) \cdot 14714 + 10,2 \cdot 22,1 \right] = 3292 \text{ Н.}$$

Зусилля наприкінці цього етапу

$$F'_2 = k \left[(1 - \psi_{\text{зп}}) \cdot G + 4 \cdot q_{\text{к}} (h_1 + h_0) \right],$$

$$F'_2 = 1,07 \left[(1 - 0,8) \cdot 14714 + 4 \cdot 10,2 (0,033 + 0,2) \right] = 3158 \text{ Н.}$$

Зусилля на початку третього етапу руху

$$F_3 = k \left[(1 - \psi_{\text{зп}}) \cdot G + 4 \cdot q_{\text{к}} (h_1 + h_0) \right] - m \cdot a_3,$$

$$F_3 = 1,07 \left[(1 - 0,8) \cdot 14714 + 4 \cdot 10,2 \cdot (0,033 + 0,2) \right] - 0,6 \cdot 3675 = -18783 \text{ Н.}$$

Зусилля наприкінці цього етапу

$$F'_3 = F_3 = -18780 \text{ Н.}$$

Оскільки в третьому періоді $F < 0$, то таке зусилля забезпечується двигуном у режимі генераторного гальмування.

Третій період починається з моменту перемикання обмотки з високою частотою обертання на обмотку з малою частотою; у цей час відбувається генераторне гальмування.

Зусилля на початку і наприкінці п'ятого етапу руху

$$F_4 = F'_4 = k \left[(1 - \psi_{\text{зп}}) \cdot G + 4 \cdot q_{\text{к}} (h_1 + h_0) \right],$$

$$F_4 = F'_4 = 1,07 \left[(1 - 0,8) \cdot 14714 + 4 \cdot 10,2 (0,033 + 0,2) \right] = 3158 \text{ Н.}$$

Зусилля на початку і наприкінці п'ятого етапу руху

$$F_5 = F'_5 = k \left[(1 - \psi_{\text{зп}}) \cdot G + 4 \cdot q_{\text{к}} (h_1 + h_0) \right] - m \cdot a_5,$$

$$F_5 = F'_5 = 1,07 \left[(1 - 0,8) \cdot 14714 + 4 \cdot 10,2 (0,033 + 0,2) \right] - 0,3 \cdot 3637 = -7812 \text{ Н.}$$

Еквівалентна тривалість роботи двигуна протягом одного циклу в режимі двигуна

$$T_e = \alpha \cdot (t_1 + t_2 + t_4 + t_5) + t_2 + \beta_0 \cdot t_{\text{дод}},$$

де параметри часу та швидкості визначаються з рівнянь

$$t_1 = \frac{v_{\phi}}{a_1},$$

$$t_1 = \frac{0,34}{0,6} = 0,567 \text{ с,}$$

$$v_{\text{ркф}} = v_{\phi} \frac{n_2}{n_1},$$

$$v_{\text{ркф}} = 0,34 \cdot \frac{195}{930} \approx 0,1 \text{ м/с},$$

$$t_3 = \frac{v_{\phi} - v_{\text{ркф}}}{a_3},$$

$$t_3 = \frac{0,34 - 0,1}{0,6} = 0,4 \text{ с},$$

$$t_5 = \frac{v_{\text{ркф}}}{a_5},$$

$$t_5 = \frac{0,1}{0,3} = 0,33 \text{ с},$$

$$t_2 = \frac{H_p}{v_{\phi}},$$

де H_p – шлях рівномірного руху при фактичній швидкості руху вантажної кабіни, що визначається з виразу

$$H_p = H - h_1 - h_3 - h_5,$$

де шляхи руху h визначаються через рівняння

$$h_1 = \frac{v_{\phi} + 0}{2} \cdot t_1,$$

$$h_1 = \frac{0,34}{2} \cdot 0,567 = 0,0964 \text{ м},$$

$$h_3 = \frac{v_{\phi} - v_{\text{ркф}}}{2} \cdot t_3,$$

$$h_3 = \frac{0,34 - 0,1}{2} \cdot 0,4 = 0,048 \text{ м},$$

$$h_5 = \frac{v_{\text{ркф}}}{2} \cdot t_5,$$

$$h_5 = \frac{0,1}{2} \cdot 0,33 \approx 0,017 \text{ м}.$$

Уточнюємо додатковий час при підйманні повністю завантаженої вантажної кабіни підйомника на верхній поверх

$$t_{\text{дод}} = 1,1 \cdot [t_1(k+1) + t_2 \cdot z \cdot \phi],$$

де $k=1$ – якщо кабіна зупинилася на верхньому поверсі.

Таким чином, додатковий час

$$t_{\text{дод}} = 1,1 \cdot [17 \cdot (1+1) + 6 \cdot 0,8] = 42,7 \text{ с}.$$

Тобто, еквівалентна тривалість роботи двигуна протягом одного циклу в режимі двигуна

$$T_e = \frac{2}{3} \cdot (0,567 + 0,4 + 10 + 0,33) + 31,2 + \frac{1}{3} \cdot 42,7 = 53 \text{ с}.$$

