

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
Кафедри ЕІС та РК

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри ЕІС та РК
к.т.н., доцент Д.В. Костенко
“ 12 ” 06 2026 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Розробка електропривода пасажирського ліфта
десяти поверхового житлового будинку

Виконав: студент IV курсу, групи 4307зст3
спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Умрихін Ю.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. Войтасик А.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н. Клочков О.П.

(прізвище та ініціали)

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

Кафедра ЕІС та РК

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

(шифр і назва)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор Я.Б. Волянська

“ 22 ” 04 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Студенту Умрихіну Юрію Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка електропривода пасажирського ліфта десяти поверхового житлового будинку

Керівник роботи к.т.н., доцент кафедри ЕІС та РК Войтасик А.М.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 22 ” квітня 2026 року № 22-ж

2. Термін подання студентом роботи

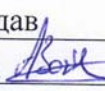
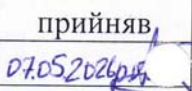
3. Вихідні дані по роботі напруга живлення електропривода пасажирського ліфта 380 В, частота мережі 50 Гц, тип застосованих двигунів – асинхронний з короткозамкненим ротором, швидкість підйому/спуску кабіни 1,22 м/с, кількість обслуговуючих поверхів 10, тривалість очікування ліфта не більше 60 с, максимальна кількість пасажирів 6 чол., маса кабіни не більше 1 т

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Призначення та область застосування електропривода пасажирського ліфта десяти поверхового житлового будинку. 2 Технічні характеристики елементів електропривода пасажирського ліфта десяти поверхового житлового будинку. 3 Опис та обґрунтування прийнятих технічних рішень при розробці електропривода пасажирського ліфта десяти поверхового житлового будинку. 4 Розрахунки, що підтверджують працездатність розробки електропривода пасажирського ліфта десяти поверхового житлового будинку. 5 Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів (з точним зазначенням назв)

1. Презентаційний матеріал до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр». 2. Мета та задачі роботи. 3. Класифікація ліфтів. 4. Розробка 3D моделі конструкції електропривода пасажирського ліфта. 5. Розташування механічних вузлів електропривода на 3D моделі пасажирського ліфта. 6. Електропривод механізму відкриття/закриття розсувних дверей кабіни. 7. Електрична принципова схеми системи керування електроприводом пасажирського ліфта. 8. Перелік застосованого обладнання. 9. Основні технічні характеристики розробки. 10. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП	к.т.н., доцент кафедри ЕІС та РК Войтасик А.М.	23.04.26р. 	07.05.2026р. 

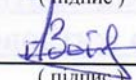
7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Призначення та область застосування	12.03.2026	виконано
2	Технічні характеристики	26.03.2026	виконано
3	Опис та обґрунтування прийнятих технічних рішень	09.04.2026	виконано
4	Розрахунки, що підтверджують працездатність	23.04.2026	виконано
5	Охорона праці	07.05.2026	виконано

Студент 
(підпис)

Умрихін Ю.П.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи 
(підпис)

Войтасик А.М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему «Розробка електропривода пасажирського ліфта десяти поверхового житлового будинку» відповідає напрямку спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та виконано на 71 аркушах.

Тема кваліфікаційної роботи актуальна і пов'язана з розробкою електропривода спуско-підйомного механізму пасажирського ліфта, котрий обслуговує житловий будинок на 320 чоловік.

В роботі наведені основні положення, класифікація та призначення існуючих ліфтових механізмів. Наведено загальну характеристику розробки. Представлені основні її технічні характеристики.

Розроблено *3D* модель конструкції електропривода пасажирського ліфта для обслуговування десяти поверхового житлового будинку. Відповідно до розрахунків виконано вибір кабіни ліфта та визначено швидкість її руху. Виконані розрахунки кінематичних, силових та енергетичних параметрів ліфта. Проведено перевірки канатоведучого шківів на буксування. Реалізовано вибір необхідного складового обладнання та побудовано електричну принципову схему керування електроприводом пасажирського ліфта з застосуванням перетворювача частоти та програмованого логічного контролера.

Ключові слова: міжповерхове транспортування, електропривод, система керування, пасажирський ліфт, тривимірне моделювання.

ABSTRACT

The qualification work «Development of an electric drive for a passenger elevator of a ten storey residential building» corresponds to the direction of specialty «Electricity, electrical and electromechanical» and holds 71 pages.

The theme of the graduation qualification work is actual and related with the development of an electric drive of the launch and recovery mechanism passenger elevator which serves a residential building for 320 people.

The graduate work presents the main provisions classification and purpose of existing lift mechanism. The general characteristics of the development are given. The main technical characteristics of the development are presented.

A 3D model of the construction of an electric drive for a passenger elevator for servicing a twenty storey residential building has been developed. According to the calculations, the choice of the elevator car was made and the speed of its movement was determined. Calculations of the kinematic, power and energy parameters of the elevator have been performed. The traction sheave was checked for slipping. The choice of the necessary component equipment has been implemented and an electrical schematic diagram for controlling the electric drive of a passenger elevator using a frequency converter and a programmed logic controller has been built.

Keywords: interfloor transportation, electric drive, control system, passenger elevator, three-dimensional modeling.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	4
Вступ	5
1 Призначення та область застосування електропривода пасажирського ліфта десяти поверхового житлового будинку	6
1.1 Класифікація ліфтів	6
1.2 Загальна характеристика електропривода пасажирського ліфта	9
1.3 Вимоги до матеріалів конструкції вантажопідйомних механізмів	10
2 Технічні характеристики елементів електропривода пасажирського ліфта десяти поверхового житлового будинку	13
2.1 Технічні характеристики кабіни пасажирського ліфта	13
2.2 Технічні характеристики спуско-підйомного механізму	13
2.3 Технічні характеристики спуско-підйомних канатів	14
3 Опис та обґрунтування прийнятих технічних рішень при розробці електропривода пасажирського ліфта десяти поверхового житлового будинку .	15
3.1 Розробка 3D моделі конструкції електропривода пасажирського ліфта	15
3.2 Побудова електричної принципової схеми керування електроприводом пасажирського ліфта	22
3.3 Вибір кабіни і визначення швидкості її руху	25
3.4 Визначення продуктивності одного ліфта і необхідної їх кількості	27
3.5 Вибір спуско-підйомних канатів	30
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність розробки електропривода пасажирського ліфта десяти поверхового житлового будинку	34
4.1 Розрахунок кінематичних параметрів пасажирського ліфта	34
4.2 Розрахунок силових параметрів ліфта	42
4.3 Перевірка канатоведучого шківів на буксування	52
4.4 Розрахунок енергетичних параметрів ліфта	53

5 Охорона праці	58
5.1 Аналіз небезпек пов'язаних з експлуатацією ліфтів	58
5.2 Вимоги, щодо безпеки ліфтів	59
5.3 Висновок по розділу	67
Висновки	68
Перелік посилань	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АД – асинхронний двигун;

ГСТУ – галузевий стандарт України;

ДСТУ – державний стандарт України;

ККД – коефіцієнт корисної дії

ВСТУП

Автоматизація процесів переміщення вантажів та людських потоків є критичним компонентом сучасної промислової та цивільної інфраструктури. Ліфти та підйомні механізми виступають основними технологічними інструментами, що забезпечують вертикальну логістику насипних, штучних вантажів або пасажирів між рівнями об'єктів. Ефективність та надійність цих систем визначається не лише досконалістю конструктивних рішень, але й безкомпромісною якістю на кожному етапі їхнього життєвого циклу. Фундаментом стабільної роботи є високий рівень виготовлення компонентів на заводі-виробнику та чітке дотримання регламентів при проведенні монтажних робіт на об'єкті. Проте навіть ідеально змонтоване обладнання потребує суворого дотримання правил безпечної експлуатації, що безпосередньо впливає на довговічність та безаварійність роботи механізмів.

З огляду на різнобічну підготовку фахівця спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» мета даної кваліфікаційної роботи – розробка електропривода пасажирського ліфта десяти поверхового житлового будинку.

Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати такі задачі:

- розглянути класифікацію ліфтів;
- виконати розрахунок спуско-підйомного механізму електропривода ліфта;
- виконати вибір комплектного електропривода механізму відкриття/закриття дверей;
- виконати розробку 3D моделі конструкції електропривода ліфта;
- побудувати електричну принципову схему керування електроприводом пасажирського ліфта з застосуванням перетворювача частоти та програмованого логічного контролера;
- виконати вибір складового обладнання електропривода ліфта;
- сформулювати основні технічні характеристики розробки

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА ДЕСЯТИ ПОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

1.1 Класифікація ліфтів

Ліфти – це складні інженерні споруди, класифікація яких базується на широкому спектрі технічних та експлуатаційних ознак. Основним критерієм розподілу є цільове призначення обладнання [1]. За цим показником виділяють пасажирські ліфти (рис. 1.1), які використовуються в житлових, громадських та промислових будівлях, а також спеціалізовані лікарняні ліфти (рис. 1.2), призначені для транспортування хворих, та інвалідні ліфти для осіб із порушеннями опорно-рухового апарату.

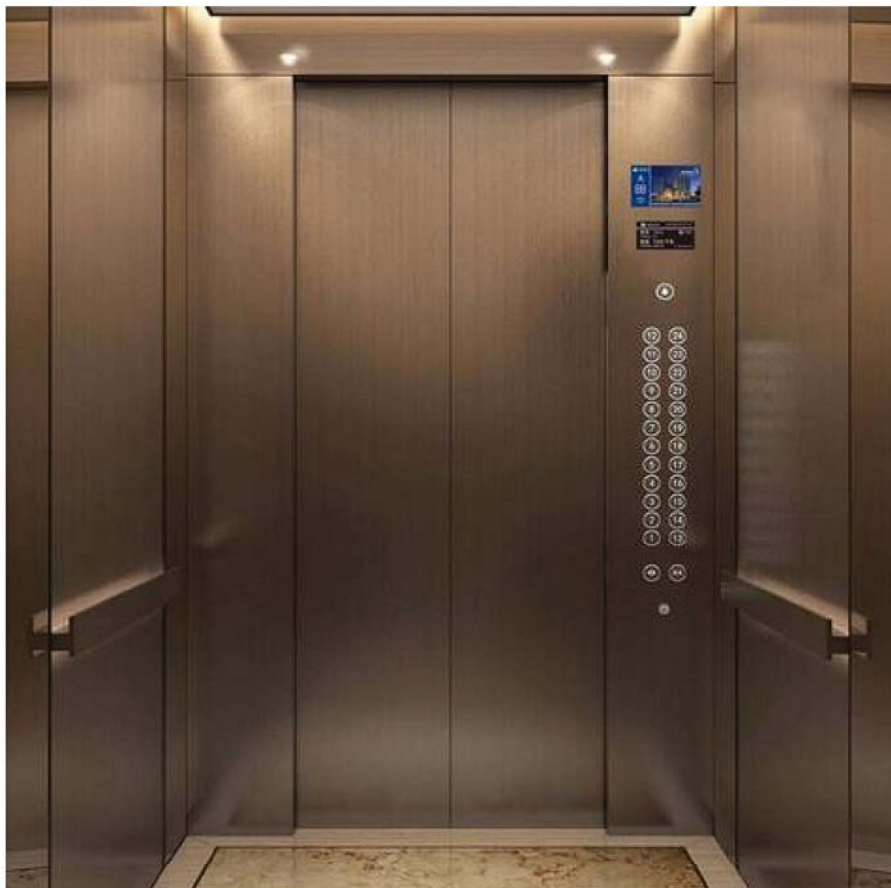


Рисунок 1.1 – Пасажирський ліфт

Значну групу становлять вантажні ліфти (рис. 1.3), що включають стандартні моделі, варіанти з монорейкою для підвісних пристроїв, витискні механізми, тротуарні ліфти для вертикального переміщення об'єктів між рівнями, а також малі вантажні ліфти обмеженої вантажопідйомності (до 250 кг). Окремо існують нестандартні спеціальні ліфти, що проектуються під унікальні умови експлуатації [2].



Рисунок 1.2 – Лікарняні ліфти

Технічне виконання ліфтових систем також суттєво різниться. Залежно від типу привода механізми поділяють на електричні, що працюють від двигунів постійного або змінного струму, та гідравлічні, де використовується тиск робочої рідини [3]. Швидкісні характеристики визначають поділ на тихохідні, швидкохідні, швидкісні та високошвидкісні ліфти.

