

УДК 621.3

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2025.4\(502\).19](https://doi.org/10.15589/znп2025.4(502).19)**DEVELOPMENT OF AN ELECTRIC DRIVE FOR A CAGE LIFTING
INSTALLATION WITH A LOAD CAPACITY OF 0,7 T****РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА КЛІТЬОВОЇ ПІДІЙМАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ
ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 0,7 Т****Andrii M. Voitasyk**

andrii.voitasyk@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-9409-6108

А. М. Войтасик,

канд. техн. наук

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

Abstract. *Purpose.* Development and design of an electric drive for a cage lifting installation capable of moving loads with a nominal weight of 0,7 t in a vertical plane and ensuring cyclic transportation within 6 m. *Method.* The research used the method of complex modeling to build 3D models of the design of an electric drive mechanism for lifting/lowering the cage and all the executive equipment that is proposed to be used in its composition; the method of empirical description of technological processes to substantiate and explain the features of the organization of torque transmission; the method of analytical calculations to verify the functional capabilities of the product. *Results.* Based on the use of the necessary equipment consisting of: a control system with a frequency converter, an asynchronous electric motor with a squirrel-cage rotor, a planetary gear mechanism, electromagnetic, shoe and load-bearing brakes and a mechanical gripping device in the form of a single hook and the proposed 3D model of the design, an electric drive for a cage lifting installation has been developed with the aim of operating the product to move loads with a nominal mass of 0,7 t in a vertical plane and ensuring cyclic transportation within 6 m. The functioning of the electric drive mechanism for the movement of a cage lifting installation with a load capacity of 0,7 t is ensured by the use of an asynchronous electric motor with a squirrel-cage rotor, which, in conjunction with a frequency converter, implements the optimal combination of reliability, energy efficiency, control flexibility and economic feasibility, which favorably distinguishes them among other control systems in an industrial electric drive. *Scientific novelty.* The principle of automated control has been further developed, involving the use of a frequency converter to control the electric drive of a cage lifting installation with a load capacity of 0,7 t, which allows achieving qualitative improvements in the transportation of goods in the vertical plane and ensuring cyclic operation of transportation within 6 m of the way. *Practical importance.* The developed electric drive of the cage lifting unit is designed to move cargo with a nominal weight of 0,7 t in a vertical plane and ensure cyclic transportation. The lowering and lifting cage with overall dimensions of 1,32×1,68×2,5 m is placed in a shaft in which a set of necessary equipment is installed to ensure the operation of an electric drive mechanism of the cage movement with a movement speed of 0,13 m/s. The use of an electric drive cage lifting installation with a load capacity of 0,7 t provides the possibility of effective transport movement of both cargo and passengers within the permissible movement distance of 6 m. The drive operation is controlled both locally by buttons and remotely from the remote control via a radio channel with a frequency of 433 MHz.

Key words: lift; transport cage; electric drive.

Анотація. *Мета.* Розробка та проектування електропривода клітьової підіймальної установки, що здатна переміщувати вантажі масою номіналом 0,7 т у вертикальній площині та забезпечувати циклічну роботу перевезень в межах 6 м. *Методика.* В рамках дослідження використано метод комплексного моделювання для побудови 3D моделей конструкції електроприводного механізму підйому/спуску кліті та всього виконавчого обладнання, яке запропоновано застосувати у його складі; метод емпіричного опису технологічних процесів для обґрунтування та пояснення особливостей організації передачі обертових моментів; метод аналітичних розрахунків для засвідчення функціональних можливостей виробу. *Результати.* На базі використання необхідного обладнання у складі: системи керування з перетворювачем частоти, асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, планетарного редукторного механізму, електромагнітних, колодкових та вантажоупорних гальм і механічного захватного пристрою у вигляді однорогового гаку та запропонованої 3D моделі конструкції, розроблено електропривод клітьової підіймальної установки з метою експлуатації виробу для переміщення вантажів масою номіналом 0,7 т у вертикальній площині та забезпечення циклічної роботи перевезень в межах 6 м. Функціонування електроприводного механізму руху клітьової підіймальної установки вантажопідйом-

ністю 0,7 т забезпечується застосуванням асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, який у зв'язці з частотним перетворювачем реалізує оптимальне поєднання надійності, енергоефективності, гнучкості керування та економічної доцільності, що вигідно вирізняє їх серед інших систем керування в промисловому електроприводі. *Наукова новизна.* Отримав подальший розвиток принцип автоматизованого керування пов'язаний з використанням перетворювача частоти для керування електроприводом клітьової підіймальної установки вантажопідйомністю 0,7 т, що дозволяє досягти якісних покращень транспортування вантажів у вертикальній площині та забезпечувати циклічну роботу перевезень в межах 6 м шляху. *Практична значимість.* Розроблений електропривод клітьової підіймальної установки призначений для переміщення вантажів масою номіналом 0,7 т у вертикальній площині та забезпечення циклічної роботи перевезень. Спуско-підіймальна кліть з габаритним розміром $1,32 \times 1,68 \times 2,5$ м розміщується у шахті в якій встановлюється комплект необхідного обладнання для забезпечення роботи електроприводного механізму руху кліті зі швидкістю переміщення у 0,13 м/с. Застосування електроприводної клітьової підіймальної установки вантажопідйомністю 0,7 т надає можливість ефективного транспортного переміщення як вантажів так і пасажирів в межах допустимої відстані руху у 6 м. Керування роботою привода передбачено як місцеве кнопками так і дистанційне з пульта по радіоканалу з частотою 433 МГц.