Щоб розрахувати потужність підіймального двигуна, визначимо еквівалентне зусилля

$$F_e = \sqrt{\frac{\int_0^T F^2 dt}{T_e}},$$

де інтеграл набуває виду

$$\int_0^T F^2 dt = F_1^2 \cdot t_1 + \frac{F_2^2 + (F_2')^2}{2} \cdot t_2 + F_3^2 \cdot t_3 + F_4^2 \cdot t_4 + F_5^2 \cdot t_5,$$

$$\int_0^T F^2 dt = 25234^2 \cdot 0,567 + \frac{3292^2 + 3158^2}{2} \cdot 31,2 + 261200000,$$

$$\int_0^T F^2 dt = 9,47 \cdot 10^{-8} \text{ Н}^2 \cdot \text{с}.$$

Таким чином, еквівалентне зусилля

$$F_e = \sqrt{\frac{9,47 \cdot 10^{-8}}{53}} = 4227 \text{ Н}^2 \cdot \text{с}.$$

Еквівалентна потужність підіймального двигуна

$$P_e = \frac{F_e \cdot v_{\max \phi}}{10^3 \cdot \eta_p},$$

$$P_e = \frac{4227 \cdot 0,34}{10^3 \cdot 0,67} = 2,15 \text{ кВт}.$$

Отже, вибраний раніше електродвигун повністю забезпечує роботу суднового підйомника.

Номінальне зусилля на канатоведучому шківу

$$F_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{п}}}{v_{\text{max}}},$$

$$F_{\text{н}} = \frac{20000 \cdot 0,67}{0,34} = 39411 \text{ Н.}$$

Кратність пускового зусилля (моменту)

$$\psi = \frac{F_{\text{max}}}{F_{\text{н}}},$$

$$\psi = \frac{25234}{39411} = 0,64 < (\psi) = 2,8.$$

Вибрані електродвигуни повністю забезпечують стабільний пуск із заданим прискоренням вантажної кабіни підйомника.

4.6 Перевірка канатоведучого шківа на буксування

Повністю завантажена кабіна на першому поверсі має бути запущена без пробуксовування канатоведучого шківа відносно підйимального каната. Для цього має виконуватися умова

$$S_{\text{нб.д}} \leq S_{\text{зб.д}} \cdot e^{\mu\pi},$$

де $S_{\text{нб.д}}$ — зусилля в набіжній вітці підйимального каната в період запуску;

$S_{зб.д}$ – зусилля в збіжній вітці підіймального каната;

$\mu = 0,192$ – зведений коефіцієнт тертя між канатами і шківом, при $\beta = 100^\circ$.

Відповідно

$$S_{нб.д} = G + G_{кб} + G_k + W + m_1 \cdot a_1,$$

де $m_1 = 2713$ кг – маса підвісу з боку вантажної кабіни.

Отже, зусилля в набіжній вітці підіймального каната в період запуску

$$S_{нб.д} = 14714 + 11771 + 135 + 589 + 0,6 \cdot 2713 = 28836 \text{ Н},$$

$$S_{зб.д} = G_{пр} + G_{к2} - m_2 \cdot a_1,$$

де $m_2 = 2399$ кг – маса підвісу з боку противаги;

$G_{к2} \approx 8$ кг – вага каната з боку противаги.

Таким чином, зусилля в збіжній вітці підіймального каната

$$S_{зб.д} = 23542 + 8 - 2399 \cdot 0,6 = 22110 \text{ Н}.$$

Після підстановки числових значень маємо

$$S_{нб.д} \leq 22110 \cdot 2,71^{0,194 \cdot 3,14} = 40657 \text{ Н}.$$

Отже, буксування немає.

4.7 Розрахунок енергетичних параметрів суднового підйомника

Потужність підйимального двигуна та споживану енергію визначаємо для одного випадку, а саме, коли кабіна підіймається з номінальним вантажем з першого поверху на верхній.

Розраховуємо потужність на валу двигуна $P_{\text{в}}$ та потужність $P_{\text{м}}$, яка споживається із мережі.

На початку підймання (розгін при підйманні)

$$P_{\text{в1}} = \frac{F_1 \cdot 0}{2},$$

$$P_{\text{в1}} = \frac{25234 \cdot 0}{2} = 0,$$

$$P_{\text{м1}} = \frac{F_1 \cdot v_{\text{max}\phi}}{\eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{дв}}},$$

де $\eta_{\text{дв}} = 0,92$ – коефіцієнт корисної дії двигуна.

Таким чином

$$P_{\text{м1}} = \frac{25234 \cdot 0,34}{0,67 \cdot 0,92} = 13,92 \text{ кВт.}$$

У кінці розгону

$$P'_{\text{в1}} = \frac{F_1 \cdot v_{\text{max}\phi}}{\eta_{\text{р}}},$$

$$P'_{\text{в1}} = \frac{25234 \cdot 0,34}{0,67} = 12,81 \text{ кВт},$$

$$P'_{\text{м1}} = \frac{F_1 \cdot v_{\text{max}\phi}}{\eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{дв}}},$$

$$P'_{\text{м1}} = \frac{25234 \cdot 0,34}{0,67 \cdot 0,92} = 13,92 \text{ кВт}.$$