Конструктивно ліфти можуть бути розміщені в глухих, металокаркасних або комбінованих шахтах, причому машинне приміщення може бути розташоване над, під шахтою або збоку від неї, а в деяких сучасних системах воно може бути відсутнє.

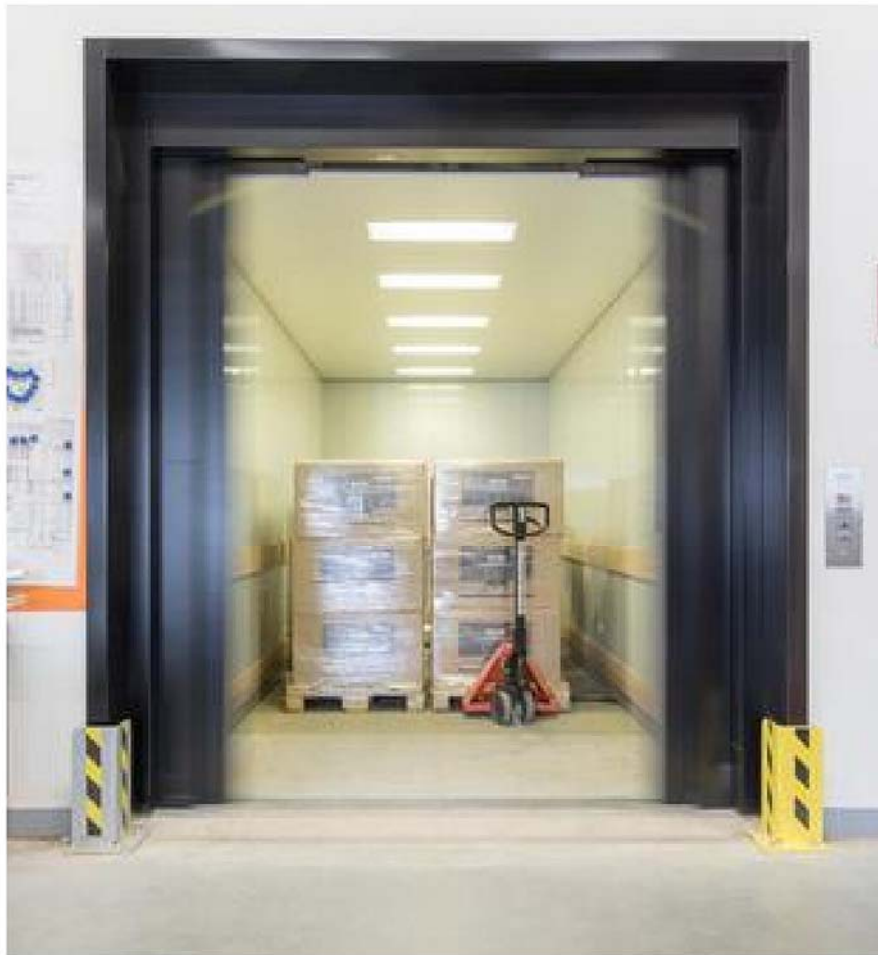


Рисунок 1.3 – Вантажний ліфт

Організація роботи та керування також мають різні рівні складності. Обслуговування може здійснюватися як самими пасажирами (самостійне користування), так і за допомогою ліфтера чи провідника.

Системи керування реалізують різні алгоритми: від простого роздільного виконання команд до складного групового керування, яке дозволяє ефективно розподіляти запити між кількома ліфтами в одній шахті. Користувачі можуть подавати команди як зсередини кабіни (внутрішнє керування), так і з посадкових майданчиків (зовнішнє), або використовувати змішані схеми (рис. 1.4).

Додаткові конструктивні особливості включають типи дверей, які можуть бути розстібними, вертикально- або горизонтально-розсувними, з ручним, автоматичним або комбінованим приводом [4]. Тягові органи ліфтів також різноманітні: вони можуть бути канатними, ланцюговими, стрічковими, гвинтовими, плунжерними або рейковими.



Рисунок 1.4 – Спеціальний ліфт

Схема кріплення канатів та їхній вплив на кабінку (верхня підвіска або вижимні механізми) додатково розширюють класифікацію, забезпечуючи адаптацію ліфтового обладнання до будь-яких архітектурних та технологічних вимог сучасного будівництва [5].

1.2 Загальна характеристика електропривода пасажирського ліфта

Технічна досконалість ліфтової системи значною мірою залежить від типу підйомного механізму. Традиційні ліфти з барабанными лебідками потребують надійного кріплення канатів безпосередньо до барабана, що, проте, ускладнює захист від перевантажень та обривів у разі непередбачених зупинок кабіни. Крім того, значні габарити таких лебідок зумовлюють необхідність обов'язкового облаштування окремого машинного відділення [6].

Більш прогресивним рішенням є використання електропривода з канатоведучими шківками. Така конструкція вирізняється простотою, підвищеною

надійністю та ефективнішими засобами захисту канатів від перевантажень. Значною перевагою таких систем є можливість відмови від окремого машинного відділення, що значно спрощує архітектурне планування будівлі. Саме тому для даної кваліфікаційної роботи було обрано варіант проектування електропривода ліфта на основі технології канатоведучих шківів [7].

Вибір конструкційних матеріалів для створення електропривода є критичним етапом проектування, оскільки витрати на матеріали складають від 40% до 75% загальної вартості ліфтового обладнання. При підборі металів враховують фізико-механічні властивості: витривалість, ударну в'язкість та опірність до холодноламкості при низьких температурах. Для деталей, що піддаються інтенсивному зношуванню, таких як шестерні, вали-шестерні та диски тертя, оптимальним вибором є сталь марки 50Г. Важко навантажені елементи, включаючи черв'яки та вали, проектуються зі сталей 40Х або 45Х.

Металоконструкції, що працюють у складних умовах тривісного напруженого стану, виготовляються з низьколегованих сталей марок 10ХСНД, 15ХСНД або 09Г2. У той же час компоненти з меншим рівнем навантаження, як-от барабани або блоки, можуть бути виготовлені з модифікованого чавуну. Фіксація конструкцій здійснюється болтами, матеріал яких підбирається відповідно до міцності з'єднаних елементів: для маловуглецевих сталей використовується Ст3, а для низьколегованих – 40Х [8].

Крім металів, у конструкції ліфта активно застосовуються композитні та допоміжні матеріали: пінопласт для теплоізоляції кабіни, декоративний пластик для оздоблення стін, гума для буферних елементів, а також фрикційні стрічки на основі азбесту для гальмівних колодок.

1.3 Вимоги до матеріалів конструкції вантажопідйомних механізмів

Вибір матеріалів для проектування електроприводів та металоконструкцій вантажопідіймальних машин є одним із найвідповідальніших етапів, оскільки на них припадає від 40% до 75% загальної вартості виробу. Окрім стандартних

характеристик міцності, текучості та пластичності, особлива увага приділяється ударній в'язкості та здатності металу протистояти крихкому руйнуванню або холодноламкості при експлуатації в умовах низьких температур [9].

Для зварних елементів з вуглецевих сталей існує технологічне обмеження, за яким товщина прокату не повинна перевищувати 50 мм, що дозволяє уникнути виникнення небезпечних об'ємних залишкових напружень під час зварювання. Залежно від гарантованих характеристик сталі поділяють на групи за механічними властивостями, хімічним складом або комбінацією цих параметрів, при цьому для відповідальних металоконструкцій рекомендується використовувати мартенівську або конверторну сталь. Широке застосування знаходять низьколеговані сталі, такі як 09Г2, 10ХСНД або 15ХСНД, маркування яких відображає вміст вуглецю та легуючих елементів, наприклад мангану, силіцію, хрому, нікелю та міді. Використання таких матеріалів дозволяє значно знизити масу конструкцій, особливо в тих випадках, коли критерієм проектування є умова міцності, а не жорсткості. Для експлуатації в екстремальних температурних умовах до -70°C застосовують високоміцну карбонітридну сталь, яка дозволяє зменшити металомісткість навіть надпотужних підйомних механізмів.

Підбір конкретного матеріалу суворо регламентується умовами роботи вузла. Деталі з високим рівнем зношування, зокрема шестерні та диски тертя, виготовляються зі сталі 50Г, тоді як високонавантажені елементи типу черв'яків та валів проектується зі сталей 40Х або 45Х. Металоконструкції з тривісним напруженням вимагають застосування низьколегованих сталей 10ХСНД, 15ХСНД або 09Г2, а кріпильні елементи виготовляються зі сталі Ст3 або 40Х залежно від міцності основних елементів. Для барабанів та блоків оптимальним є використання модифікованого чавуну, а для сходів та поручнів застосовується сталь Ст1. Застосування алюмінієвих сплавів сприяє зниженню маси та підвищенню корозійної стійкості, проте вимагає обов'язкової ізоляції від сталевих деталей для уникнення електрохімічної корозії.

Сучасні підіймальні машини також активно використовують широкий асортимент неметалевих матеріалів. Наприклад, полімери, такі як капронова смола та текстоліт, застосовуються для виготовлення підшипників ковзання, розпирних кілець та футерування канатних блоків, тоді як гетинакс використовується для електроізоляційних перегородок. Крім того, для теплоізоляції кабін використовують пінопласт, для оздоблення стін – декоративний паперошаровий пластик, для буферних пристроїв – гуму, а для гальмівних систем – азбестову фрикційну стрічку. Комплексний підхід до вибору матеріалів дозволяє досягти оптимального балансу між надійністю, вартістю та експлуатаційними характеристиками вантажопідіймального обладнання.

2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА ДЕСЯТИ ПОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

2.1 Технічні характеристики кабіни пасажирського ліфта

Основні технічні характеристики кабіни пасажирського ліфта представлені у вигляді табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики кабіни пасажирського ліфта

Найменування параметра	Значення
Вантажність, кг	500
Середня швидкість руху, м/с	1,22
Кількість обслуговуючих поверхів	10
Кількість людей, що користуються ліфтом, чол.	320
Необхідна кількість ліфтів в будинку, шт.	2
Продуктивність одного ліфта, чол/год	143
Тривалість одного рейсу кабіни, с	98
Тривалість очікування ліфта, с	49
Середня маса одного пасажиря, кг	80
Максимальна кількість пасажирів, чол.	6
Габаритні розміри, мм	1650×1100
Маса кабіни, кг	850

2.2 Технічні характеристики спуско-підйомного механізму

Основні технічні характеристики спуско-підйомного механізму пасажирського ліфта представлені у вигляді табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики спуско-підйомного механізму

Найменування параметра	Значення
Електродвигун лебідки	АС2-92-6/24
Тип асинхронного електродвигуна (АД)	з короткозамкненим ротором
Напруга змінного живлення, В	3×380
Частота мережі, Гц	50
Споживчі потужності, кВт	10/2,5
Швидкості обертання вала, об/хв	930/200
Діаметр привідного шківа, мм	930
Передатне число редуктора	30
Тип лебідки	ЛП 180-35
Коефіцієнт перевантаження	2,5/1,8
Момент інерції ротора, кг·м ²	0,178
Момент інерції гальмівного шківа, кг·м ²	0,089

2.3 Технічні характеристики спуско-підйомних канатів

Основні технічні характеристики спуско-підйомних канатів представлені у вигляді табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики спуско-підйомних канатів

Найменування параметра	Значення
Тип канатів	ЛК-РО
Діаметр каната, мм	11,5
Кількість підймальних канатів, шт.	4
Довжина канатів, м	153
Розривна сила канатів, Н	45240
Запас міцності канатів	13
Маса канатів, кг	79,6

3 ОПИС ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИЙНЯТИХ ПРИ РОЗРОБЦІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА ДЕСЯТИ ПОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

3.1 Розробка 3D моделі конструкції електропривода пасажирського ліфта

3D модель конструкції електропривода пасажирського ліфта побудована в програмному середовищі *AutoCAD 3D*. При цьому враховані масогабаритні характеристики вибраного виконавчого електрообладнання та складових елементів конструкції виробу. Зовнішній вигляд 3D моделі конструкції електропривода пасажирського ліфта представлений на рис. 3.1.