Ключові слова: підйомник; транспортувальна кліть; електропривод.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Сьогодні важко уявити будь-яку сучасну структуру без використання підйомного обладнання, яке включає в себе як пасажирські, так і вантажні ліфти. Це стосується як житлових будинків, так і великих офісних комплексів або індустріальних підприємств. Застосування таких механізмів значно полегшує життя людини, економлячи її час і зусилля. Сучасні технології дозволяють створювати різноманітні види підйомного обладнання і одним з їх різновидів є клітьовий підйомник. Він широко застосовується як у житлових, так і у комерційних будівлях, а також на виробничих підприємствах. Основна перевага клітьових підйомників полягає в їхній універсальності та надійності. Вони здатні працювати в різних умовах і середовищах, включаючи приміщення з різними температурними умовами. Більшість моделей оснащені електроприводом, що дозволяє їм ефективно функціонувати при температурі від -20°C до $+20^{\circ}\text{C}$.

Застосування клітьових підйомників, зазвичай, вимагає застосування самонесучих вертикальних металевих конструкцій прямокутного перерізу, що відома як шахта. У цій шахті рухається вантажна клітка (кабіна). Підйомники клітьового типу монтуються на міцній бетонній підкладці, яка забезпечує стійкість і надійність системи. Така підкладка має специфікації, включаючи мінімальну глибину, що як правило становить не менше 1 м. Даний тип підйомників демонструє зручність в роботі, забезпечуючи ефективне переміщення вантажів та пасажирів. Їхнє застосування широко розповсюджене у житлових будівлях, офісах, промислових комплексах і торгових центрах, де потрібен надійний та ефективний спосіб переміщення по вертикалі.

З економічної точки зору електроприводи демонструють високу ефективність у тривалій перспективі їх залучення для приведення в рух механізмів клітьових підіймальних установок. Незважаючи на дещо вищі початкові витрати на встановлення,

вони компенсуються зниженими експлуатаційними витратами, економією електроенергії та можливістю рекуперації енергії при спуску вантажу. Такий підхід дозволяє оптимізувати витрати виробництва та покращити загальну енергетичну ефективність підприємств. Тому, набуває актуальності задача розробки та проектування електропривода клітьової підіймальної установки, що здатна переміщувати вантажі масою номіналом 0,7 т у вертикальній площині та забезпечувати циклічну роботу перевезень в межах 6 м.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Останні дослідження та публікації у сфері розробки та удосконалення електроприводів клітьових підіймальних установок шахтного типу засвідчують стрімку еволюцію технічних рішень, що використовуються в промисловості [1, 2, 3]. На ранніх етапах розвитку таких систем широкого поширення набули централізовані електроприводи, в яких один потужний двигун забезпечував рух підйомного обладнання через механічні редуктори, муфти, гальма та інші передатні елементи [4, 5]. У цій конфігурації привод керувався електромеханічними системами, а контроль за роботою механізмів здійснювався на базі простих логічних схем або релейних комутацій [6, 7].

Подібний підхід, незважаючи на свою простоту, мав низку недоліків. Централізована система електроприводу виявилася чутливою до навантажень та експлуатаційних збоїв, мала обмежені можливості з точки зору автоматизації процесів і потребувала регулярного технічного обслуговування, що підвищувало експлуатаційні витрати [8, 9, 10]. Крім того, такі установки мали суттєві енергетичні втрати внаслідок нерегульованої роботи двигуна при змінних умовах навантаження [11, 12].

У зв'язку з розвитком мікропроцесорної техніки та систем частотного регулювання, дослідники звернули увагу на необхідність переосмислення концепції

приводу клітьових підйомників. Новітні публікації демонструють перехід до децентралізованих схем з використанням індивідуальних регульованих електроприводів, що керуються за допомогою програмованих логічних контролерів або вбудованих мікропроцесорів [13, 14]. Такий підхід забезпечує можливість гнучкого керування швидкістю, моментом і положенням механізмів у режимі реального часу, що особливо важливо при підйомі вантажів різної маси на різні висоти [15, 16].

Актуальні наукові роботи також вказують на значне зростання рівня безпеки завдяки впровадженню інтелектуальних систем діагностики, які постійно контролюють робочі параметри привода та здатні автоматично реагувати на аварійні ситуації або відхилення від номінальних режимів [17, 18]. В умовах шахтного середовища, де стабільність і безвідмовність роботи обладнання мають критичне значення, це є важливою перевагою.

Окремі дослідження акцентують увагу на енергозберігаючих аспектах, зокрема на можливості використання рекуперативних електроприводів, які дозволяють повертати частину енергії в мережу під час спуску вантажу, що дозволяє істотно знизити сумарне енергоспоживання всього підйомного комплексу [19, 20].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

У сучасній практиці експлуатації шахтних та будівельних підйомальних систем усе ширше застосовується електрична таль як універсальний електроприводний механізм, здатний забезпечувати підйом і спуск клітей у складі малогабаритних підйомальних установок. Такий технічний підхід виявляється особливо доцільним у випадках, коли необхідно організувати транспортне перевезення вантажів і пасажирів сумарною масою до 0,7 т у вертикальному напрямку на обмежених висотах або в умовах тимчасових споруд, обслуговуючих шахтних стволів, вентиляційних виробок або будівельних майданчиків.

