

## РОЗРОБЛЕННЯ ВАНТАЖНОГО ПІДЙОМНИКА ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДІЛЬНИЦІ

**Горденко М.А.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: mykyta.hordenko@nure.ua

**Анотація:** В роботі проаналізовано існуючі методи та специфіки роботи автоматизованих складських дільниць, проведено порівняльний аналіз існуючих конструкцій вантажних підйомників (VRC, гідравлічних та ножичних систем), досліджено особливості механічних приводів, їхню класифікацію та техніко-економічні характеристики, проаналізовано вибір гвинтового механізму з трапецеїдальною різьбою як оптимального рішення для забезпечення властивості самогальмування.

**Ключові слова:** автоматизація, конструкція, механічний привод, складські дільниці.

## DEVELOPMENT OF A CARGO LIFT FOR AN AUTOMATED SITE

**Hordenko M.**

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky Ave. 14

E-mail: mykyta.hordenko@nure.ua

**Annotation:** The paper analyzes existing methods and specifics of automated warehouse areas, conducts a comparative analysis of existing designs of cargo lifts (VRC, hydraulic and scissor systems), investigates the features of mechanical drives, their classification and technical and economic characteristics, analyzes the choice of a screw mechanism with a trapezoidal thread as the optimal solution for ensuring the self-braking property.

**Keywords:** automation, design, mechanical drive, warehouse areas.

З огляду на стрімкий розвиток важкої промисловості та логістики, зростає нагальна потреба в автоматизації процесів перевезення вантажів. Вантажні підйомники є незамінним інструментом для досягнення цієї мети, адже вони дозволяють значно прискорити та убезпечити транспортування продукції між різними рівнями виробничих та складських комплексів. Впровадження підйомників сприяє підвищенню загальної ефективності роботи, покращенню безпеки праці та зниженню операційних витрат [1]. Саме тому розробка інноваційних, простих та надійних конструкцій вантажних підйомників є надзвичайно актуальною для підприємств різних сфер діяльності [2].

Сучасний етап розвитку промисловості характеризується переходом до кіберфізичних систем та інтелектуальних виробництв. У цьому контексті автоматизація виробничих процесів є не просто способом підвищення продуктивності, а фундаментальною умовою забезпечення стабільності якості продукції та безпеки праці. Особливе місце в структурі будь-якої автоматизованої лінії займають транспортно-накопичувальні та вантажопідйомні системи, які забезпечують просторове сполучення між окремими технологічними модулями [2].

В умовах комп'ютерно-інтегрованого виробництва виконавчі механізми, до яких належать вантажні підйомники, повинні відповідати не лише вимогам механічної міцності, а й критеріям інформаційної сумісності. Вони мають бути органічною частиною автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСК ТП). Впровадження таких механізмів дозволяє виключити людський фактор на допоміжних операціях, мінімізувати

внутрішньоцехове транспортування та підвищити такт випуску продукції [3-4]. Тому розробка конструкції електромеханічного вантажного підйомника для автоматизованої дільниці, що забезпечує надійне вертикальне переміщення вантажів із високим рівнем експлуатаційної безпеки та мінімальними витратами на обслуговування є актуальним завданням.

**АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ.** Сучасний ринок підйомно-транспортного обладнання пропонує широкий спектр технічних рішень для вертикального переміщення вантажів у виробничих та складських умовах. Вибір конкретного типу підйомника залежить від низки факторів: вантажопідйомності, висоти підйому, інтенсивності експлуатації, вимог до точності позиціонування та можливості інтеграції в автоматизовані системи керування. У рамках даного аналітичного огляду доцільно розглянути кілька основних класів обладнання, що можуть бути застосовані для обслуговування автоматизованої дільниці. Базову класифікацію підйомників можна побачити на рисунку 1.