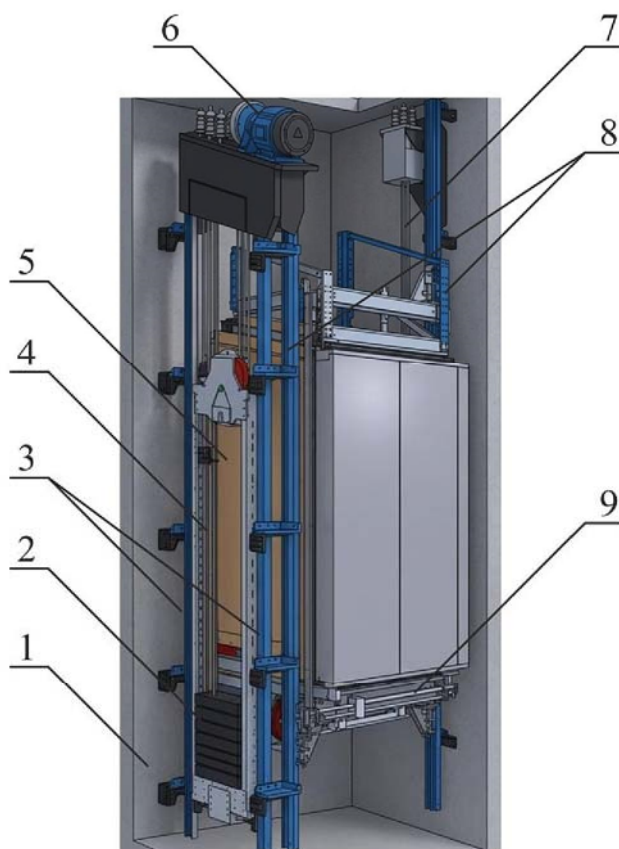
Кабіна ліфта (5, рис. 3.1) встановлена у вертикальній шахті (1, рис. 3.1) та підвішена за допомогою тягових канатів (4 і 7, рис. 3.1). Її переміщення здійснюється вздовж напрямних кабіни (8, рис. 3.1), тоді як противага рухається по окремих напрямних (3, рис. 3.1). На каркасі кабіни змонтовано уловлювальний пристрій із гальмівними колодками, які охоплюють напрямні, а його гальмівний механізм (9, рис. 3.1) жорстко закріплений на металоконструкції кабіни.

У випадку перевищення допустимої швидкості руху кабіни спрацьовує система безпеки: гальмівний механізм блокує шків обмежувача швидкості та фіксує канат (7, рис. 3.1). Подальше переміщення кабіни вниз спричиняє активацію уловлювачів, які забезпечують її аварійну зупинку.

Рух кабіни забезпечується електричною канатною лебідкою (6, рис. 3.1), розташованою у верхній зоні шахти. Передача тягового зусилля здійснюється через канати, що огинають канатоведучий шків лебідки та з'єднують кабіну з противагою.

Для зменшення навантаження на привід використовується противага (2, рис. 3.1), підвішена на протилежному кінці тягового каната. Вона компенсує власну масу кабіни та частину корисного навантаження, що сприяє підвищенню енергоефективності та плавності роботи ліфта. У нижній частині шахти

передбачено встановлення буферних пристроїв для кабіни та противаги, призначених для пом'якшення ударів у крайніх положеннях.

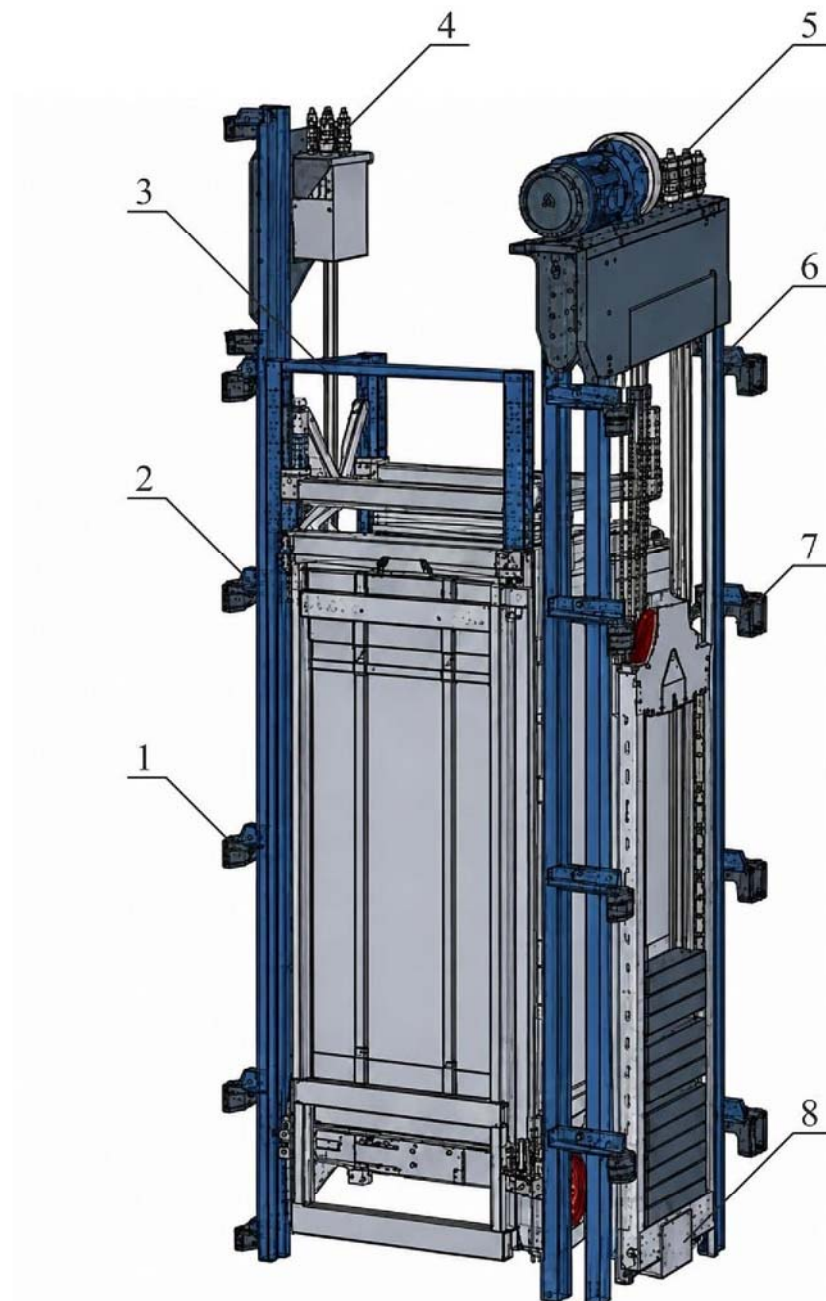


- 1) – вертикальна шахта; 2) – противага; 3) – напрямні руху противаги; 4) – канат противаги; 5) – кабіна; 6) – канатна лебідка; 7) – основний вантажопідйомний канат; 8) – напрямні руху кабіни; 9) – гальмівний механізм

Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд 3D моделі конструкції електропривода пасажирського ліфта

Для виготовлення несучих металоконструкцій пасажирського ліфта застосовують конструкційні сталі, характеристики яких відповідають вимогам ДСТУ 2651-94.

Закріплення вузлів електропривода пасажирського ліфта здійснюється через несучі конструкції вертикальної шахти. Для цього напрямні кабіни та противаги обладнані спеціальними кронштейнами (2 і 6, рис. 3.2), за допомогою яких вони з'єднуються зі стінками шахти через додаткові кріпильні елементи (1 і 7, рис. 3.2).



- 1) – кронштейн кріплення напрямних руху кабіни до стінок шахти;
 2) – кронштейн кріплення напрямних руху кабіни; 3) – обмежувач верхнього
 поверху; 4) – другий розчал каната; 5) – перший розчал каната; 6) – кронштейн
 кріплення напрямних руху противаги; 7) – кронштейн кріплення напрямних руху
 противаги до стінок шахти; 8) – обмежувач руху противаги

Рисунок 3.2 – Розташування механічних вузлів електропривода на 3D моделі
 конструкції пасажирського ліфта

Функцію обмеження переміщення рухомих елементів у крайніх положеннях виконують конструктивні елементи каркаса (3 і 8, рис. 3.2), які слугують механічними упорами для кабіни та противаги.

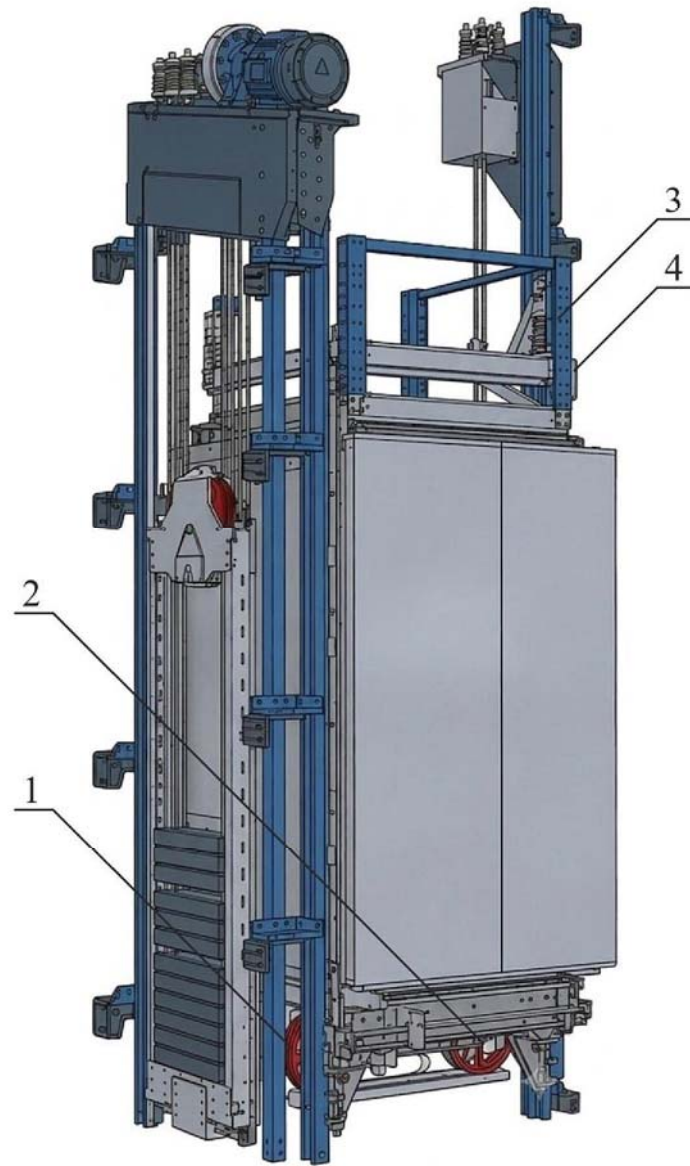
Схема запасування тягового каната побудована таким чином, що його початкове кріплення здійснюється у першому розчалі (5, рис. 3.2). Далі канат проходить через шків противаги, після чого спрямовується до канатної лебідки. Оминаючи систему канатоведучих шківів, розташованих у нижній частині кабіни, він розділяється на дві гілки.

Перша гілка повертається у напрямку лебідки, повторно проходячи через канатоведучі шківни та забезпечуючи необхідну кратність поліспасти. Друга гілка каната спрямовується до другого розчалу (4, рис. 3.2), де закріплюється. Обидва розчали є відповідальними силовими вузлами конструкції, оскільки саме через них передається та утримується повне навантаження, що виникає під час роботи електропривода ліфта.

Канатоведучі шківни (1, рис. 3.3), розташовані під кабіною ліфта, виконують обертальний рух навколо своїх осей, які встановлені у підшипникових опорах та закріплені в конструкції за допомогою осей обертання (2, рис. 3.3). Така конструкція забезпечує надійну передачу тягового зусилля від канатної системи та зменшує втрати на тертя.

Для утримання кабіни у нерухомому стані та її аварійної зупинки передбачено гальмівний механізм, який взаємодіє з напрямними та фіксує положення кабіни під час спрацювання системи безпеки або зупинки привода.

Переміщення кабіни вздовж напрямних здійснюється через систему роликів вузлів, що формують жорсткий механічний зв'язок між кабіною та напрямними. У конструкції використано чотири підшипникові групи: дві з них розташовані у верхній частині рами над кабіною (3, рис. 3.3), а ще дві – у нижній частині конструкції. Усі роликові вузли закріплені на вантажонесучій рамі кабіни (4, рис. 3.3), забезпечуючи її стійке положення, точне напрямлення та плавність руху по всій висоті шахти.