На початку рівномірного руху

$$P_{\text{в2}} = \frac{F_2 \cdot v_{\text{max}\phi}}{\eta_{\text{п}}},$$

$$P_{\text{в2}} = \frac{3292 \cdot 0,34}{0,67} = 1,67 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{м2}} = \frac{F_2 \cdot v_{\text{max}\phi}}{\eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{дв}}},$$

$$P_{\text{м2}} = \frac{3292 \cdot 0,34}{0,67 \cdot 0,92} = 1,82 \text{ кВт}.$$

Наприкінці рівномірного руху

$$P'_{\text{в2}} = \frac{F'_2 \cdot v_{\text{max}\phi}}{\eta_{\text{п}}},$$

$$P'_{\text{в2}} = \frac{3158 \cdot 0,34}{0,67} = 1,6 \text{ кВт},$$

$$P'_{\text{м2}} = \frac{F'_2 \cdot v_{\text{max}\phi}}{\eta_{\text{p}} \cdot \eta_{\text{дв}}},$$

$$P'_{\text{м2}} = \frac{3158 \cdot 0,34}{0,67 \cdot 0,92} = 1,74 \text{ кВт},$$

На початку уповільнення в третьому періоді

$$P_{\text{в3}} = F_3 \cdot v_{\text{max}\phi} \cdot \eta_{\text{p}},$$

$$P_{\text{в3}} = -18783 \cdot 0,34 \cdot 0,67 = -4,28 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{м3}} = F_3 \cdot v_{\text{max}\phi} \cdot \eta_{\text{p}} \cdot \eta_{\text{дв}},$$

$$P_{\text{м3}} = -18783 \cdot 0,34 \cdot 0,67 \cdot 0,92 = -3,94 \text{ кВт}.$$

Наприкінці уповільнення в цьому періоді

$$P'_{\text{в3}} = F'_3 \cdot v_{\text{ркф}} \cdot \eta_{\text{p}},$$

$$P'_{\text{в3}} = -18783 \cdot 0,1 \cdot 0,67 = -1,26 \text{ кВт},$$

$$P'_{\text{м3}} = F'_3 \cdot v_{\text{max}\phi} \cdot \eta_{\text{p}} \cdot \eta_{\text{дв}},$$

$$P'_{\text{м3}} = -18783 \cdot 0,34 \cdot 0,67 \cdot 0,92 = -3,94 \text{ кВт},$$

На початку рівномірного руху в четвертому періоді

$$P_{\text{в4}} = \frac{F_4 \cdot v_{\text{ркф}}}{\eta_{\text{р}}},$$

$$P_{\text{в4}} = \frac{3158 \cdot 0,1}{0,67} \approx 0,471 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{м4}} = \frac{F_4 \cdot v_{\text{махф}}}{\eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{дв}}},$$

$$P_{\text{м4}} = \frac{3158 \cdot 0,34}{0,67 \cdot 0,92} = 1,74 \text{ кВт}.$$

Наприкінці рівномірного руху в цьому періоді

$$P'_{\text{в4}} = P_{\text{в4}} = 0,471 \text{ кВт},$$

$$P'_{\text{м4}} = P_{\text{м4}} = 1,74 \text{ кВт}.$$

На початку уповільнення в п'ятому періоді

$$P_{\text{в5}} = \frac{F_5 \cdot v_{\text{ркф}}}{\eta_{\text{р}}},$$

$$P_{\text{в5}} = \frac{-7812 \cdot 0,1}{0,67} \approx -1,165 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{м5}} = \frac{F_5 \cdot v_{\text{махф}}}{\eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{дв}}},$$

$$P_{м5} = \frac{-7812 \cdot 0,04}{0,67 \cdot 0,92} = -0,51 \text{ кВт.}$$

Наприкінці уповільнення в цьому періоді

$$P'_{в5} = \frac{F'_5 \cdot 0}{\eta_p},$$

$$P'_{в5} = \frac{-7812 \cdot 0}{0,67} = 0,$$

$$P'_{м5} = \frac{F'_5 \cdot v_{\max\phi}}{\eta_p \cdot \eta_{дв}},$$

$$P'_{м5} = \frac{-7812 \cdot 0,04}{0,67 \cdot 0,92} = -0,507 \text{ кВт.}$$

4.8 Висновок по розділу

На основі проведених математичних розрахунків виконано вибір підйимальної кабіни та швидкості її руху. Виконано вибір підйимального канату. Визначено потужність виконавчого асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Проведено розрахунок кінематичних, силових і енергетичних параметрів суднового підйомника. Виконано перевірки канатоведучого шківів на буксування. Розраховано продуктивність суднового підйомника. Отримані у розділі результати в повній мірі засвідчують працездатність розробки.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що впливають на організм людини

Трудова діяльність людини завжди пов'язана з впливом виробничого середовища, характеристики якого за умов порушення санітарних норм можуть негативно позначатися на стані здоров'я та ефективності роботи персоналу.

Під небезпечним виробничим фактором розуміють такий вплив елементів робочого середовища, який за певних обставин здатний спричинити травмування працівника або раптове погіршення його фізичного стану (визначення згідно з ГОСТ 12.0.002-2003).

Шкідливим фактором вважається будь-який чинник, дія якого в конкретних умовах праці може викликати професійне захворювання або призвести до довготривалого зниження працездатності.

До таких факторів належать: токсичні газоподібні речовини, промислові випари, пилові домішки, надмірний шум, несприятливі параметри мікроклімату, недостатній рівень освітлення, вплив патогенних мікроорганізмів, а також різні види шкідливих комах.

Рівень концентрації та тривалість впливу виробничих чинників визначають характер їх дії: деякі шкідливі фактори за певних умов можуть переходити у категорію небезпечних. Так, надмірна кількість токсичних речовин у повітрі робочої зони або значне підвищення температури довкілля здатні викликати різке погіршення самопочуття працівника вже через короткий проміжок часу. Через це провести однозначну межу між поняттями «шкідливий» і «небезпечний» фактор інколи неможливо – один і той самий чинник за певних параметрів діє лише як шкідливий, а за інших перетворюється на небезпечний.