Для задач, пов'язаних із перевезенням людей, така система доповнюється аварійним гальмом, кінцевими вимикачами, обмежувачем швидкості та блокувальними системами, що унеможливають неконтрольований рух у разі збоїв. Основною перевагою електричної талі як приводу клітьової установки є її простота, компактність і відносно низька вартість порівняно зі спеціалізованими шахтними лебідками. Завдяки високому ступеню готовності до експлуатації та мінімальним монтажним вимогам, таль може швидко інтегруватися в транспортну систему малого або середнього навантаження. При цьому сучасні моделі електроталей підтримують дистанційне та автоматизоване керування, що значно розширює їх функціональні можливості, особливо в умовах експлуатації з обмеженою присутністю персоналу. Важливим є й той факт, що за рахунок використання частотних перетворювачів або

регуляторів пускового струму досягається плавність руху, зменшується знос механічних елементів і підвищується комфорт пасажирів.

В роботі запропоновано реалізувати можливість транспортного перевезення як вантажів так і пасажирів масою не більше 0,7 т за допомогою клітьової підйомальної установки, яка облаштовується електроприводним механізмом руху. Відмінною особливістю в представленій статті є реалізація електроприводного механізму руху клітьової підйомальної установки до складу якої входять: система керування, електродвигун, редукторний механізм, електромагнітні, колодкові та вантажоупорні гальма, захватний пристрій. Прийняті технічні рішення здатні забезпечити ефективне використання клітьової підйомальної установки.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є розробка та проектування електропривода клітьової підйомальної установки, що здатна переміщувати вантажі масою номіналом 0,7 т у вертикальній площині та забезпечувати циклічну роботу перевезень в межах 6 м.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості *об'єкта дослідження* обрано технологічні процеси, які здатен реалізовувати електропривод клітьової підйомальної установки до складу якого входять: система керування, електродвигун, редукторний механізм, електромагнітні, колодкові та вантажоупорні гальма, захватний пристрій.

Предметом дослідження є моделі та методи аналізу для запровадження необхідної точності та надійності роботи електроприводного механізму руху клітьової підйомальної установки, розробка та реалізація алгоритмічного забезпечення для безпечної експлуатації виробу, забезпечення комунікації та сумісності застосованого обладнання, створення 3D моделей складових елементів обладнання та загальної конструкції електропривода клітьової підйомальної установки.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Запропонована в статті конструкція електроприводної клітьової підйомальної установки виготовляється у формі рамного металевго каркасу П – подібної форми (рис. 1).

Клітьова підйомальна установка розміщується у шахті, там вона займає простір з габаритними розмірами $1,95 \times 1,85 \times 7,72$ м. Функціональність виробу надає можливість підіймати та спускати вантажі масою до 0,7 т з одного поверху на інший (рис. 2). В якості вантажної кабіни використовується надійна та ефективна вантажна кліть. Перевантаження вантажів відбувається тільки на першому та другому поверхах будівлі, забезпечуючи безпечну роботу та оптимальну організацію робочого простору. Висота підйому/спуску вантажів при цьому досягає 6 м, що

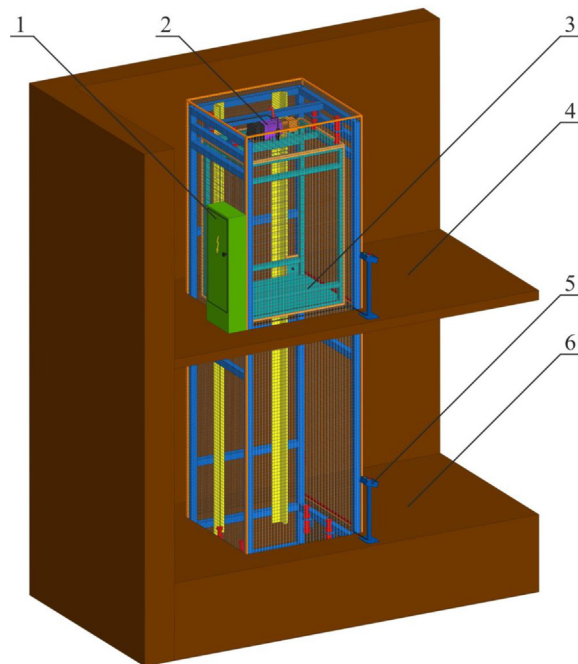


Рис. 1. 3D модель конструкції клітьової підйомної установки (вид позаду, ліворуч) 1) – електричний щит; 2) – електроталь; 3) – кліть; 4) – 2-й поверх; 5) – пост керування; 6) – 1-й поверх