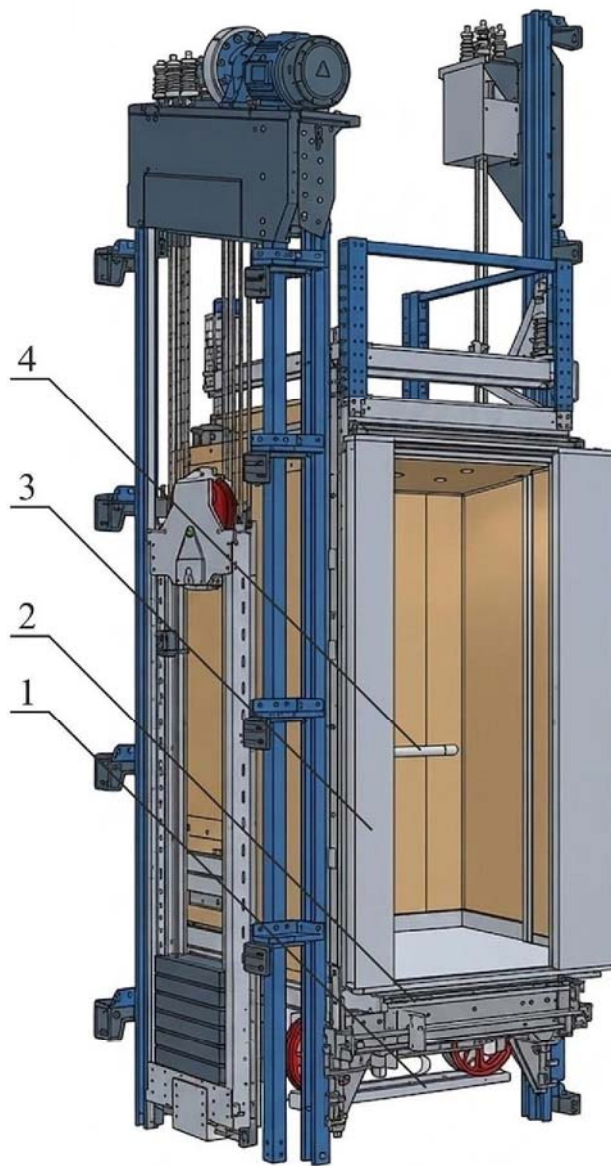
- 1) – канатоведучі шківів; 2) – осі обертання канатоведучих шківів;
 3) – підшипники; 4) – вантажонесуща рама кабіни

Рисунок 3.3 – Розташування допоміжних рухомих частин електропривода на 3D моделі конструкції пасажирського ліфта

Для запобігання пошкодженню тягових канатів зовнішніми предметами в конструкції передбачено встановлення захисного кожуха (1, рис. 3.4). Необхідність такого елемента обумовлена особливостями розташування вузла кріплення канатів, який знаходиться під кабіною ліфта. Під час перебування кабіни на нижній посадковій зупинці цей вузол займає найнижче положення серед

усіх рухомих елементів підйомної установки та є найбільш вразливим до зовнішніх впливів.

В процесі експлуатації існує ймовірність потрапляння сторонніх предметів у шахту ліфта. Найчастіше це може відбутися під час посадки або висадки пасажирів, коли двері кабіни (3, рис. 3.4) відкриті, а між підлогою поверху та порогом кабіни утворюється технологічний зазор.



- 1) – захисний кожух вантажопідйомного каната; 2) – електропривод відкриття/закриття дверей кабіни; 3) – розсувні двері; 4) – поручень

Рисунок 3.4 – 3D модель пасажирської кабіни ліфта з відчиненими дверцятами

Розсувна система передбачає використання двох дверних стулок, які під час роботи привода синхронно переміщуються назустріч одна одній або розходяться в протилежні боки, забезпечуючи відкривання та закривання входу до кабіни. Функціонування цієї системи забезпечує спеціальний дверний електропривід, виконавчі механізми якого (2, рис. 3.4) розташовані із зовнішнього боку кабіни безпосередньо під дверним блоком.

Захисний кожух виконує додаткову функцію безпеки, мінімізуючи ризик контакту сторонніх предметів із канатною системою та підвищуючи надійність роботи ліфта в цілому.

Підлога кабіни пасажирського ліфта виконана за модульним принципом і складається з кількох уніфікованих металевих секцій. Кожен модуль має спеціально сформовані загнуті кромки, які під час складання з'єднуються між собою, утворюючи просторову жорстку конструкцію. Завдяки цьому формуються додаткові ребра жорсткості, що значно підвищують несучу здатність підлоги та забезпечують її надійну роботу під дією розрахункового навантаження. Для підвищення комфорту та безпеки пасажирів усередині кабіни встановлено поручень (4, рис. 3.4), який може використовуватися як додаткова опора під час руху ліфта.

Шків противаги, аналогічно до інших елементів канатної системи, здійснює обертання навколо осі, закріпленої у підшипниковому вузлі.

Система привода дверей кабіни розрахована на роботу лише у двох фіксованих положеннях – повністю відкритому та повністю закритому. Проміжні робочі стани конструкцією не передбачені, що відповідає чинним вимогам безпеки та нормативам експлуатації пасажирських ліфтів.

Якщо під час автоматичного зачинення дверей пасажир не встиг завершити посадку або висадку, процес закривання може бути перерваний. Для цього користувач має можливість вплинути на роботу дверного механізму, що дозволяє запобігти створенню небезпечних ситуацій та забезпечує безпечне користування ліфтом.

3.2 Побудова електричної принципової схеми керування електроприводом пасажирського ліфта

Система електропривода живиться від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В та частотою 50 Гц [10].

Функціонування електропривода пасажирського ліфта здійснюється відповідно до електричної принципової схеми, наведеної на рис. 3.5.

Склад основного електрообладнання наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік застосованого обладнання

№ п/п	Найменування	Позначення	Тип
1	Електромагнітний контактор	<i>KL</i>	<i>LC1D25M7</i>
2	Електромагнітний контактор	<i>KS</i>	<i>LC1D25M7</i>
3	Електромагнітний контактор	<i>K1</i>	<i>LC1D25M7</i>
4	Електромагнітний контактор	<i>K2</i>	<i>LC1D25M7</i>
5	Електромагнітний контактор	<i>KF</i>	<i>LC1D25M7</i>
6	Електромагнітний контактор	<i>KCA</i>	<i>LC1D25M7</i>
7	Трансформатор	<i>Tr</i>	OCM1-0,16
8	Автоматичний вимикач	<i>Q1</i>	<i>S203-C32</i>
9	Автоматичний вимикач	<i>Q2</i>	<i>S201-B16</i>
10	Мостовий випрямляч	<i>VD</i>	<i>SKBPC3510</i>
11	Діод	<i>D</i>	<i>SMCJ48A</i>
12	Фільтр радіоперешкод	<i>RFI</i>	<i>FN3258</i>
13	Логічний контролер	<i>LC</i>	<i>M221</i>
14	Перетворювач частоти	<i>FC</i>	<i>ATV930D11N4</i>
15	Виконавчий АД	<i>M</i>	AC2-91-6/24
16	Електромагнітні гальма	<i>EMB</i>	<i>BFK458</i>
17	Гальмівний резистор	<i>RF</i>	<i>VW3A7704</i>

Для забезпечення електромагнітної сумісності та зниження рівня завад на вході перетворювача частоти встановлено мережевий фільтр [11].

Асинхронний електродвигун канатної лебідки підключається до частотного перетворювача через систему електромагнітних контакторів. Частина контакторів використовується для керування приводом розсувних дверей кабіни ліфта, а також для комутації допоміжних кіл [12]. Роботу механізму відкривання та зачинення дверей забезпечує окремий електромагнітний контактор, який виконує функції керування дверним приводом.

Гальмування та утримання кабіни в нерухомому стані реалізується за допомогою електромагнітних гальм. Їхнє вмикання та вимикання здійснюється через відповідний контактор керування, що забезпечує надійну роботу механізму підйому та спуску кабіни.

Електропривод ліфта може працювати у двох основних режимах:

- штатному (робочому);
- режимі ревізії та евакуації.

Робочий режим призначений для щоденної експлуатації ліфта пасажирями. Режим ревізії використовується обслуговуючим персоналом під час проведення профілактичних оглядів, налагоджувальних робіт та ремонтного обслуговування. У разі виникнення аварійної ситуації або необхідності евакуації пасажирів перехід до спеціального режиму відбувається через коло вимикачів безпеки. За нормальних умов експлуатації вибір режиму роботи виконується кнопками керування через відповідні контактори [13]. Команди на їх спрацювання надходять від програмованого логічного контролера, вихідна напруга якого становить +24 В постійного струму.

Обмін сигналами між логічним контролером та перетворювачем частоти забезпечує реалізацію основних функцій керування електроприводом, зокрема:

- рух кабіни вгору;
- рух кабіни вниз;
- регулювання швидкості переміщення;
- активацію режиму ревізії та евакуації.

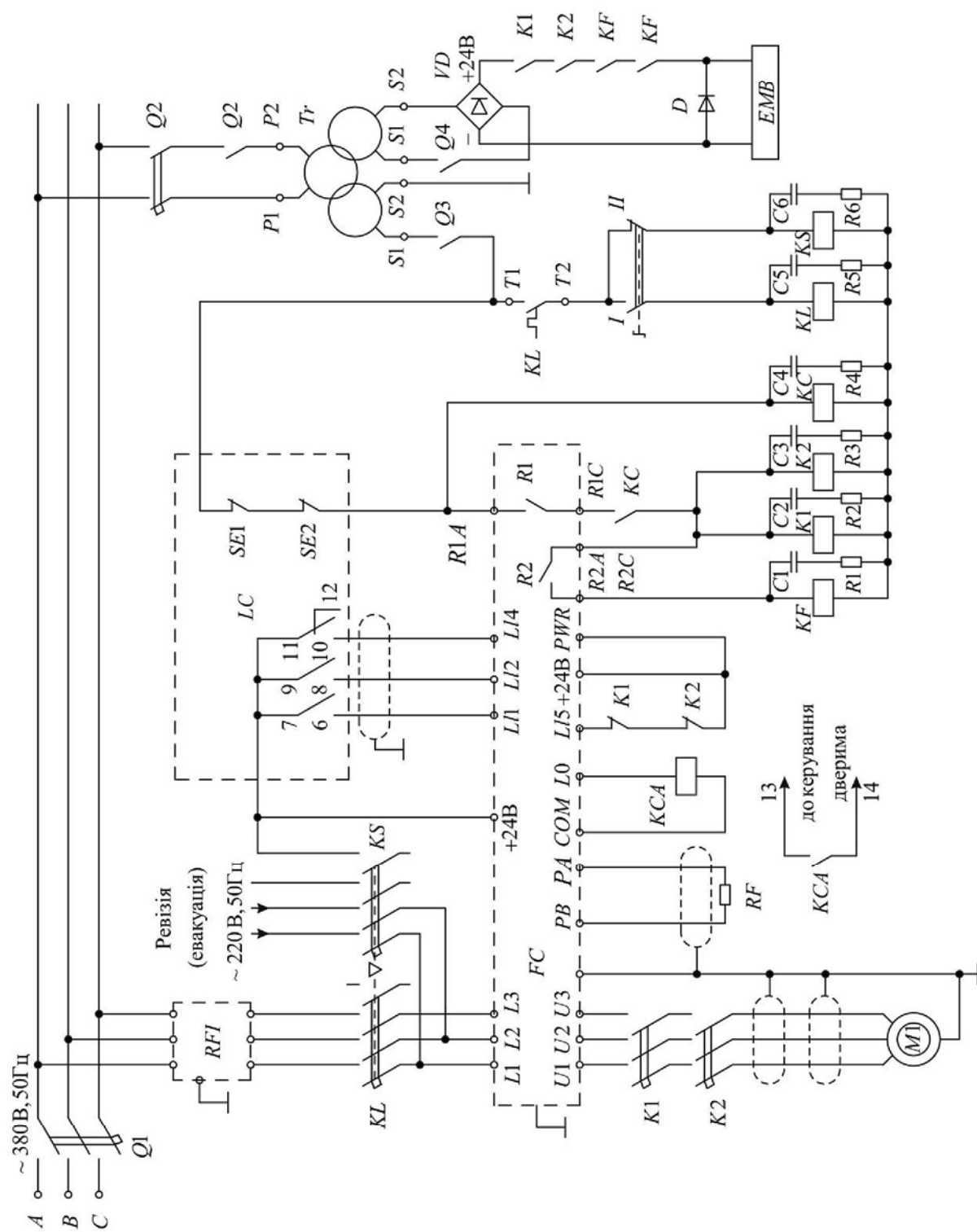


Рисунок 3.5 – Електрична принципова схема керування електроприводом пасажирського ліфта

Для контролю теплового стану привода використовується тепловий контакт, який спрацьовує при перевищенні допустимих параметрів роботи двигуна та запобігає його перевантаженню.