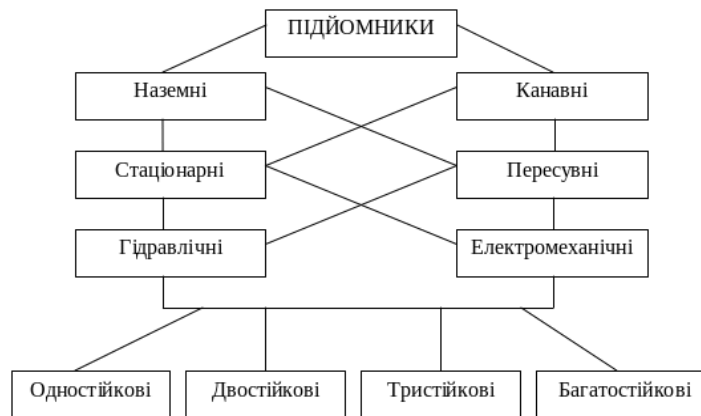


Рисунок 1 – Класифікація підйомників

Одним із найсучасніших рішень для автоматизації подачі комплектуючих до виробничих ліній є вертикальні ліфтові модулі (Vertical Lift Modules, VLM). На відміну від традиційних вантажних ліфтів, призначених для переміщення людей або великогабаритних вантажів між поверхами, VLM являють собою компактні автоматизовані системи зберігання та видачі, що функціонують за принципом «товар до людини» або «товар до робота».

Принцип дії VLM полягає в наступному: компоненти зберігаються в лотках або контейнерах усередині закритого вертикального корпусу. За командою системи керування екстрактор (підйомний механізм) переміщується до потрібного лотка, витягує його та доставляє до вікна видачі, розташованого на ергономічній висоті. Звідти деталі можуть бути забрані оператором, маніпулятором або автономним мобільним роботом (AMR). Така архітектура дозволяє централізовано керувати запасами важких або громіздких компонентів без необхідності розміщення громіздких стелажів безпосередньо біля виробничої лінії. Цей підхід забезпечує високу щільність зберігання на обмеженій площі та суттєво скорочує час пошуку та доставки деталей [5].

Ключовою перевагою VLM у контексті автоматизації є можливість інтеграції з системами планування виробництва (ERP/MES) та парком автономних мобільних роботів. За даними Kardex, вертикальний ліфтовий модуль може працювати цілодобово, досягаючи продуктивності до 600 підбирань на годину та економлячи до 85% виробничої площі порівняно з традиційними стелажимами [5]. Це досягається завдяки тому, що модуль замінює хаотичне переміщення навантажувачів структурованим потоком матеріалів. Приклад VLM подано на рисунку 2.



Рисунок 2 – Приклад інтеграції VLM з виробничою лінією за допомогою AMR

Щоб побачити наглядну різницю між VLM системою та традиційних стелажних систем, наведено таблицю 1 з порівнянням основних характеристик.

Таблиця 1 – Порівняння характеристик VLM та традиційних стелажних систем

Параметр	Вертикальні ліфтові модулі (VLM)	Традиційні стелажні системи
Займана площа	Максимальна. Використовують всю висоту приміщення, дозволяючи скоротити площу забудови до 90%.	Значна. Потребують великої площі через необхідність проходів для персоналу або техніки.
Швидкість доступу	Висока. Працюють за принципом «товар до людини». Автоматизований ліфт швидко доставляє піддон до вікна видачі.	Низька. Потребує часу на пересування працівника між стелажми та пошук товару на полицях.
Захист від пилу	Високий. Товари зберігаються у закритому металевому корпусі, що мінімізує потрапляння пилу та бруду.	Низький. Відкрите зберігання сприяє накопиченню пилу на товарах та упаковці.
Інтеграція з IT	Повна. Легко інтегруються з системами WMS та ERP; підтримують стратегії FIFO/LIFO, контроль залишків та ідентифікацію.	Обмежена. Зазвичай потребує ручного введення даних або використання терміналів збору даних (ТЗД) окремо від конструкції.