Шкідливою речовиною вважають таку сполуку, яка при контакті з організмом людини та при недотриманні правил безпеки може стати причиною професійних

захворювань, виробничих травм або інших стійких порушень здоров'я. Подібні наслідки можуть проявлятися як під час виконання роботи, так і в подальші етапи життя, інколи навіть у наступних поколіннях (визначення відповідно до ГОСТ 12.1.007-76).

До шкідливих речовин належать різноманітні лакофарбові матеріали, органічні розчинники, мастильні склади, токсичні гази та пилові домішки, а також інші хімічні або фізичні агенти, що застосовуються або виникають під час технологічних процесів.

Окрім впливу небезпечних і шкідливих чинників, умови праці формуються загальною виробничою обстановкою та особливостями трудового процесу. Норми ГОСТ 12.0.003-74 встановлюють класифікацію небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НШВФ), розподіляючи їх за характером дії на чотири основні групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

До фізичних факторів належать різноманітні прояви механічного, теплового, електричного або хвильового впливу. Серед них – робота поруч із рухомими механізмами, наявність незахищених гострих елементів конструкцій, виконання завдань на висоті, ризик падіння предметів, підвищена концентрація пилу й аерозолів різного походження. Також до цієї групи відносяться іонізуюче та інші види випромінювання, електрична напруга, електромагнітні та магнітні поля, статична електрика, інтенсивний шум або вібрації. Фізичними факторами вважаються і несприятливі метеорологічні параметри, зокрема надто висока або низька температура, зміна вологості, рухливість повітря, атмосферний тиск, а також недостатня освітленість, мерехтіння світла, різка контрастність або поява сліпучих відблисків.

Біологічні фактори охоплюють вплив живих організмів, здатних становити небезпеку для здоров'я працівника. Це можуть бути патогенні мікроорганізми – віруси, бактерії, рикетсії, спірохети, грибки – а також макроорганізми тваринного чи рослинного походження, контакт із якими може призвести до інфекцій, алергічних реакцій або інших небажаних змін у стані здоров'я.

Психофізіологічні фактори охоплюють впливи, пов'язані як із фізичними навантаженнями на організм працівника, так і з нервово-психічною напругою. До них належать статичні та динамічні м'язові зусилля, тривале перебування в незручній позі, а також інтелектуальні перевантаження, одноманітність виконуваних операцій, підвищена емоційна напруга чи стресові ситуації, що виникають у процесі роботи.

Хімічні фактори включають широкий спектр речовин, здатних негативно впливати на організм людини в разі порушення правил безпеки. Це токсичні сполуки у різних агрегатних станах, зокрема дихлоретан, ацетон, бензол, толуол, ксилол та інші органічні розчинники; газоподібні речовини – метан, вуглекислий газ, ацетилен; продукція хімічного синтезу, зокрема фарби, лаки, емалі; окремі лікарські засоби та побутова хімія. Усі ці речовини здатні становити загрозу здоров'ю, якщо потрапляють в організм інгаляційним шляхом, через шкіру або іншим способом.

Будь-яка шкідлива речовина розглядається як потенційно небезпечний та шкідливий виробничий чинник. За фізичним станом вони можуть проявлятися у вигляді газів, пилу, диму, парів, туманів, а також рідких, сипких або твердих матеріалів, що використовуються чи утворюються в ході технологічних процесів.

У багатьох виробничих процесах у повітря робочої зони потрапляє значна кількість пилових частинок – твердих елементів різної дисперсності, що тривалий час залишаються у зваженому стані та повільно осідають. Частинки пилу, які утримуються в повітрі та не випадають одразу, утворюють аерозоль, тоді як пил, що вже осів на поверхнях, називають аерогелем. Якщо дрібні тверді частинки виникають у результаті конденсації перенасиченої пари, процесів горіння або інших хімічних реакцій, такий аерозоль прийнято класифікувати як дим. У випадку, коли у повітрі домінують краплинні частинки рідин, формується туман – наприклад, водяний, масляний чи інший технологічний аерозоль.

Вивчення того, яким чином хімічні речовини впливають на людський організм, належить до сфери спеціальної науки – токсикології. Однією з ключових характеристик будь-якої шкідливої хімічної сполуки є її токсичність, тобто здатність викликати негативні зміни у живих організмах. Основним кількісним критерієм

токсичності вважають гранично допустиму концентрацію (ГДК) цієї речовини в повітрі, воді чи іншому середовищі.

ГДК шкідливої речовини у повітрі виробничої зони – це такий рівень її вмісту, який за умов щоденної праці протягом 8 годин (або іншого режиму, але не більше 40 годин на тиждень) протягом усього трудового життя не спричиняє професійних захворювань чи порушень стану здоров'я. Такі зміни не повинні проявлятися ні під час роботи, ні у подальші періоди життя, включно з впливом на наступні покоління, що регламентується вимогами ГОСТ 12.1.005-88.

У класифікації, поданій у ГОСТ 12.1.007-76, усі шкідливі хімічні сполуки ранжують за рівнем небезпечності на чотири категорії:

- 1 клас – надзвичайно небезпечні,
- 2 клас – високонебезпечні,
- 3 клас – помірно небезпечні,
- 4 клас – малонебезпечні.

У промислових умовах до найпоширеніших несприятливих чинників відносять: надмірний рівень шуму, значне нервово-емоційне навантаження працівника, а також підвищений вміст шкідливих хімічних речовин у повітрі робочої зони, коли їх концентрації перевищують нормативні ГДК.