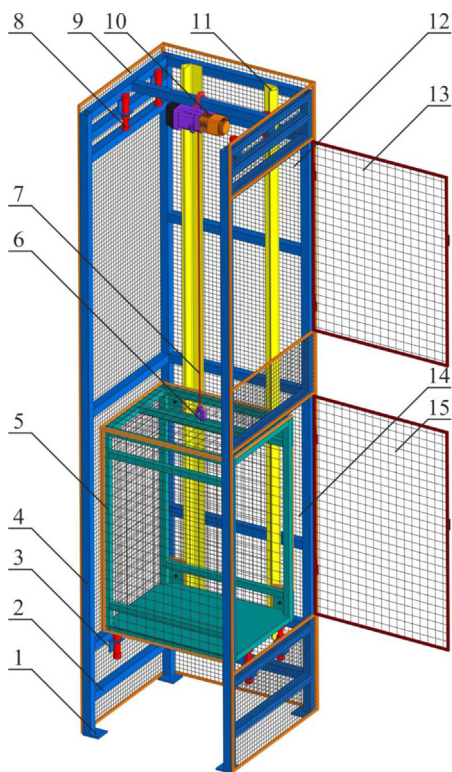


Рис. 2. 3D модель конструкції клітьової підйомної установки (вид спереду, ліворуч) 1) – з'єднувальна опора; 2) – горизонтальна ферма; 3) – буфер нижній; 4) – вертикальна ферма; 5) – кліть; 6) – вантажний гак; 7) – канат; 8) – буфер верхній; 9) – захисне загородження; 10) – електроталь; 11) – напрямні рейки; 12) – вихід на 2-й поверх; 13) – двері 2-го поверху; 14) – вихід на 1-й поверх; 15) – двері 1-го поверху

робить цю установку незамінною в багатьох сферах промисловості та будівництва.

Вантажна кліть, що служить основним громіздким рухомих елементом підйомної установки, закріплена за допомогою однорогового гака, який сполучений з барабаном електричної талі через вантажний канат, що навивається та звивається з барабану під час роботи електропривода. Однороговий вантажний гак забезпечує надійне кріплення та безпечне піднімання вантажів.

Щоб забезпечити безпеку експлуатації установки, вертикальні ферми облаштовуються захисним огороженням. В якості матеріалу для огороження використовується металева сітка з фракцією 50×50 мм та товщиною сітки 2 мм. Подібне сітчасте огороження не тільки несе функцію обмеження доступу до внутрішнього простору підйомної установки, але й гарантує безпеку в роботі, унеможливаючи стороннє втручання третіх осіб та випадання вантажів з кліті під час руху установки. Такі заходи забезпечують безперебійну та безпечну роботу системи підйому/спуску вантажів в будь-яких умовах.

Кожен з передбачених двох поверхів, які обслуговує підйомна установка, облаштовується дверима, які забезпечують повний доступ до зони завантаження/розвантаження вантажної кліті. Таким чином, здійснюється ефективна та безпечна робота установки. Для безпечності електропривод підйомної установки активується лише за умови, що двері виходу на 1-й та 2-й поверхи повністю зачинені.

Зазначена умова є важливою запобіжною мірою, що унеможлиблює виникнення будь-яких небезпечних ситуацій.

Габаритні розміри виходів на відповідні поверхи узгоджені з геометричними параметрами висоти та ширини вантажної кліті, що забезпечує оптимальну сумісність та безперебійну роботу установки.

Всі складові для оптимальної роботи системи керування електроприводом клітьової підіймальної установки знаходяться у відокремленому електричному щиті, розташованому на 2-му поверсі. Дане рішення обумовлене стаціонарним розташуванням електроталі на поперечній балці металевого каркасу підіймальної установки, що забезпечує ефективну та безперебійну роботу усього комплексу.

Доступ до внутрішніх компонентів електричного щита обмежений та контрольований. Його можуть відкривати лише кваліфіковані фахівці з відповідним допуском, які відповідають за налагодження роботи електропривода та обслуговування обладнання підіймальної установки.

Горизонтальні та вертикальні ферми виготовлені з використанням профільних труб розміром $100 \times 100 \times 6$ мм, що забезпечує максимальну міцність та надійність конструкції. Для закріплення дверей на 1-му та 2-му поверхах використовуються металеві

петлі розміром $40 \times 40 \times 3$ мм, з міркуванням щодо використання по дві завіси на кожен дверну петлю.

Закріплення вертикальної ферми до фундаменту 1-го поверху здійснюється через чотири з'єднувальні опори, розташовані в нижній частині конструкції, з використанням анкерних кріплень.

Вибір електричної талі для привода механізму руху клітьової підіймальної установки обумовлений її надійністю та зручністю в експлуатації (рис. 3). До складу електричної талі входять: електродвигун та редуктор (мотор-редуктор), барабан, гальмівні механізми, вантажний канат та гак, що сприяє оптимальній та безперебійній роботі електроприводного механізму руху.

В якості виконавчого електродвигуна використовується асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Його вихідний вал передає обертання на планетарний редуктор, який забезпечує необхідне зниження швидкості обертання барабану та збільшує обертовий момент механізму руху до розрахованого рівня. Барабан, у свою чергу, намотує або розмотує вантажний канат залежно від потреби підйому або спуску вантажної кліті.