Живлення кіл безпеки, теплового захисту та котушок електромагнітних контакторів здійснюється від вторинної обмотки двообмоткового трансформатора. Первинна обмотка підключена до мережі змінного струму напругою 220 В [14]. Вторинна обмотка поділена на два незалежні електричні кола з напругою 220 В, які мають гальванічну розв'язку від первинного кола. Один із вторинних контурів заземлений, що підвищує рівень електробезпеки під час експлуатації обладнання та мінімізує ризик ураження електричним струмом.

Живлення електромагнітних гальм привода підйому та спуску кабіни здійснюється постійною напругою +48 В, яка формується за допомогою мостового випрямляча [15]. Для захисту кола від впливу зворотних струмів передбачено використання захисного діода.

Під час гальмування електропривода енергія, що генерується двигуном у режимі рекуперації, розсіюється на гальмівному резисторі. Це забезпечує стабільну роботу частотного перетворювача та дозволяє реалізувати необхідний гальмівний момент до повної зупинки кабіни.

Для привода механізму відкривання та закривання розсувних дверей застосовується комплектний дверний електропривод *NICE-D-A-SOP4* потужністю 400 Вт.

3.3 Вибір кабіни і визначення швидкості її руху

Ліфт пасажирський з канатоведучим шківом. У під'їзді житлового будинку ліфтом користуються 320 чоловік. Будівельна висота шахти $H_{\text{ш}} = 33$ м.

Максимальна висота підняття кабіни

$$H = H_{\text{ш}} - h_{\text{п}} = 33 - 3,3 = 29,7 \text{ м},$$

де $h_{\Pi} = 3,3$ м – висота поверху.

Для експлуатації в під'їзді житлового будинку вибираємо ліфт, у кабіні якого розміщується $z = 6$ пасажирів [16].

Вантажність такого ліфта

$$Q = m \cdot z,$$

де $m = 80$ кг – маса одного пасажирів.

Тоді

$$Q = 80 \cdot 6 = 480 \text{ кг.}$$

Беремо вантажність ліфта $Q = 500$ кг.

Вага вантажу, що підіймається ліфтом

$$G = Q \cdot g = 500 \cdot 9,81 = 4905 \text{ Н.}$$

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

Отже

$$G = 500 \cdot 9,81 = 4905 \text{ Н.}$$

Для цієї вантажності вибираємо кабінку масою $m_{\text{кб}} = 850$ кг та габаритними розмірами: ширина $B_{\text{кб}} = 1100$ мм, глибина $L_{\text{кб}} = 1650$ мм.

Вага кабіни

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

$$G_{\text{кб}} = 850 \cdot 9,81 = 8338,5 \text{ Н.}$$

Кількість поверхів житлового будинку

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

$$N_{\pi} = \frac{33}{3,3} = 10 \text{ поверхів.}$$

Вибираємо ліфт із середньою швидкістю руху кабіни $v = 1,22$ м/с.

3.4 Визначення продуктивності одного ліфта і необхідної їх кількості

Продуктивність одного ліфта

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

де T – тривалість одного рейсу кабіни

$$T = \frac{2 \cdot H}{v} + t_{\text{д}},$$

де $t_{\text{д}}$ – час який витрачається на відчинення-зачинення дверей кабіни, вхід-вихід пасажирів, пуск ліфта і тому подібне

$$t_{\text{д}} = 1,1 \cdot [t_1 \cdot (K + 1) + t_2 \cdot z \cdot \varphi],$$

де $t_1 = 6,5$ с – час, який при кожному зупиненні витрачається на відчинення-зачинення дверей, пуск і зупинення ліфта [17];

$t_2 = 1,5$ с – час, який витрачається пасажиром на вхід і вихід із кабіни (для двостулкових дверей);

$K = 5$ – кількість імовірних зупинок ліфта на поверхах, вищих від першого;

$\varphi = 0,6$ – коефіцієнт заповнення кабіни (для ліфтів житлових будинків).

Тоді

$$t_d = 1,1 \cdot [6,5 \cdot (5 + 1) + 1,5 \cdot 6 \cdot 0,65] = 49,3 \text{ с.}$$

Відповідно

$$T = \frac{2 \cdot 29,7}{1,22} + 49,3 = 98 \text{ с.}$$

Отже, продуктивність одного ліфта становитиме

$$П = \frac{3600 \cdot 6}{98} \cdot 0,65 = 143 \text{ чол/год.}$$

Визначаємо розрахунковий п'ятихвилинний пасажиропотік

$$П_5 = K_0 \cdot П_n,$$

де $П_n = 320$ чол. – кількість людей, які користуються ліфтом;

$K_0 = 0,04$ – дослідний коефіцієнт.

Таким чином

$$П_5 = 0,04 \cdot 320 = 16 \text{ чол.}$$

Розрахунковий пасажиропотік за 1 год

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

$$\Pi_p = \frac{60}{5} \cdot 16 = 192 \text{ чол/год.}$$

Необхідна кількість ліфтів

$$z_{\text{л}} = \frac{\Pi_p}{\Pi},$$

$$z_{\text{л}} = \frac{192}{143} = 1,34.$$

Отже, у під'їзді житлового будинку треба становити два ліфти.

Тривалість очікування пасажирами повернення кабіни на перший поверх

$$t_{\text{оч}} = \frac{T}{z_{\text{л}}},$$

$$t_{\text{оч}} = \frac{98}{2} = 49 \text{ с.}$$

У житлових будинках і готелях допустима тривалість очікування від 40 до 60 с, у спорудах адміністративного, розважального і навчального призначення від 30 до 45 с.

3.5 Вибір спуско-підйомних канатів

Для ліфта з канатоведучим шківом вантажністю $Q = 500$ кг, діаметр привідного шківа становить 930 мм. Якщо відстань між центрами ваги кабіни і противаги 930 мм, то кабіна і противага вільно поміщаються в шахті і не перешкоджають взаємному відносному рухові.

Для ліфта вантажністю $Q = 500$ кг, кількість підймальних канатів $z_k = 4$.

Канати, призначені для підвішування кабіни, розраховують за статичним натягом від ваги кабіни $G_{кб}$, ваги номінального вантажу G і максимальної власної ваги канатів G_k (коли кабіна внизу).

Сила натягу одного каната

$$S = \frac{G + G_{кб} + G_k}{z_k},$$

де G_k – вага каната типу ЛК-РО діаметром $d_k = 11,5$ мм, який передбачено використати в ліфті.

$$G_k = q_k \cdot L_k,$$

де q_k – лінійна (погонна) вага каната

L_k – довжина канатів, коли кабіна внизу.

Лінійна вага каната

$$q_k = m_k \cdot g,$$

де $m_k = 0,52$ кг/м – лінійна (погонна) маса каната [18];

Довжина канатів

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

де $h_{\text{кб}} = 2,3$ м – висота кабіни;

$h_0 = 1,2$ м – відстань від стелі верхнього поверху до центра канатоведучого шківа;

$h_{\text{рез}} = 1,5$ м – резервна довжина каната.

Отже

$$L_k = 4 \cdot (33 - 2,3 + 1,2 + 1,5) = 133,6 \text{ м.}$$

Тоді, лінійна вага каната

$$q_k = 0,52 \cdot 9,81 = 5,1 \text{ Н/м.}$$

Вага каната типу ЛК-РО

$$G_k = 5,1 \cdot 133,6 = 681 \text{ Н.}$$

Відповідно сила натягу одного каната

$$S = \frac{4905 + 8338,5 + 681}{4} = 3480 \text{ Н.}$$

Розривна сила каната

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

де $k_k = 13$ – запас міцності каната.

Отже

$$S_p \geq 13 \cdot 3480 = 45240 \text{ Н.}$$

Попередньо, до перевірки каната за допустимим тиском на шків, вибираємо канат типу ЛК-РО з границею міцності дротів $\sigma_b = 1766$ МПа, діаметром $d_k = 11,5$ мм, з лінійною (погонною) масою $m_k = 0,52$ кг/м ($q_k = 5,1$ Н/м) та розривною силою всіх дротів $G_z = 75,19$ 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 $\mu = 0,192$.

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 $p_{\max} = 5$ МПа – максимально допустимий тиск для пасажирського ліфта з канатоведучим шківом у режимі інтенсивної роботи.

Отже

$$p = 0,85 \cdot 5 = 4,25 \text{ МПа.}$$

Таким чином, допустиме навантаження на кожний канат

$$S = 0,0115 \cdot 0,93 \cdot 4,25 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 - 1,74 - \sin 100^\circ}{8 \cos(100^\circ / 2)} = 3622 \text{ Н.}$$

Кількість канатів

$$z_k = \frac{G + G_{кб} + G_k}{S},$$

$$z_k = \frac{4905 + 8338,5 + 951}{3480} = 4.$$

Остаточно приймаємо $z_k = 4$ і вибираємо канат типу ЛК-РО конструкції 6х36, діаметром $d_k = 11,5$ мм, з границею міцності $\sigma_b = 1766$ МПа.

Діаметр канатоведучого шківa має задовольняти умову

$$D_{ш} \geq e \cdot d_k,$$

де $e = 40$ – коефіцієнт, який залежить від типу і швидкості ліфта.

Таким чином, виконується умова

$$930 \geq 40 \cdot 11,5 = 460 \text{ мм.}$$

4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА ДЕСЯТИ ПОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

4.1 Розрахунок кінематичних параметрів пасажирського ліфта

Для розрахунку кінематичних параметрів вибираємо п'ятиперіодну робочу діаграму. Середня швидкість руху кабіни $v = 1,22$ м/с.

Беремо прискорення:

– під час пуску $a_1 = 1$ м/с².

– під час гальмування $a_3 = 1$ м/с² і $a_5 = 0,5$ м/с².

Вага противаги

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

де $\psi_{\text{зр}} = 0,4$ – коефіцієнт зрівноважування ваги вантажу, що відповідає коефіцієнту використання ліфта $\phi = 0,8$.

Розрахункова потужність привідного механізму ліфта

$$P = \frac{F \cdot v}{10^3 \cdot \eta_{\text{ред}}},$$

де F – колова сила на шківу;

$\eta_{\text{ред}} = 0,7$ – коефіцієнт корисної дії (ККД) 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 $K_1 = 0,07$ – коефіцієнт, який враховує опір рухові кабіни в напрямних.

Отже, додатковий опір рухові кабіни

$$W = 0,07 \cdot 4904 = 343 \text{ Н.}$$

Тоді, колова сила на шківу

$$F = 4904 + 8338 + 681 + 343 - 10299 = 3967 \text{ Н.}$$

Таким чином, розрахункова потужність привідного механізму ліфта

За розрахунковою потужністю вибираємо двошвидкісний електродвигун типу АС2-92-6/24 потужністю $P = 10 / 2,5$ кВт, частота обертання вала $n = 930 / 200$ об/хв.