Гранично допустимий рівень (ГДР) виробничого чинника – це така величина його впливу, яка за нормальної тривалості робочого дня і протягом усього періоду професійної діяльності не спричиняє травмування, появи професійних хвороб чи будь-яких негативних змін у стані здоров'я. При цьому шкідлива дія не повинна проявлятися ні під час виконання трудових обов'язків, ні у віддалені періоди життя, а також не впливати на здоров'я майбутніх поколінь.

Засіб захисту на виробництві – це обладнання, пристрій або технологічне рішення, яке призначене для виключення або суттєвого зменшення впливу на працівника небезпечних чи шкідливих виробничих факторів.

Засоби колективного захисту (ЗКЗ) – це засоби, що забезпечують одночасний захист групи працівників або всього персоналу робочої зони.

До найпоширеніших колективних засобів захисту належать: системи вентиляції, опалення та штучного освітлення виробничих приміщень; огорожувальні кожухи, які перешкоджають доступу до рухомих вузлів машин, поверхонь з високою температурою чи зон з небезпечною напругою; пристрої захисту від блискавки, системи заземлення та занулення електрообладнання; звукоізоляційні та звукопоглинальні конструкції; дистанційні системи керування устаткуванням; герметизовані кабіни й інші технічні рішення, що мінімізують вплив шкідливих факторів на працюючих.

Засіб індивідуального захисту (ЗІЗ) – це обладнання або елемент спорядження, призначений для убезпечення одного конкретного працівника від впливу небезпечних чи шкідливих виробничих факторів. До цієї категорії належать респіратори, протигази, спеціальний одяг і взуття, захисні окуляри, каски, шоломи та інші засоби, що використовуються персонально кожним працюючим. Використання ЗІЗ забезпечує додатковий рівень захисту як від безпосередніх небезпек, так і від впливу шкідливих умов виробничого середовища.

5.2 Вимоги правил Регістру судноплавства України до електричних апаратів та настановної арматури

Конструкція вимикачів із змінними контактами має передбачати можливість оперативної заміни контактних елементів за допомогою стандартного слюсарного інструменту, без необхідності демонтувати сам вимикач або його ключові вузли.

Всі роз'єднувачі та вимикачі (за винятком апаратів, призначених для каютних приміщень) повинні бути оснащені механічними чи електричними індикаторами, що відображають фактичне положення контактів «увімкнено/вимкнено». Індикатор має розташовуватися безпосередньо в зоні, звідки оператор здійснює керування апаратом.

Положення барабанів контролера та командоконтролера повинні надійно фіксуватися у кожному робочому положенні, причому нульовий фіксатор повинен мати підвищену виразність порівняно з іншими.

Пускорегулюючі апарати, за винятком тих, що призначені для плавного регулювання, повинні мати конструкцію, яка забезпечує чітку відчутність кінцевих та проміжних фіксованих положень на кожному ступені керування, а також виключає можливість виходу за межі кінцевих положень.

Комутаційні електричні апарати повинні відповідати принаймні національним стандартам і підбиратися з урахуванням наступних умов:

- у нормальних умовах експлуатації їх номінальні напруги, струми та максимально допустимі температури не повинні перевищувати встановлені значення;

- апарати повинні витримувати передбачені перевантаження у перехідних режимах без ушкоджень та без перевищення граничної температури нагрівання;

- параметри апаратів у режимі короткого замикання мають відповідати очікуваним значенням струму короткого замикання на висновках (клемах) кожного комутаційного елемента при розрахунковому коефіцієнті потужності.

Номінальна відключаюча здатність комутаційних електричних апаратів, що призначені для розмикання кіл із струмами короткого замикання, повинна забезпечуватися за наступними умовами:

- для змінного струму – не менше діючого значення періодичної складової розрахункового струму короткого замикання;

- для постійного струму – не менше розрахункового струму короткого замикання при вказаному часі спрацювання апарата в точці їх монтажу у момент вимкнення.

Номінальна вимикаюча здатність апаратів, здатних розмикати коло, що перебуває у стані короткого замикання, повинна відповідати або перевищувати пікове значення очікуваного струму короткого замикання у місці їх встановлення.

Струм електродинамічної витривалості комутаційних електричних апаратів, які не призначені для прямого відключення короткозамкнутих кіл, повинен бути щонайменше рівним піковому значенню очікуваного струму короткого замикання у точці їх встановлення.

Термічна стійкість апаратів при короткому замиканні має відповідати тепловому навантаженню, що створюється діючим значенням періодичної складової очікуваного струму короткого замикання протягом часу його дії, враховуючи селективність роботи захисних пристроїв.

Номінальний короткочасно допустимий струм для комутаційних апаратів у колах із селективним захистом повинен не бути меншим за діюче значення періодичної складової очікуваного струму короткого замикання протягом першого напівперіоду.

Використання автоматичного вимикача, який не має номінальної максимальної відключаючої або максимальної включаючої здатності, що відповідають очікуваному струму короткого замикання у точці його встановлення, допускається лише за умови захисту з боку генератора за допомогою запобіжників або іншого автоматичного вимикача з відповідними номінальними характеристиками. При цьому сам автоматичний вимикач не може виконувати роль захисного апарата генератора.