Енергоживлення до виконавчого обладнання електричної талі постачається за допомогою гнучкого кабелю, що веде до розподільчої коробки,

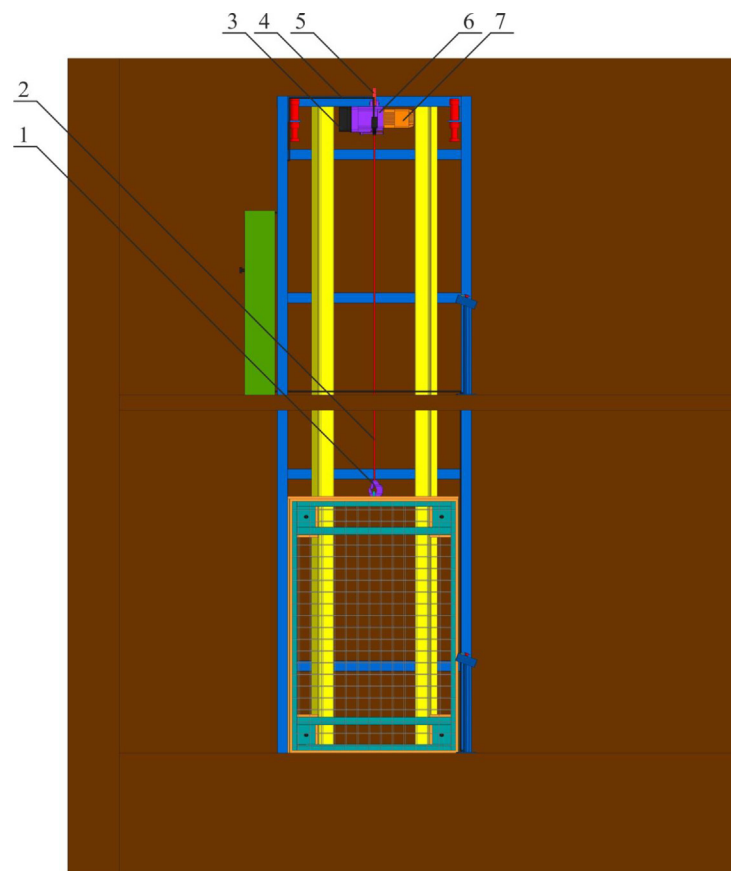


Рис. 3. 3D модель конструкції електроталі вантажопідйомністю 0,7 т (вид зліва) 1) – вантажний гак; 2) – канат; 3) – гальма; 4) – кабель живлення; 5) – підвісний гак; 6) – барабан; 7) – мотор-редуктор

розташованої на каркасі установки, що у свою чергу забезпечує безперебійну роботу обладнання.

В конструкції електричної талі передбачено застосування двох однорогових гаків: один для переміщення вантажної кліті, а інший – для підвішування талі до поперечної балки. Кожен гак обладнаний карабіном, що забезпечує надійне фіксування вантажу та запобігає випадковому зсуванню вантажного каната з гаку.

Щодо конструкції вантажної кліті, вона виготовлена з використанням профільних труб квадратного перетину з розміром $80 \times 80 \times 3$ мм, які забезпечують міцність та надійність вертикальних та горизонтальних стійок, вантажонесівної балки та підтримуючих ребер міцності. Металева пластина розміром $1656 \times 1276 \times 4$ мм використовується як поверхнєве покриття підлоги кліті необхідного для безпечного та стійкого утримання вантажу при його переміщенні з одного поверху на інший.

Підвішування вантажної кліті здійснюється за допомогою вантажного гаку електроталі, який зачіплюється за вантажну балку, передбачену у конструкції підйомної установки.

Розрахункову схему вантажної кліті наведено на рис. 4. Рух кліті вздовж вертикальних напрямних забезпечується чотирма роликовими опорами розміром 140×100 мм кожна, що гарантує плавність та безшумність операцій з підняття та спуску вантажу. Всі чотири ролики розміщені лише з правого боку вантажної кліті, по парі у верхній та нижній її частині.

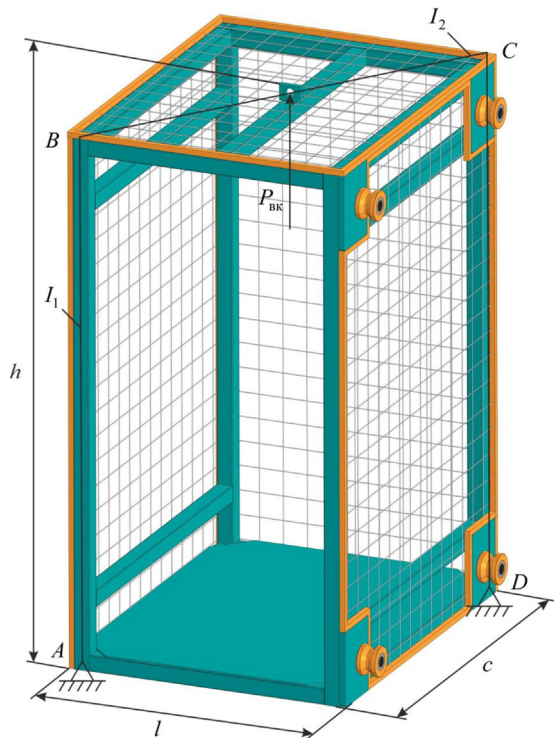


Рис. 4. Розрахункова схема спуско-підйомної кліті

На рис. 4 введені позначення визначених моментів в нижніх місцях кріплення платформи до вертикальних балок $A-B$, $C-D$ при довжинах $l = B = 1,32$ м, та $h = H = 2,5$ м:

– $I_1 = 160,95$ см⁴ – момент інерції вертикальних балок. У якості вертикальних балок кліті застосовані профільні труби 80×80 мм з товщиною стінок 3 мм.