Коефіцієнт перевантаження

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

де $M_{\max} = 2,5$ – відношення максимального моменту;

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

Отже

$$\psi = \frac{2,5}{1,8} = 1,38.$$

Момент інерції ротора $I_p = 0,178 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, моменті інерції гальмівного шківа, встановленого на валу двигуна $I_{гш} = 0,089 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

У третього періоді робочої діаграми, щоб перейти на знижену швидкість, електродвигун перемикають на частоту обертання $n = 200 \text{ об/хв}$, при цьому швидкість руху кабіни

$$v_{p.кб} = \frac{n_2}{n_1} \cdot v,$$

де $n_1 = 930 \text{ об/хв}$ – висока швидкість роботи електродвигуна;

$n_2 = 200 \text{ об/хв}$ – низька швидкість роботи електродвигуна.

$$v_{p.кб} = \frac{200}{930} \cdot 1,22 = 0,26 \text{ м/с}.$$

Параметри діаграми:

– тривалість руху кабіни

$$t_{p.кб} = \frac{H}{v},$$

$$t_{p.кб} = \frac{29,7}{1,22} = 24,3 \text{ с}.$$

– тривалість пуску в першому періоді

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

$$t_1 = \frac{1,22}{1} = 1,22 \text{ с.}$$

– шлях, пройдений кабіною за час пуску

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

$$h_1 = \frac{0 + 1,22}{2} \cdot 1,22 = 0,74 \text{ м.}$$

– умовна швидкість

$$v_y = v - v_{\text{р.кб}},$$

$$v_y = 1,22 - 0,26 = 1 \text{ м/с.}$$

– тривалість гальмування у третьому періоді

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

$$t_3 = \frac{1}{1} = 1 \text{ с.}$$

– шлях, пройдений кабіною за час гальмування в третьому періоді

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

$$h_3 = \frac{1}{2} \cdot 1 = 0,5 \text{ м.}$$

– тривалість гальмування в п'ятому періоді

$$t_5 = \frac{v_{\text{р.кб}}}{a_5},$$

$$t_5 = \frac{0,26}{0,5} = 0,43 \text{ с.}$$

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

$$h_5 = \frac{0 + v_{\text{р.кб}}}{2} \cdot t_5,$$

$$h_5 = \frac{0,26}{2} \cdot 0,43 = 0,046 \text{ м.}$$

Довжина шляху, який кабіна проходить зі швидкістю $v_{\text{р.кб}} = 0,26 \text{ м/с}$,
 $h_4 = 0,21 \text{ м}$, тривалість цього руху

$$t_4 = \frac{h_4}{v_{\text{р.кб}}},$$

$$t_4 = \frac{0,21}{0,26} = 0,97 \text{ с.}$$

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

Час для реалізації умовної триперіодної діаграми

$$t_y = t_{п.кб} - \frac{v_{п.кб}}{a_1} - \frac{h_4}{v_{п.кб}} - \frac{v_{п.кб}}{a_5},$$

$$t_y = 24,3 - \frac{0,26}{1} - \frac{0,21}{0,26} - \frac{0,26}{0,5} = 22,7 \text{ с},$$

$$t_1'' = \frac{v_{п.кб}}{a_1},$$

$$t_1'' = \frac{0,26}{1} = 0,26 \text{ с},$$

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

$$t_1' = 1,22 - 0,26 \approx 1 \text{ с},$$

$$h_1'' = \frac{0 + v_{п.кб}}{2} \cdot t_1'',$$

$$h_1'' = \frac{0,26}{2} \cdot 0,26 = 0,0231 \text{ м}.$$

За умовною триперіодною діаграмою швидкості руху кабіни:

— довжина шляху

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

$$H_y = 29,7 - 0,0231 - 0,21 - 0,0462 - 0,26 \cdot 22,7 = 24,5 \text{ м.}$$

— біном прискорень

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

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

— константа кінематичного режиму

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

$$E_\alpha = \frac{22,7^2}{2 \cdot 24,5} = 10,5,$$

— множник швидкості

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

$$\alpha = 10,5 - \sqrt{10,5^2 - 2 \cdot 10,5} = 1,05.$$

— максимальна швидкість

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

$$v_{\max y} = 1,05 \cdot \frac{24,5}{22,7} = 1,13 \text{ м/с.}$$

Максимальна швидкість за фактичною діаграмою

$$v_{\max} = v_{\max y} + v_{\text{р.кб}},$$

$$v_{\max} = 1,13 + 0,26 = 1,34 \text{ м/с.}$$

Частота обертання канатоведучого шківа

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

$$n_{\text{ш}} = \frac{60 \cdot 1,34}{3,14 \cdot 0,93} = 27,5 \text{ об/хв.}$$

Передатне число редуктора, що відповідає максимальній швидкості кабіни

$$u_{\text{р}} = \frac{n}{n_{\text{ш}}},$$

$$u_{\text{р}} = \frac{930}{27,5} \approx 33,82.$$

Щоб забезпечити максимальну швидкість, треба спроектувати редуктор підіймальної лебідки з передатним числом $u_{\text{л}} = 30$. Тоді фактична частота обертання шківів

$$n_{\text{ш.ф}} = \frac{n}{u_{\text{л}}},$$

$$n_{\text{ш.ф}} = \frac{930}{30} = 31 \text{ об/хв.}$$

Фактична максимальна швидкість руху кабіни

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

$$v_{\text{max}} = \frac{3,14 \cdot 0,93 \cdot 31}{60} = 1,51 \text{ м/с.}$$

4.2 Розрахунок силових параметрів ліфта

Визначимо повну масу частин пасажирського ліфта, зведену до твірної канатоведучого шківів.

Зведені до твірної шківів маси:

— ротор двигуна

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

де радіус шківів визначається за формулою

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

$$R_{\text{ш}} = \frac{0,93}{2} = 0,465 \text{ м.}$$

Таким чином, маса ротора становитиме

$$m_{\text{р}} = \frac{0,178}{0,465^2} \cdot 30^2 = 741 \text{ кг,}$$

— гальмівного шківів

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

$$m_{\text{гш}} = \frac{0,089}{0,465^2} \cdot 30^2 = 370 \text{ кг.}$$

— редуктора

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

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

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

$$I_{\text{ред}} = (1,15 - 1) \cdot (0,178 + 0,089) = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Отже, маса редуктора

$$m_{\text{гш}} = \frac{0,04}{0,465^2} \cdot 30^2 = 167 \text{ кг}.$$

– привідного шківа

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

де $I_{\text{ш}} = 41,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції канатоведучого шківа.

Таким чином, маса привідного шківа

$$m_{\text{ш}} = \frac{41,6}{0,465^2} = 192 \text{ кг},$$

Маса вантажу $m_{\text{п}} = 500 \text{ кг}$. Маса кабіни $m_{\text{кб}} = 850 \text{ кг}$. Маса противаги $m_{\text{пр}} = 1050 \text{ кг}$.

Маса канатів

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

де L_3 – загальна довжина канатів, що визначається виразом

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

де $L_k = 133,6$ м – довжина канатів з боку кабіни, коли вона внизу;

$L_{кп}$ – довжина канатів з боку противаги, коли кабіна вгорі, і ділянка канатів, що огинають шків

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

де $h_{п} = 3,3$ м – висота поверху;

$h_{пр} = 2,5$ м – висота противаги.

Відповідно, довжина канатів з боку противаги

$$L_{кп} = 4 \cdot \left[1,2 + (3,3 - 2,5) + 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,93 + 1,5 \right] = 19,8 \text{ м.}$$

Таким чином, загальна довжина канатів

$$L_3 = 133,6 + 19,84 = 153 \text{ м.}$$

Отже, повна маса канатів

$$m_k = 0,52 \cdot 153 = 79,6 \text{ кг.}$$

Повна маса частин шківа, зведена до твірної шківа

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

$$m = 741 + 370 + 167 + 192 + 500 + 850 + 1050 + 79,6 = 3947 \text{ кг.}$$

Розрахуємо рухомі зусилля на ободі канатоведучого шківа.

Зусилля на першому етапі руху

$$F_1 = k \left[(1 - \psi_{\text{зп}}) \cdot G + q_{\text{к}} \cdot L_{\text{к}} \right] + a_1 \cdot m,$$

де $k = 1,07$ – коефіцієнт, який враховує шкідливий опір рухові: для ліфтів вантажністю до 2000 кг з ковзними башмаками.

Відповідно, зусилля на першому етапі руху

$$F_1 = 1,07 \left[(1 - 0,4) \cdot 4905 + 5,1 \cdot 133,6 \right] + 1 \cdot 3947 = 7824 \text{ Н.}$$

Зусилля на початку другого етапу руху

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

$$F_2 = 1,07 \left[(1 - 0,4) \cdot 4905 + 5,1 \cdot 133,6 \right] = 3877 \text{ Н.}$$

Зусилля наприкінці цього етапу

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

$$F'_2 = 1,07 \left[(1 - 0,4) \cdot 4905 + 4 \cdot 5,1 (0,74 + 1,2) \right] = 3190 \text{ Н.}$$

Зусилля на початку третього етапу руху

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

$$F_3 = 1,07 \left[(1 - 0,4) \cdot 4905 + 4 \cdot 5,1 (0,74 + 1,2) \right] - 1 \cdot 3947 = -756 \text{ Н.}$$

Зусилля наприкінці цього етапу

$$F'_3 = F_3 = -756 \text{ Н.}$$

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

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

$$F_4 = F'_4 = 1,07 \left[(1 - 0,4) \cdot 4905 + 4 \cdot 5,1(0,74 + 1,2) \right] = 3190 \text{ Н.}$$

Зусилля на початку і наприкінці п'ятого етапу руху

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

$$F_5 = F'_5 = 1,07 \left[(1 - 0,4) \cdot 4905 + 4 \cdot 5,1(0,74 + 1,2) \right] - 0,5 \cdot 3947 = 1217 \text{ Н.}$$

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

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

$$t_1 = \frac{1,51}{1} = 1,51 \text{ с},$$

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

$$v_{\text{ркф}} = 1,51 \cdot \frac{200}{930} = 0,32 \text{ м/с},$$

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

$$t_3 = \frac{1,51 - 0,32}{1} = 1,19 \text{ с},$$

$$t_5 = \frac{v_{\text{ркф}}}{a_5},$$

$$t_5 = \frac{0,32}{0,5} = 0,64 \text{ с},$$

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

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

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

де шляхи руху h визначаються через рівняння

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

$$h_1 = \frac{1,51}{2} \cdot 1,51 = 1,14 \text{ м},$$

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

$$h_3 = \frac{1,51 - 0,32}{2} \cdot 1,19 = 0,71 \text{ м},$$

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

$$h_5 = \frac{0,32}{2} \cdot 0,62 = 0,106 \text{ м}.$$

Уточнюємо додатковий час при підйманні повністю завантаженого ліфта на верхній поверх

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

де $k=1$ – якщо ліфт зупинився на верхньому поверсі.

Таким чином, додатковий час

$$t_{\text{дод}} = 1,1 \cdot [6,5 \cdot (1+1) + 1,5 \cdot 6 \cdot 0,65] = 20,75 \text{ с.}$$

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

$$T_e = \frac{2}{3} \cdot (1,51 + 1,19 + 0,66 + 0,64) + 18,4 + \frac{1}{3} \cdot 20,75 = 28 \text{ с.}$$

Щоб розрахувати потужність підйимального двигуна, визначимо еквівалентне зусилля

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

де інтеграл набуває виду

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

$$\int_0^T F^2 dt = 7824^2 \cdot 1,51 + \frac{3877^2 + 3190^2}{2} \cdot 18,4 + 8211205,78,$$

$$\int_0^T F^2 dt = 333,8 \cdot 10^{-6} \text{ Н}^2 \cdot \text{с.}$$

Еквівалентна потужність підіймального двигуна

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

$$P_e = \frac{3448 \cdot 1,51}{10^3 \cdot 0,85} = 6,13 \text{ кВт.}$$

Отже, вибраний раніше електродвигун повністю забезпечує роботу пасажирського ліфта.

Номінальне зусилля на канатоведучому шківі

$$F_H = \frac{P_H \cdot \eta_p}{v_{\max}},$$

$$F_H = \frac{10000 \cdot 0,85}{1,51} = 5629 \text{ Н.}$$

Кратність пускового зусилля (моменту)

$$\psi = \frac{F_{\max}}{F_H},$$

$$\psi = \frac{7824}{5629} = 1,39 < (\psi) = 2,5.$$

Вибраний електродвигун повністю забезпечує стабільний пуск із заданим прискоренням кабіни ліфта.

4.3 Перевірка канатоведучого шківa на буксування

Завантажений повністю на першому поверсі ліфт має бути запущений без пробуксовування канатоведучого шківa відносно підймальних канатів. 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 підймального каната в період запуску;

$S_{\text{зб.д}}$ – зусилля в збіжній вітці підймального каната;

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

Відповідно

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

де $m_1 = 1419$ кг – маса підвісу з боку кабіни.

Отже, зусилля в набіжній вітці підймального каната в період запуску

$$S_{\text{нб.д}} = 4904 + 8338 + 681 + 343 + 1 \cdot 1419 = 15685 \text{ Н},$$

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

де $m_2 = 1060$ кг – маса підвісу з боку противаги;

$G_{\text{к2}} = 98$ кг – вага канатів з боку противаги.

Таким чином, зусилля в збіжній вітці підймального каната

$$S_{\text{зб.д}} = 10299 + 101 - 1059 \cdot 1 \approx 9340 \text{ Н}.$$

Після підстановки числових значень маємо

$$S_{\text{нб.д}} \leq 9341 \cdot 2,71^{0,192 \cdot 3,14} \approx 17068 \text{ Н.}$$

Отже, буксування немає.