Такі захисні пристрої, які мають лише граничну номінальну відключаючу здатність, не повинні встановлюватися на головних або аварійних розподільчих щитах та не використовуються у колах критично важливих і аварійних споживачів. Їх технічні характеристики мають забезпечувати:

- відключення максимально очікуваного струму короткого замикання без ушкодження автоматичного вимикача на стороні навантаження до стану, непридатного для подальшої експлуатації;
- при включенні на максимальний очікуваний струм короткого замикання, решта електроустановки не повинна зазнавати пошкоджень;
- допускається, що автоматичний вимикач на стороні навантаження після спрацювання може бути тимчасово непридатним для повторного включення.

В електричних колах з номінальним струмом навантаження понад 320 А для захисту від перевантажень слід використовувати автоматичні вимикачі. Рекомендовано встановлювати такі вимикачі навіть при струмі понад 200 А.

Для генераторів постійного струму змішаного збудження, які працюють паралельно, автоматичні вимикачі повинні мати окремий полюс для зрівняльного дроту, механічно зв'язаний із іншими полюсами. Це забезпечує підключення зрівняльного дроту до шин перед включенням основних полюсів та його відключення після вимкнення інших полюсів.

Напрямок дії ручних органів керування комутаційними або пускорегулюючими апаратами повинен відповідати логіці роботи: обертання рукоятки або маховика за годинниковою стрілкою, або підйом/переднє переміщення важеля означає включення апарата, запуск електродвигуна, збільшення обертів чи підвищення напруги.

У разі керування підйомними або опускними пристроями обертання рукоятки за годинниковою стрілкою або рух важеля на себе відповідає підйому вантажу, а обертання проти годинникової стрілки або рух від себе – його опусканню.

Кнопки вимикачів повинні бути спроектовані так, щоб виключити їх випадкове спрацьовування.

Привід автоматичних та інших типів вимикачів має бути виконаний так, щоб у разі втрати енергії, що приводить у дію механізм, контакти залишалися лише у двох станах: включено або вимкнено.

Електричний привід повинен гарантувати надійне включення апарата при коливаннях напруги кола керування у межах 85-110% номінальної величини. Для змінного струму це також передбачає допустиме відхилення частоти $\pm 5\%$ від номінальної. Якщо напруга кола керування знизиться до 70% номінальної величини, апарат має розмикати контакти або зменшувати їх контактний тиск.

Конструкцією також повинна бути передбачена можливість ручного керування вимикачем, оснащеним машинним приводом. Кріплення проводів або наконечників до обмоток котушки повинно виконуватися так, щоб сила, що діє від під'єданого дроту, не передавалася на витки котушки. Відведення напруги від котушок слід виконувати з багатожильного гнучкого дроту, за винятком випадків, коли контактні клеми закріплені безпосередньо на корпусі котушки.

Котушки електромагнітних апаратів обов'язково маркуються відповідними характеристиками. Елементи резистивних опорів повинні легко замінюватися як по секціях, так і повністю. Резистори слід встановлювати та забезпечувати їх вентиляцію так, щоб їх нагрівання не впливало на температуру навколишніх пристроїв і не перевищувало допустимі межі.

З'єднання між опорними елементами або між ними та клемами, якщо не передбачено їх демонтажу, мають виконуватися зварюванням або механічним обтиском (опресуванням). Можливе застосування паяння за умови, що температура у місці з'єднання не перевищує допустимого значення для припою.

Корпуси плавких вставок повинні бути виконані повністю закритого типу. Розплавлення вставки не повинно спричиняти викид дуги назовні, іскріння або інші небезпечні явища поблизу.

Корпуси електроарматури мають виготовлятися з матеріалів, стійких до корозії, або із захистом від корозії, а також з достатньою механічною міцністю. Для арматури, призначеної для установки на відкритих палубах, у приміщеннях з охолодженням, рибобробних цехах та інших вологих умовах, рекомендовано застосовувати латунь, бронзу або еквівалентні матеріали, а також пластмаси відповідної якості. При використанні сталі чи алюмінієвих сплавів обов'язкове нанесення антикорозійного покриття.

Для виробів із алюмінієвих сплавів не рекомендується виконувати різьбові та посадкові з'єднання деталей.

Ізоляційні елементи, на яких закріплюються струмопровідні частини, повинні виготовлятися з матеріалів, що не виділяють займистих газів під дією електричної іскри при температурах до 500°C включно.

Світильники, призначені для монтажу на горючих поверхнях або поблизу них, мають бути сконструйовані так, щоб температура їх нагрівання не перевищувала 90°C. Конструкція патронів із гвинтовим цоколем повинна гарантувати надійне утримання лампи та запобігати її самовідгвинченню. У патронах забороняється встановлення вимикачів. Кожен патрон має бути маркований із зазначенням номінальної напруги та максимально допустимого струму або потужності.

Контактні гнізда штепсельних розеток повинні забезпечувати постійний натиск на штир штепсельної вилки. Забороняється використання вилок із розрізними штирями. Для струму понад 10 А штирі штепсельних вилок повинні бути суцільними, циліндричними або порожнистими. Штепсельні розетки та вилки, призначені для напруги понад безпечний рівень, повинні мати контакти для підключення заземлювального провідника кабелю споживача.

Розетки слід проектувати так, щоб вони забезпечували необхідний ступінь захисту незалежно від того, чи вставлена в них вилка. Для розеток із номінальним струмом понад 16 А передбачаються вбудовані вимикачі та механізми блокування, що унеможливають підключення або від'єднання вилки при положенні вимикача «включено». В розетках без блокування відстань між контактами та ізоляційними елементами повинна бути достатньою для запобігання короткому замиканню та перекриванню дуги при вийманні вилки, навіть якщо вона навантажена струмом на 50% більше від номінального при номінальній напрузі.