– $I_2 = 198,75$ см⁴ – момент інерції поперечної балки.

Розрахункове навантаження P_{vk} , прикладене в середині прольоту поперечної балки становить 13,8 кН.

Блокування вантажної кліті з вантажем на 2-му поверсі шахти при вимкненому електричному живленні талі забезпечується використанням вантажоупорних гальм електроталі, що забезпечує надійну фіксацію вантажу і запобігає його незапланованому спуску під час завантаження або розвантаження вантажної кліті.

Напрямна гілка клітьової підйомної установки виготовляється у вигляді двох вертикальних напрямних розміром $100 \times 100 \times 6$ мм. Дані напрямні мають довжину 7,62 м і з'єднані у верхній частині з поперечною балкою довжиною 1,8 м. З'єднання деталей здійснюється за допомогою болтових з'єднань типу М10 через металеві приварені кронштейни, що забезпечує міцність і стійкість конструкції. Будь-який контакт вантажної кліті з іншими частинами конструкції підйомної установки, крім напрямних гілок та гаку електричної талі, непередбачений та унеможливується. Обслуговування роликових опор вантажної кліті є важливою процедурою, яку необхідно виконувати відповідно до встановлених нормативів та вимог чинного законодавства, що у свою чергу забезпечить стабільну та надійну експлуатацію установки протягом довготривалого часу.

Основні технічні характеристики розробки представлені у табл. 1.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Одним із факторів, що вплинули на загальну концепцію електроприводної системи визначено необхідність у забезпеченні регулярного, повторюваного циклу підйому та спуску вантажів. За умов не великої відстані у 6 м особливу увагу було приділено динамічним характеристикам приводу, зокрема плавності розгону, стабільності швидкості під час руху та точності зупинки кліті у верхньому і нижньому положеннях. Для цього застосовано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором у поєднанні з перетворювачем частоти, що забезпечив гнучке регулювання швидкісного режиму та підвищив точність контролю положення платформи. Частотне регулювання надало можливість адаптувати швидкість руху кліті відповідно до вимог технологічного процесу, а також реалізувати функцію енергозбереження шляхом зниження частоти обертання у періодах очікування.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики розробки

№ з/п	Найменування параметра	Значення
1	Напруга змінного живлення, В	380
2	Частота мережі, Гц	50
3	Вантажопідйомність, т	0,7
4	Висота підйому/спуску кліті, м	6
5	Швидкість підйому/спуску кліті, м/с	0,13
6	Електродвигун	АД з короткозамкненим ротором, <i>МТКF011-6</i>
7	Редуктор	двоступеневий планетарний, <i>P42</i>
8	Пристрій керування	модуль та пульт <i>НАСО</i>
9	Система керування	частотно-регульована, з перетворювачем частоти <i>CFM210</i>
10	Гальма	двоколдові ТЕ-320, вантажоупорні 106-18А, ТКТ-100, електромагнітні МО-100Б
11	Тривалість включення, %	60
12	Захватний пристрій	механічний, однороговий гак з пружинним блокуванням
13	Тип вантажного каната	8,1-Г-Н-1710
14	Габаритні розміри підйомника, м	1,95 × 1,85 × 7,72
15	Маса у спорядженому стані, т	2,94

Важливим результатом, який підтвердив ефективність розробленої конструкції, стала стабільна робота системи при різних режимах навантаження. Завдяки вбудованим функціям частотного перетворювача, таких як автоматична компенсація моменту та підтримання заданої швидкості незалежно від маси вантажу, забезпечено рівномірний та безпечний підйом вантажів у всьому діапазоні робочих мас.

В конструкції установки були реалізовані елементи електричного та механічного захисту, включаючи кінцеві вимикачі, електромагнітне гальмо та захист від перевантаження, що гарантує безпечну експлуатацію як у вантажному, так і у вантажо-пасажирському режимі. Підвищена надійність приводу підтверджується низьким рівнем вібрацій, мінімальним тепловим навантаженням на двигун та відсутністю суттєвого зношування за результатами дослідної експлуатації у циклічному режимі.

Окремо варто зазначити модульність і ремонтпридатність запропонованого рішення. Всі основні вузли системи – двигун, редуктор, гальмівний пристрій, система керування – доступні для швидкої заміни або модернізації, що відкриває можливості для підлаштування установки до інших типів вантажів чи умов експлуатації. Зокрема, електроприводна система може бути легко дообладнана пристроями автоматичного контролю та сенсорними елементами для контролю зусиль і швидкості.