4.4 Розрахунок енергетичних параметрів ліфта

Потужність підйимального двигуна та споживану енергію визначаємо для одного випадку, а саме, коли ліфт 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)

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

$$P_{\text{в1}} = \frac{7824 \cdot 0}{2} = 0,$$

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

де $\eta_{\text{дв}} = 0,92$ – ККД двигуна.

Таким чином

$$P_{\text{м1}} = \frac{7824 \cdot 1,51}{0,7 \cdot 0,92} = 15,11 \text{ кВт.}$$

У кінці розгону

$$P_{\text{в1}} = \frac{F_1 \cdot v_{\text{max}\phi}}{\eta_{\text{p}}},$$

$$P_{\text{в1}} = \frac{7824 \cdot 1,51}{0,85} = 13,89 \text{ кВт},$$

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

$$P_{\text{м1}} = \frac{7824 \cdot 1,51}{0,85 \cdot 0,92} = 15,11 \text{ кВт}.$$

На початку рівномірного руху

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

$$P_{\text{в2}} = \frac{3877 \cdot 1,51}{0,85} = 6,88 \text{ кВт},$$

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

$$P_{\text{м2}} = \frac{3877 \cdot 1,51}{0,85 \cdot 0,92} = 7,48 \text{ кВт}.$$

Наприкінці рівномірного руху

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

$$P'_{в2} = \frac{3190 \cdot 1,51}{0,85} = 6,15 \text{ кВт},$$

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

$$P'_{м2} = \frac{3190 \cdot 1,51}{0,85 \cdot 0,92} = 6,15 \text{ кВт},$$

На початку уповільнення в третьому періоді

$$P_{в3} = F_3 \cdot v_{\max \phi} \cdot \eta_p,$$

$$P_{в3} = -756 \cdot 1,51 \cdot 0,85 = -0,97 \text{ кВт},$$

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

$$P_{м3} = -756 \cdot 1,51 \cdot 0,85 \cdot 0,92 = -0,89 \text{ кВт}.$$

Наприкінці уповільнення в цьому періоді

$$P'_{в3} = F'_3 \cdot v_{ркф} \cdot \eta_p,$$

$$P'_{в3} = -756 \cdot 0,32 \cdot 0,85 = -0,21 \text{ кВт},$$

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

$$P'_{\text{м3}} = -756 \cdot 1,51 \cdot 0,85 \cdot 0,92 = -0,89 \text{ кВт},$$

На початку рівномірного руху в четвертому періоді

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

$$P_{\text{в4}} = \frac{3190 \cdot 0,32}{0,85} = 1,21 \text{ кВт},$$

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

$$P_{\text{м4}} = \frac{3190 \cdot 1,51}{0,85 \cdot 0,92} = 6,15 \text{ кВт}.$$

Наприкінці рівномірного руху в цьому періоді

$$P'_{\text{в4}} = P_{\text{в4}} = 1,21 \text{ кВт},$$

$$P'_{\text{м4}} = P_{\text{м4}} = 6,15 \text{ кВт}.$$

На початку уповільнення в п'ятому періоді

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

$$P_{\text{в5}} = \frac{1217 \cdot 0,32}{0,85} = 0,46 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{м5}} = \frac{F_5 \cdot v_{\text{max}\phi}}{\eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{дв}}},$$

$$P_{\text{м5}} = \frac{1217 \cdot 0,51}{0,85 \cdot 0,92} = 0,33 \text{ кВт}.$$

Наприкінці уповільнення в цьому періоді

$$P'_{\text{в5}} = \frac{F'_5 \cdot 0}{\eta_{\text{п}}},$$

$$P'_{\text{в5}} = \frac{1217 \cdot 0}{0,85} = 0,$$

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

$$P'_{\text{м5}} = \frac{1217 \cdot 0,22}{0,85 \cdot 0,92} = 0,34 \text{ кВт}.$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз небезпек пов'язаних з експлуатацією ліфтів

Під час експлуатації пасажирських ліфтів існує низка потенційних небезпек, які можуть становити загрозу як для пасажирів, так і для персоналу, що здійснює технічне обслуговування обладнання [19]. До основних небезпечних факторів належать:

- затискання частин тіла рухомими елементами конструкції;
- здавлювання людини між рухомими та нерухомими частинами ліфтового обладнання;
- падіння пасажирів або обслуговуючого персоналу;
- аварійна або непередбачена зупинка кабіни між поверхами;
- виникнення пожежі внаслідок несправності електрообладнання чи інших причин;
- ураження електричним струмом під час експлуатації або технічного обслуговування;
- вплив вібраційних навантажень на елементи конструкції та персонал;
- погіршення технічного стану обладнання внаслідок пошкодження матеріалів, зокрема через:
 - механічні навантаження та удари;
 - природний знос деталей і вузлів;
 - корозійні процеси, спричинені впливом навколишнього середовища.

Для забезпечення безпечної експлуатації ліфта зазначені небезпеки повинні бути враховані під час проєктування, монтажу, технічного обслуговування та проведення ремонтних робіт, а також компенсовані відповідними технічними та організаційними заходами безпеки.

5.2 Вимоги, щодо безпеки ліфтів

Всі ліфти, їх вузли, механізми, прилади керування та пристрої безпеки повинні відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів і технічних стандартів, що регламентують їх проєктування, виготовлення та експлуатацію. Виконання робіт з монтажу, ремонту та технічного обслуговування ліфтового обладнання повинно здійснюватися із застосуванням необхідних технічних засобів та оснащення відповідно до вимог ГСТУ 36.1-009-99.

Габаритні та приєднувальні розміри ліфтів різного призначення повинні відповідати вимогам чинних стандартів [20]. Для пасажирських ліфтів класів I, II, III та VI застосовуються вимоги ДСТУ ISO 4190-1:2001, для вантажних ліфтів класу IV, що використовуються у супроводі людей, – ДСТУ ISO 4190-2:2001, а для малих службових ліфтів класу V – ДСТУ ISO 4190-3:2001. Вимоги до пристроїв керування, сигналізації та допоміжного обладнання встановлені стандартом ДСТУ ISO 4190-5:2001.

Кліматичне виконання ліфтового обладнання повинно відповідати умовам навколишнього середовища та кліматичним районам України, у яких передбачається його експлуатація. Вибір типу та параметрів ліфтів для житлових будівель здійснюється відповідно до вимог ДСТУ ISO 4190-6:2001.

Особлива увага приділяється забезпеченню доступності користування ліфтами для маломобільних груп населення, що регламентується вимогами ДСТУ EN 81-70. Робота ліфта в умовах пожежі повинна відповідати вимогам стандарту ДСТУ EN 81-73, який визначає порядок функціонування обладнання в аварійних ситуаціях.

Всі зміни, що виникають під час монтажу, реконструкції або модернізації ліфта та потребують відступу від проєктної документації, повинні бути погоджені з виробником обладнання або організацією-розробником проєкту. Внесені зміни підлягають обов'язковому документальному оформленню та затвердженню відповідними організаціями.

Фактична швидкість руху кабіни не повинна відрізнятися від номінальної більш ніж на $\pm 15\%$. При роботі ліфта точність зупинки кабіни відносно рівня поверхової площадки повинна забезпечуватися в межах ± 20 мм. Для ліфтів із синхронною роботою дверей шахти та кабіни допустиме відхилення може збільшуватися до 35 мм.

Різьбові та інші рознімні з'єднання, які працюють під дією змінних або ударних навантажень, повинні бути захищені від самовільного послаблення. Передача крутного моменту в механічних з'єднаннях має здійснюватися за допомогою шпонок, шліцьових з'єднань, болтів або інших елементів кріплення. Зварні конструкції ліфта повинні відповідати вимогам ГСТУ 36.1-003-98 та виконуватися атестованими зварниками згідно з чинними нормативними документами.

Для ліфтів, обладнаних лебідками з канатотяговим шківом, конструкцією повинна бути виключена можливість самовільного піднімання противаги при нерухомій кабіні.

Конструкція ліфта має забезпечувати вільний доступ до основних вузлів і механізмів для проведення оглядів, технічного обслуговування та ремонтних робіт [21]. Також повинна бути передбачена можливість безпечної евакуації пасажирів із кабіни у випадку зникнення електроживлення або виникнення несправностей. Крім того, конструкція повинна дозволяти виконувати операції зі зняття кабіни та противаги з уловлювачів під час проведення ремонтних робіт.

Критерії вибракування підвісних ланцюгів кабіни, противаги та обмежувача швидкості встановлюються виробником і наводяться в експлуатаційній документації. Норми бракування сталевих канатів визначаються відповідними нормативними документами та технічними вимогами.

Захисне заземлення або занулення металевих частин ліфта повинно виконуватися згідно з вимогами електробезпеки, встановленими чинними нормативами [22]. Після завершення нормативного строку служби ліфт підлягає експертному обстеженню з метою визначення можливості його подальшої безпечної експлуатації.

Під час роботи ліфта забороняється перевищувати встановлену вантажопідйомність кабіни. Розрахунок максимально допустимої кількості пасажирів виконується виходячи з умови, що маса однієї людини приймається рівною 75 кг. Місткість кабіни визначається шляхом ділення номінальної вантажопідйомності на зазначену масу з округленням отриманого результату до більшого цілого значення.

Корисна площа підлоги кабіни для проміжних значень вантажопідйомності визначається методом лінійної інтерполяції. При цьому до розрахунку не включається площа, зайнята відчиненою стулкою дверей, а також не враховується зменшення площі через встановлення поручнів, плінтусів та інших допоміжних елементів кабіни.

Пасажирські ліфти призначені для перевезення людей, а також допускають транспортування ручної поклажі та предметів побутового призначення. Ліфти самостійного користування, які відповідають вимогам до обладнання класу III згідно з ДСТУ ISO 4190-1:2001, можуть застосовуватися в закладах охорони здоров'я для перевезення пацієнтів, медичного персоналу та необхідного обладнання.

Вантажні ліфти, обладнані лише зовнішнім керуванням, не допускаються до використання для перевезення людей. У разі транспортування вибухонебезпечних, легкозаймистих, хімічно активних або радіоактивних матеріалів необхідно вживати додаткових заходів безпеки, спрямованих на захист супроводжуючого персоналу, оточуючих осіб та самого ліфтового обладнання. Спільне перевезення пасажирів і небезпечних вантажів забороняється. При транспортуванні горючих та легкозаймистих рідин повинні виконуватися вимоги чинних правил пожежної безпеки.

Необхідність обладнання машинних приміщень системами опалення та примусової вентиляції визначається на стадії проєктування будівлі з урахуванням умов експлуатації ліфта та рекомендацій його виробника.

Система освітлення шахти, машинного та блочного приміщень повинна мати незалежне електроживлення, яке не залежить від силового кола привода

ліфта. Живлення освітлювальних приладів може здійснюватися від окремої електричної мережі або через ввідний пристрій електропривода.

Противага або балансувальний вантаж повинні розташовуватися в межах однієї шахти разом із кабіною ліфта. Шахта повинна мати суцільне огороження по всій висоті, а також перекриття і підлогу, що забезпечують безпечну експлуатацію обладнання.

У певних випадках допускається часткове огороження шахти. При цьому висота огорожі з боку дверей повинна становити не менше 3,5 м, якщо це дозволяє висота поверху. За недостатньої висоти поверху огороження виконується на максимально можливу висоту. З інших сторін висота огорожі повинна бути не меншою за 2,5 м при мінімальній горизонтальній відстані 0,5 м до рухомих елементів ліфта. Якщо ця відстань перевищує 0,5 м, допускається поступове зменшення висоти огорожі до 1,1 м на відстані 2 м від небезпечної зони. Край огорожі повинен розташовуватися не далі ніж 150 мм від межі перекриття, площадки або сходів.

Оглядові двері шахти повинні мати ширину не менше 600 мм та висоту не менше 1400 мм. Для аварійних дверей мінімальна висота становить 1800 мм, а ширина – 350 мм. Максимальні розміри оглядових люків обмежуються значенням 500×500 мм.

Якщо відстань між сусідніми дверима шахти перевищує 11 м, необхідно передбачати встановлення додаткових аварійних дверей таким чином, щоб максимальна відстань між дверними прорізами не перевищувала зазначене значення. Виняток становлять малі вантажні ліфти, вантажні ліфти без провідника, а також випадки, коли поблизу шахти відсутні площадки, придатні для проведення евакуації.