Конструкція вилок і розеток має виключати можливість підключення струмопровідного штиря до гнізда заземлення. Для розеток, призначених для підключення двигунів або пристроїв, напрям обертання яких залежить від порядку фаз або полюсів, слід додатково передбачати конструктивний захист від зміни цього порядку. При під'єднанні вилки заземлювальна частина повинна контактувати із заземлювальним елементом розетки раніше, ніж відбувається контакт струмоведучих штирів. У штепсельних розетках та вилах забороняється встановлення запобіжників.

5.3 Вимоги правил СОЛАС-74 до засобів пожежогасіння у машинних відділеннях

Машинні приміщення категорії А, у яких експлуатуються котли на рідкому паливі або установки рідкого палива, повинні бути оснащені однією із таких стаціонарних систем пожежогасіння:

- газовою системою відповідно до вимог правила 11-2/5;

- системою гасіння високократною піною відповідно до правила 11-2/9;
- системою водяного розпилення відповідно до правила 11-2/10.

У випадках, коли машинне та котельне відділення не мають повного розділення або існує ризик перетікання рідкого палива з котельного відділення в машинне, ці приміщення слід вважати єдиним відсіком. Кожне котельне відділення має бути оснащено щонайменше одним переносним пінним комплектом відповідно до вимог правила 11-2/6.4. Для вантажних суден Адміністрація може послабити ці вимоги щодо котлів для господарських потреб потужністю менше 175 кВт.

Кожен топковий фронт має бути забезпечений ящиком із піском, тирсою, просоченою содою, або іншим схваленим сухим матеріалом у кількості, що відповідає вимогам Адміністрації. Альтернативно може бути передбачений переносний вогнегасник схваленого типу.

У машинних приміщеннях категорії А, де розташовані двигуни внутрішнього згоряння, обов'язково передбачаються такі заходи пожежної безпеки:

- наявність хоча б однієї системи стаціонарного пожежогасіння;
- щонайменше один переносний пінний комплект, який відповідає вимогам правила 11-2/6.4;

– у кожному приміщенні повинні бути схвалені пінні вогнегасники ємністю не менше 45 л або їх еквіваленти, у кількості, достатній для подачі пінної чи аналогічної вогнегасної речовини на будь-яку частину паливної системи, системи мастила під тиском, приводні механізми та інші пожежонебезпечні об'єкти. Крім того, має бути передбачено достатню кількість додаткових переносних пінних вогнегасників або їх аналогів, розташованих так, щоб від будь-якої точки приміщення до найближчого вогнегасника відстань не перевищувала 10 м, і щоб у кожному приміщенні було мінімум два таких пристрої. Для невеликих машинних приміщень на вантажних судах Адміністрація може дозволити пом'якшення цих вимог.

У машинних приміщеннях категорії А, де встановлені двигуни внутрішнього згоряння, повинні бути передбачені такі заходи пожежної безпеки:

- наявність щонайменше однієї стаціонарної системи пожежогасіння;
- мінімум один переносний пінний комплект відповідно до правил 11-2/6.4;

— у кожному приміщенні — схвалені пінні вогнегасники ємністю не менше 45 л або їхні аналоги, достатньої кількості для подачі вогнегасної речовини на паливну систему, систему мастила під тиском, приводні механізми та інші пожежонебезпечні елементи. Додатково мають бути переносні вогнегасники або їх еквіваленти, розташовані так, щоб від будь-якої точки приміщення до найближчого пристрою відстань не перевищувала 10 м, і щоб у кожному приміщенні було щонайменше два таких вогнегасники. Для малих машинних приміщень на вантажних судах можливе послаблення цих вимог за рішенням Адміністрації.

Якщо Адміністрація визнає певне машинне приміщення потенційно небезпечним з точки зору пожежі, у ньому або поблизу нього повинна бути передбачена кількість схвалених переносних вогнегасників чи інших засобів пожежогасіння, достатня для ліквідації можливого загоряння, за рішенням Адміністрації.

У випадку встановлення стаціонарної системи пожежогасіння, яка не розглядається в цьому розділі, її конструкція та параметри повинні відповідати вимогам Адміністрації.

На пасажирських судах з понад 36 пасажирами кожне машинне приміщення категорії А повинно бути оснащено щонайменше двома пристроями для створення водяного туману.

5.4 Висновок по розділу

В розділі виконано аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що впливають на організм людини та представлені комплекси заходів зменшення їх впливу. Наведені та проаналізовані вимоги правил Регістру судноплавства України до електричних апаратів і настановної арматури та вимоги правил СОЛАС-74 до засобів пожежогасіння у машинних відділеннях.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі виконано огляд підйимальних механізмів за типом електропривода та наведено загальне призначення перетворювачів електричної енергії. Визначено напрямок для наукової задачі дослідження, який полягає в розробці електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т. Наведені зовнішні вигляди основного керувального складового електрообладнання, а саме: перетворювача частоти, логічного контролера. Представлені основні технічні характеристики електропривода суднового підйомника в загальному вигляді.

На основі виконання математичних розрахунків виконано вибір підйимальної вантажної кабіни та швидкості її руху. Визначено продуктивність суднового підйомника. Виконано вибір підйимального канату. Визначено потужності виконавчого асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором. Проведено розрахунок кінематичних, силових і енергетичних параметрів суднового підйомника. Виконано перевірки канатоведучого шківа на буксування. Розроблено 3D модель конструкції електропривода суднового підйомника вантажопідйомністю 1,5 т з застосуванням канатоведучого шківа. Наведено електричну принципову схему керування електроприводом суднового підйомника з застосуванням перетворювача частоти і логічного програмованого контролера та описано принцип її роботи.