Таким чином, на базі використання необхідного обладнання у складі: системи керування з перетворювачем частоти, асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, планетарного редукторного механізму, електромагнітних, колдових та вантажоупорних гальм і механічного захватного пристрою

у вигляді однорогового гаку та запропонованої 3D моделі конструкції, розроблено електропривод клітьової підйомальної установки з метою експлуатації виробу для переміщення вантажів масою номіналом 0,7 т у вертикальній площині та забезпечення циклічної роботи перевезень в межах 6 м. Функціонування електроприводного механізму руху клітьової підйомальної установки вантажопідйомністю 0,7 т забезпечується застосуванням асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, який у зв'язці з частотним перетворювачем реалізує оптимальне поєднання надійності, енергоефективності, гнучкості керування та економічної доцільності, що вигідно вирізняє їх серед інших систем керування в промисловому електроприводі.

ВИСНОВКИ

1. Розроблений електропривод клітьової підйомальної установки призначений для переміщення вантажів масою номіналом 0,7 т у вертикальній площині та забезпечення циклічної роботи перевезень. Спуско-підйомальна кліть з габаритним розміром 1,32 × 1,68 × 2,5 м розміщується у шахті в якій встановлюється комплект необхідного обладнання для забезпечення роботи електроприводного механізму руху кліті зі швидкістю переміщення у 0,13 м/с.

2. Застосування електроприводної клітьової підйомальної установки вантажопідйомністю 0,7 т надає можливість ефективного транспортного переміщення як вантажів так і пасажирів в межах допустимої відстані руху у 6 м. Керування роботою привода передбачено як місцеве кнопками так і дистанційне з пульта по радіоканалу з частотою 433 МГц.

REFERENCES

- [1] Hao, Y., Quan, L., Cheng, H., Xia, L., Ge, L., & Zhao, B. (2018) Potential energy directly conversion and utilization methods used for heavy duty lifting machinery. *Energy*, 155, 242–251.
- [2] Hedberg, E. (2020) Control, models and industrial manipulators. *LiU-Tryck*, Linköping, Sweden, 1–68.
- [3] Rachev, S., Dimitrova, K., Dimitrina, Y.K., & Dimitrov, L. (2021) Starting processes in electric drive of a passenger elevator. *The journal of CIEES*, 1(1), 40–49. DOI: <https://doi.org/10.48149/jciees.2021.1.1.7>
- [4] Xiaoling, Y., Qunxiong, Zh., & Hong, X. (2008) Design and practice of an elevator control system based on PLC. *Power electronics and intelligent transportation system*. DOI: <https://doi.org/10.1109/PEITS.2008.44>
- [5] Becker, A. (2007) Microcontroller based elevator controlling system. *Electronics technology*. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISSE.2007.4432898>
- [6] Shrivastava, N., Pande, A., Lele, J., & Kampassi, K. (2018) Embedded control system for self adjusting scissor lift. *Fourth international conference on computing communication control and automation*. DOI: 10.1109/ICCUBEA.2018.8697800
- [7] Mohammad, J., Lutfi, A. Sh., & Rateb, H. I. (2015) Optimization of three-phase squirrel cage induction motor drive system using minimum input power technique. *Research journal of applied sciences, engineering and technology*, 11(5), 507–515. DOI: <https://doi.org/10.19026/rjaset.11.1855>
- [8] Stawiński, Ł., Zaczynski, J., Morawiec, A., Skowrońska, J., & Kosucki, A. (2021) Energy consumption structure and its improvement of low-lifting capacity scissor lift. *Energies*, 14(5), 1366. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14051366>
- [9] An, K., An, Y., Kang, H., Park, J., & Lee, J. (2020) Methodology of excavator system energy flow-down. *Energies*, 13, 951.
- [10] Krakowski, T., & Ruta, H. (2018) Analysis and assessment of energy efficiency of passenger lifts. *Advances in science and technology*, 12, 257–265.
- [11] Luo, Y., Liu, W., & Wu, L. (2015) Analysis of the displacement of lumped compliant parallel-guiding mechanism considering parasitic rotation and deflection on the guiding plate and rigid beams. *Mechanism and machine theory*, 91, 50–68.
- [12] Ivanova, G., Donev, I., & Kostova, I. (2020). Study of the influence of the physical environment on the design and operational indices of energy efficiency EEDI and EEOI. *12th electrical engineering faculty conference*, 1–5. DOI: 10.1109/BulEF51036.2020.9326018
- [13] Mehr A. Q., & Asmatullah N. (2024) Elevator control simulation using fuzzy logic management creative commons license 4.0. DOI: <https://doi.org/10.28932/jutisi.v10i3.8974>
- [14] Tuna, G., & Yigit, E. E. (2024) Optimizing elevator control: a study of AI-based learning methods. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36450.85447>
- [15] Tukia, T., Siikonen, M. L., Donghi, C., & Lehtonen, M. (2019) Modeling the aggregated power consumption of elevators – the New York City case study. *Applied energy*, 251(1). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113356>
- [16] Ouyang, H. M., Zhang, G. M., Mei, L., Deng, X., & Wang, D.M. (2016) Load vibration reduction in rotary cranes using robust two degree of freedom control approach. *Advances in mechanical engineering*, 8(3), 73–89. DOI: <https://doi.org/10.1177/1687814016641819>
- [17] Ramli, L., Mohamed, Z., Abdullahi, A. M., Jaafar, H. I., & Lazim, I. M. (2017) Control strategies for crane systems: a comprehensive review. *Mechanical systems and signal processing*, 95, 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.03.015>
- [18] Zhang, Y., & Chen, K. (2023) Digital technologies for enhancing crane safety in construction: a combined quantitative and qualitative analysis. *Journal of civil engineering and management*, 29(7), 604–620. DOI: <https://doi.org/10.3846/jcem.2023.19574>
- [19] Ying, S., Fariborz, H., & Benjamin, C. M. (2020) A Review of the state of the art in data driven approaches for building energy prediction. *Energy and Buildings*, 221(4), 110022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110022>
- [20] Jian, Q. W., Yu, D., & Jing, W. (2020) LSTM based long-term energy consumption prediction with periodicity. *Energy*, 197(11), 117197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117197>