Оглядові та аварійні двері, а також оглядові люки не повинні відкриватися в напрямку шахти. Вони мають обладнуватися замковими пристроями, що забезпечують відкривання зовні за допомогою ключа. Водночас конструкція повинна дозволяти відчинення зсередини шахти без використання ключа навіть за наявності замикання. Контроль стану дверей та люків здійснюється кінцевими

вимикачами. Конструкція дверей повинна бути суцільною та відповідати вимогам міцності, установленим для дверей шахти ліфта.

Вентиляційні отвори шахти ліфта повинні бути захищені металевими ґратами або сітчастими елементами, розмір комірок яких не перевищує 20×20 мм. Таке виконання запобігає потраплянню сторонніх предметів до шахти та забезпечує безпечну експлуатацію обладнання.

Внутрішня поверхня шахти зі сторони входу в кабінку в межах ширини дверного прорізу з додатковим запасом по 25 мм з кожного боку повинна бути максимально рівною та не містити значних виступів або заглиблень. Допускається наявність локальних нерівностей розміром до 100 мм. Якщо глибина або висота таких елементів перевищує 50 мм, вони повинні бути обладнані похилими поверхнями з кутом нахилу не менше 60° відносно горизонталі. Скоси виконуються по всій ширині виступу або заглиблення та повинні плавно переходити в площину стіни шахти. При цьому допускається залишення горизонтальної ділянки шириною не більше 50 мм між скосом та стіною шахти. Зазначені вимоги не поширюються на конструктивні елементи, утворені дверима шахти.

У випадку, коли поріг дверей шахти утворює виступ більше 50 мм, його нижня частина повинна бути виконана зі скосом. Аналогічно виступи, розташовані над дверним прорізом, обладнуються верхнім похилим елементом. Кут нахилу таких поверхонь повинен становити не менше 60°. Ширина скосів приймається рівною ширині дверного прорізу з додаванням по 25 мм з кожного боку. Для ліфтів, конструкція яких унеможливує відкривання дверей кабіни між поверхами, виконання верхнього скосу допускається не передбачати.

У ліфтах, де допускається рух кабіни при одночасно відкритих дверях шахти та кабіни, під порогом дверей необхідно встановлювати захисний щит. Його ширина повинна перевищувати ширину дверного прорізу на 25 мм з кожного боку. Висота щита приймається не меншою ніж 300 мм для пасажирських ліфтів і не меншою ніж 200 мм для вантажних. Якщо відстань між щитом і прилеглою стіною шахти перевищує 50 мм, у нижній частині щита

необхідно виконати похилу поверхню з нахилом не менше 60° , яка повинна примикати до стіни шахти.

При розміщенні декількох ліфтів у спільній шахті між ними необхідно встановлювати захисні перегородки з матеріалів, дозволених для огороження шахт. Якщо використовується сітчаста конструкція, діаметр дроту повинен становити не менше 1,2 мм, а максимальний розмір комірок не повинен перевищувати 60×60 мм. Перегородка повинна простягатися від найнижчої точки переміщення кабіни, противаги або балансувального вантажу до висоти не менше 2,5 м над рівнем нижньої поверхової площадки.

У випадках, коли відстань між дахом кабіни одного ліфта та рухомими елементами сусіднього ліфта менша за 500 мм, необхідно встановлювати суцільні перегородки по всій висоті шахти. При цьому ширина перегородки повинна перевищувати габарити рухомих частин щонайменше на 100 мм з кожного боку.

У нижній частині шахти повинен бути передбачений приямок, який забезпечує безпечне проведення оглядів та ремонтних робіт. Якщо кабіна знаходиться на повністю стиснутих буферах, у приямку має залишатися вільний простір, достатній для розміщення прямокутного блока розміром не менше 500×600×1000 мм. За наявності спеціальних захисних пристроїв і вимикачів безпеки, передбачених виробником, допускається зменшення глибини приямка.

Для забезпечення безпечного доступу до приямка повинні бути встановлені стаціонарні засоби спуску, які розташовуються поблизу дверей шахти та не перешкоджають роботі рухомих елементів ліфта. Якщо глибина приямка перевищує 2500 мм, він додатково обладнується дверима розміром не менше 600×1800 мм.

У приямку обов'язково повинні бути передбачені:

- пристрій аварійної зупинки ліфта з чітким маркуванням «СТОП»;
- електрична розетка з напругою не більше 250 В;
- вимикач або інший засіб керування освітленням шахти, доступний під час відкривання дверей шахти чи приямка.

Конструкція прямка повинна забезпечувати його захист від проникнення ґрунтових, дощових та стічних вод, що дозволяє уникнути пошкодження обладнання та погіршення умов безпечної експлуатації ліфта.

Буфери та упори, встановлені в прямку ліфта, повинні розташовуватися таким чином, щоб у разі знаходження кабіни або противаги в нижньому робочому положенні відстань між верхньою частиною буфера (упора) та опорною плитою не перевищувала 200 мм. Для ліфтів із жорстким типом привода допускається більша відстань між буфером і опорною плитою противаги. У цьому випадку величина зазору визначається конструктивними особливостями обладнання та зазначається в монтажній документації.

Зона переміщення противаги або балансувального вантажу повинна бути захищена огороженням. У нижній частині огорожі необхідно передбачати суцільний жорсткий екран, який починається не вище 300 мм від рівня підлоги прямка та має висоту не менше 2500 мм.

Світильники, встановлені в шахті ліфта, повинні бути захищені від випадкових механічних впливів. Розміщення в шахті стороннього обладнання або інженерних комунікацій, які не належать до ліфтової установки, не допускається. Виняток становлять системи опалення та вентиляції шахти. При цьому їхні пускові та регулювальні пристрої повинні знаходитися за межами шахти. Забороняється прокладання через шахту трубопроводів водопостачання, каналізації, газопостачання або паропроводів.

Основні елементи електропривода та системи керування, зокрема лебідка, станція керування, трансформатори, перетворювачі частоти та ввідні пристрої, повинні розташовуватися в окремому машинному приміщенні. Для ліфтів без машинного приміщення допускається встановлення такого обладнання безпосередньо в шахті, прямку або на поверхових площадках за умови забезпечення безпечного доступу для обслуговування та захисту від стороннього втручання.

Якщо в одному машинному приміщенні розміщується обладнання декількох ліфтів, усі його елементи повинні мати чітке маркування, що дозволяє однозначно

визначити їх належність до конкретної ліфтової установки. Ввідний пристрій необхідно встановлювати поблизу входу в машинне приміщення окремо від станції керування. Висота розташування рукоятки керування ввідним пристроєм повинна знаходитися в межах від 1,2 до 1,6 м від рівня підлоги. Конструкція та взаємне розташування обладнання повинні виключати можливість перекриття доступу до ввідного пристрою відкритими дверцятами шафи керування.

Машинне приміщення може складатися з декількох окремих кімнат, між якими має бути організований надійний переговорний зв'язок. Машинні та блочні приміщення повинні бути повністю ізольовані від інших частин будівлі за допомогою суцільних стін, підлоги та перекриття. Двері цих приміщень виконуються з металу або облицьовуються металевим листом, відкриваються назовні та обладнуються замками.

Люки доступу повинні мати суцільну металеву конструкцію та відкриватися вгору або зміщуватися вбік. У закритому стані вони повинні надійно фіксуватися замком. Якщо блочне приміщення розташоване нижче машинного, встановлення замка на люку не є обов'язковим. Конструкція люка повинна витримувати навантаження від двох осіб масою, еквівалентною силі 1000 Н на кожну людину, прикладеній до площі 200×200 мм у будь-якій точці поверхні без появи залишкових деформацій.

У підлозі машинного приміщення, розташованого над шахтою, передбачається монтажний люк для виконання ремонтних і монтажних робіт. Його розміри повинні забезпечувати можливість транспортування основних вузлів ліфта, таких як електродвигун, лебідка, канатотяговий шків або станція керування. Люк розміщується над верхньою поверховою площадкою та повинен відкриватися лише з боку машинного приміщення.

Конструкція привода ліфта має відповідати вимогам чинних стандартів щодо безпеки та надійності роботи підйомно-транспортного обладнання. Аналогічні вимоги поширюються на електрообладнання, електропроводку, пристрої керування та системи захисту, які повинні комплектуватися необхідними пристроями безпеки.

Під час проведення повного технічного огляду ліфт підлягає комплексному обстеженню, що включає візуальний контроль, функціональні перевірки та динамічні випробування. Випробування виконуються відповідно до вимог виробника обладнання, а за відсутності відповідних інструкцій – згідно з чинними нормативними документами.

Під час огляду перевіряється технічний стан механічного та електричного обладнання, правильність його кріплення, стан канатів, ланцюгів, електропроводки, огорожувальних конструкцій шахти, машинного та блочного приміщень, а також відповідність геометричних параметрів установленим нормативам. Додатково контролюється наявність і стан заводських табличок, попереджувальних написів, технічної документації та дозвільних документів на експлуатацію ліфта. Перевіряється відповідність фактичного монтажу проєктній документації та наявність підтверджувальних записів відповідальних осіб.

Функціональні перевірки проводяться при порожній кабіні та передбачають контроль роботи лебідки, дверей шахти та кабіни, систем безпеки, пристроїв керування, сигналізації, освітлення та електропривода. Окремо виконується зовнішній огляд купе кабіни. Для ліфтів із канатотяговою лебідкою додатково перевіряється неможливість переміщення противаги при нерухомому положенні кабіни.

5.3 Висновки по розділу

В даному розділі кваліфікаційної роботи був проведений аналіз небезпек пов'язаних з експлуатацією ліфтів. Наведено перелік вимог, щодо безпеки ліфтів. Дотримання встановлених нормативних вимог до конструкції, монтажу, електрообладнання, систем безпеки та технічного обслуговування пасажирського ліфта забезпечує його надійну, безпечну та безперебійну експлуатацію протягом усього терміну служби.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи виконано розрахунок електропривода пасажирського ліфта десяти поверхового житлового будинку, а саме механізму підйому/спуску пасажирської кабіни. Наведено технічні характеристики розробленого електропривода пасажирського ліфта та основних його складових елементів.

Наведено технічні характеристики електропривода пасажирського ліфта з продуктивністю перевезення 143 люд/год та основних комплектуючих елементів. Сформовано перелік застосованого обладнання.

На основі виконання математичних розрахунків в кваліфікаційній роботі підтверджено працездатність розробленого електропривода пасажирського ліфта. Виконано розробку 3D моделі його конструкції. Виконано вибір підйимальної кабіни та швидкості її руху. Визначено продуктивність ліфта і їх необхідна кількість для десяти поверхового житлового будинку на 320 чоловік. Виконано вибір підйимальних канатів. Визначено потужність виконавчого електродвигуна канатної лебідки. Проведено розрахунок кінематичних, силових і енергетичних параметрів ліфта. Виконано перевірки канатоведучого шківів на буксування. Реалізовано вибір необхідного складового обладнання та побудовано електричну принципову схему керування електроприводом пасажирського ліфта з застосуванням перетворювача частоти та програмованого логічного контролера.

Всі прийняті технічні рішення супроводжуються відповідними формулами, рисунками та графічними характеристиками.

1. 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
2. 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
3. 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
4. Al-Kodmany K. Elevator technology improvements: A snapshot. *Encyclopedia*, 3(2). P. 530-548.
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. 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.
7. 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
8. 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

9. 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>
10. 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.
11. 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
12. 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
13. 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
14. 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
15. 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
16. 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.
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. Видмиш А.А., Ярошенко Л.В.. Основи електропривода. Теорія та практика: навч. посіб., Ч.1. – В.: ВНАУ, 2020. 387 с.
19. Грибан В.Г., Негодченко О.В. Охорона праці: навч. посіб. – К.: 2009. 280 с.

20. Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів [Електронний ресурс]. – 2026. – Режим доступу до ресурсу: https://dnaop.com/html/3211/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_0.00-1.02-08 (дата звернення: 01.05.2026).

21. Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження [Електронний ресурс]. – 2026. – Режим доступу до ресурсу: https://dnaop.com/html/1308/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_0.00-6.18-04 (дата звернення: 03.05.2026).

22. Правила пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс]. – 2026. – Режим доступу до ресурсу: https://dnaop.com/html/31612/doc-%D0%9D%D0%90%D0%9F%D0%91_%D0%90.01.001-2004 (дата звернення: 04.05.2026).