Розглянуто питання охорони праці щодо небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що впливають на організм людини та заходів зменшення їх впливу. Розглянуті вимоги правил Регістру судноплавства України до електричних апаратів та настановної арматури та вимоги правил СОЛАС-74 до засобів пожежогасіння у машинних відділеннях.

Всі прийняті в кваліфікаційній роботі технічні рішення супроводжуються відповідними формулами, таблицями та рисунками.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Pulparambil R., Kannampalli B., Nandhana G., Airina C.K. Challenges and prospects in elevator modernization-a critical review. *International journal of all research education & scientific methods*, 2024. 12(6). P. 2455-62110.
2. Al-Kodmany K. Smart elevator systems. *Journal of mechanical materials and mechanics research*, 2023. 6(1). P.41-53. DOI: <https://doi.org/10.30564/jmmmr.v6i1.5503>
3. Al-Kodmany K. Elevator technology improvements: A snapshot. *Encyclopedia*, 3(2). P. 530-548.
4. Junning Li, Ziming Xu, Sheng W., Sihong Yu, Zubin L. Study on the measurement method of indoor elevator noise under the condition of common wall of elevator shaft and residence. *Advances in civil engineering*, 2025. DOI: 10.1155/adce/3664990
5. Monte's-González D., Vílchez-Gómez R., Barrigón-Morillas J.M., Atanasio-Moraga P., Rey-Gozalo G., and Trujillo-Carmona J. Noise and air pollution related to health in urban environments. *Proceedings*, 2018. 2(20). P. 1311.
6. Oh Y., Kang M., Lee K., and Kim S. Construction management solutions to mitigate elevator noise and vibration of high-rise residential buildings. *Sustainability*, 2020. 12(21). P. 8924.
7. Hongjun Shi. Research on the application of internet of things technology in intelligent supervision of elevators. *Advances in machinery, materials science and engineering application XI*. 2025. DOI: 10.3233/ATDE251025
8. Sarayodhin J., Kongsong W., Pooworakulchai Ch., Kitiyanun K. Trends in elevator maintenance strategies: an in-depth investigation. *International journal on advanced science engineering and information technology*, 2025. 15(4). P. 1187-1194. DOI: 10.18517/ijaseit.15.4.20574

9. Zheng B. Intelligent fault diagnosis of key mechanical components for elevator. n *CAA Symp. Fault Detection, Supervision Safety Tech. Processes*, 2021. P. 1-3. DOI:10.1109/safeprocess52771.2021.9693580

10. Rastegar M., Karimi H., Vahdani H. Technicians scheduling and routing problem for elevators preventive maintenance. *Expert Syst. Appl.*, 2024. 235. P. 121133. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.121133

11. Xiao L., Li Z., Ligui K. Research on health evaluation model for elevator based on analytic hierarchy process. *Highlights Sci. Eng. Technol*, 2022. 27. P. 787-790. DOI: 10.54097/hset.v27i.3846

12. Gholami J., Razavi A., Ghaffarpour R. Decision-making regarding the best maintenance strategy for electrical equipment of buildings based on fuzzy analytic hierarchy process; case study: elevator. *J. Qual. Maint. Eng.*, 2022. 28(3). P. 653-668. DOI: 10.1108/jqme-03-2020-0015

13. Shuzhen Li, Jun Zh., Junbiao Xie, Chenglong P. RBF neural network-compensated adaptive sliding mode control for elevator vibration suppression. *Shock and vibration*, 2025. 1. DOI: 10.1155/vib/3268299

14. Jinkui F., Wenbo Li, Duhui Lu, Jin D., Yan W. Risk factor analysis of elevator brake failure based on DEMATEL-ISM. *Applied sciences*, 2025. 15(7). P. 3934. DOI: 10.3390/app15073934

15. Chuanlong Zh., Zixiao Li, Jinjin Li, Lin Zou, Enyuan D. Optimization of visual detection algorithms for elevator landing door safety-keeper bolts. *Machines*, 2025. 13(9). P. 790. DOI: 10.3390/machines13090790

16. Видмиш А.А., Ярошенко Л.В.. Основи електропривода. Теорія та практика: навч. посіб., Ч.1. – В.: ВНАУ, 2020. 387 с.

17. Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І., Синявський О.Ю., Войтюк Д.Г., Лисенко В.П. Електропривод: підручник. – К.: «Ліра-К», 2009. 504 с.

18. Бондарєв В.С., Дубинець О.І., Колісник М.П., Бондарєв С.В., Горбатенко Ю.П., Барабанов В.Я. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин: підручник. – К.: 2009. 734 с.

19. Грибан В.Г., Негодченко О.В. Охорона праці: навч. посіб. – К.: 2009. 280 с.

20. Бедрій Я.І. Основи охорони праці: навч. посіб. – Т.: 2014. 240 с.
21. Регістр судноплавства України [Електронний ресурс]. – 2025. – Режим доступу до ресурсу: http://91.203.91.178/books/PCBSSSt4_2025.pdf (дата звернення: 16.11.2025)
22. Горбов В.М., Ратушняк І.О., Горбова Г.О. Стандарти компетентності персоналу морських суден та захист його прав. – М.: НУК, 2011. 219 с.