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Hao, Y., Quan, L., Cheng, H., Xia, L., Ge, L., Zhao, B. (2018) Potential energy directly conversion and utilization methods used for heavy duty lifting machinery. *Energy*, 155, 242–251.
- [2] Hedberg, E. (2020) Control, models and industrial manipulators. *LiU-Tryck*, Linköping, Sweden, 1–68.
- [3] Rachev, S., Dimitrova, K., Dimitrina, Y. K., Dimitrov, L. (2021) Starting processes in electric drive of a passenger elevator. *The journal of CIEES*, 1(1), 40–49. DOI: <https://doi.org/10.48149/jciees.2021.1.1.7>
- [4] Xiaoling, Y., Qunxiong, Zh., Hong, X. (2008) Design and practice of an elevator control system based on PLC. *Power electronics and intelligent transportation system*. DOI: <https://doi.org/10.1109/PEITS.2008.44>
- [5] Becker, A. (2007) Microcontroller based elevator controlling system. *Electronics technology*. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISSE.2007.4432898>
- [6] Shrivastava, N., Pande, A., Lele, J., Kampassi, K. (2018) Embedded control system for self adjusting scissor lift. *Fourth international conference on computing communication control and automation*. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2018.8697800>

- [7] Mohammad, J., Lutfi, A.Sh., Rateb, H.I. (2015) Optimization of three-phase squirrel cage induction motor drive system using minimum input power technique. *Research journal of applied sciences, engineering and technology*, 11(5), 507–515. DOI: <https://doi.org/10.19026/rjaset.11.1855>
- [8] Stawiński, Ł., Zaczyński, J., Morawiec, A., Skowrońska, J., Kosucki, A. (2021) Energy consumption structure and its improvement of low-lifting capacity scissor lift. *Energies*, 14(5), 1366. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14051366>
- [9] An, K., An, Y., Kang, H., Park, J., Lee, J. (2020) Methodology of excavator system energy flow-down. *Energies*, 13, 951.
- [10] Krakowski, T., Ruta, H. (2018) Analysis and assessment of energy efficiency of passenger lifts. *Advances in science and technology*, 12, 257–265.
- [11] Luo, Y., Liu, W., Wu, L. (2015) Analysis of the displacement of lumped compliant parallel-guiding mechanism considering parasitic rotation and deflection on the guiding plate and rigid beams. *Mechanism and machine theory*, 91, 50–68.
- [12] Ivanova, G., Donev, I., Kostova, I. (2020). Study of the influence of the physical environment on the design and operational indices of energy efficiency EEDI and EEOI. *12th electrical engineering faculty conference*, 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/BulEF51036.2020.9326018>.
- [13] Mehr, A. Q., Asmatullah, N. (2024) Elevator control simulation using fuzzy logic management creative commons license 4.0. DOI: <https://doi.org/10.28932/jutisi.v10i3.8974>
- [14] Tuna, G., Yigit, E. E. (2024) Optimizing elevator control: a study of AI-based learning methods. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36450.85447>
- [15] Tukia, T., Siikonen, M. L., Donghi, C., Lehtonen, M. (2019) Modeling the aggregated power consumption of elevators – the New York City case study. *Applied energy*, 251(1). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113356>
- [16] Ouyang, H. M., Zhang, G. M., Mei, L., Deng, X., Wang, D. M. (2016) Load vibration reduction in rotary cranes using robust two degree of freedom control approach. *Advances in mechanical engineering*, 8(3), 73–89. DOI: <https://doi.org/10.1177/1687814016641819>
- [17] Ramli, L., Mohamed, Z., Abdullahi, A. M., Jaafar, H. I., Lazim, I. M. (2017) Control strategies for crane systems: a comprehensive review. *Mechanical systems and signal processing*, 95, 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.03.015>
- [18] Zhang, Y., Chen, K. (2023) Digital technologies for enhancing crane safety in construction: a combined quantitative and qualitative analysis. *Journal of civil engineering and management*, 29(7), 604–620. DOI: <https://doi.org/10.3846/jcem.2023.19574>
- [19] Ying, S., Fariborz, H., & Benjamin, C. M. (2020) A Review of the state of the art in data driven approaches for building energy prediction. *Energy and Buildings*, 221(4), 110022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110022>
- [20] Jian, Q. W., Yu, D., Jing, W. (2020) LSTM based long-term energy consumption prediction with periodicity. *Energy*, 197(11), 117197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117197>

© Войтасик А. М.

Дата надходження статті до редакції: 06.08.2025

Дата затвердження статті до друку: 14.10.2025

Опубліковано: 30.12.2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0