Однак варто зазначити, що застосування VLM є економічно доцільним за умов високої інтенсивності вантажопотоку, широкої номенклатури деталей та наявності розвиненої цифрової інфраструктури підприємства. Для локальної автоматизованої дільниці з обмеженою кількістю типорозмірів вантажів та фіксованим маршрутом «конвеєр-накопичувач-конвеєр» вартість та функціональна надлишковість VLM може бути невиправданою.

Для виконання операцій точного позиціонування, перевантаження або маніпулювання об'єктами в межах робочої зони широко застосовуються багатокоординатні лінійні системи, відомі як порталні системи (Gantry). В основі конструкції таких систем лежать лінійні приводи (актуатори), що рухаються по напрямних вздовж осей X, Y та Z. На відміну від шарнірних промислових роботів, які мають складну кутову кінематику, порталні системи працюють у прямокутній декартовій системі координат, що значно спрощує їх програмування та інтеграцію в АСК ТП [6].

У контексті вантажопідйомних операцій, порталні підйомники використовуються для підйому та переміщення вантажів у вертикальній та горизонтальній площинах одночасно. Сучасні технічні рішення дозволяють створювати системи з вантажопідйомністю до кількох тисяч фунтів (понад 1000 кг) та довжиною ходу понад 60 дюймів (близько 1,5 м), хоча існують і більш компактні конфігурації з робочим кубом менше 24 дюймів [6]. Усунення консольних обмежень, притаманних простим декартовим роботам, досягається в конструкції порталу шляхом додавання другої паралельної осі (XX) та опори другої осі (Y) з обох кінців. Така конструкція забезпечує виняткову жорсткість та стабільність при роботі з великими навантаженнями [6]. Приклад одного з таких кранів зображено на рисунку 3. Корисним доповненням буде таблиця 2, в якій представлено порівняння характеристик.

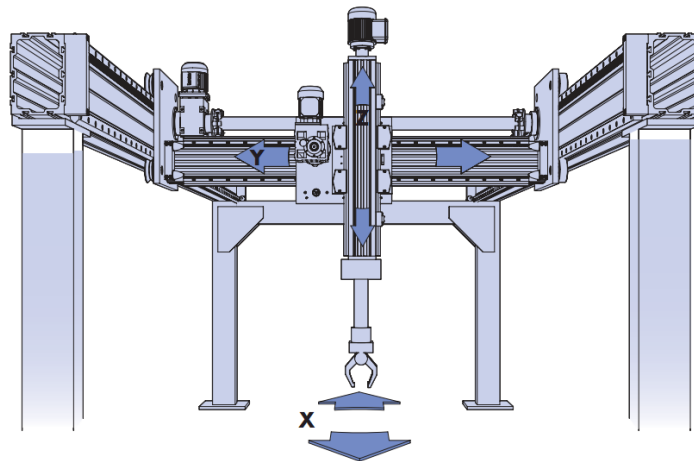


Рисунок 3 – Кінематична схема трикоординатної порталної системи (X-Y-Z Gantry)

Таблиця 2 – Типові застосування багатокординатних лінійних систем

Сфера застосування	Опис процесу та переваги	Вимоги до системи
Зварювання	Автоматизація дугового, лазерного або точкового зварювання за складними траєкторіями. Забезпечує стабільну якість шва.	Висока повторюваність, захист напрямних від іскор та окалини.
3D-друк	Пошарове нанесення матеріалу (пластик, бетон, метал) у трьох площинах (X, Y, Z).	Плавність руху на низьких швидкостях, точність позиціонування.
Палетування	Впорядковане укладання коробок, мішків або іншої продукції на палети для подальшого транспортування.	Велика робоча зона, висока вантажопідйомність, динаміка розгону.
Завантаження верстатів	Автоматична подача заготовок у верстат з ЧПК (CNC) та виймання готових деталей (Pick-and-Place).	Швидкість циклу, можливість інтеграції з датчиками наявності деталі.
Дозування та склеювання	Нанесення герметиків, клею або флюсу за заданим контуром на електронні плати або деталі авто.	Висока точність дотримання траєкторії, рівномірна швидкість подачі.
Лабораторна автоматизація	Переміщення пробірок, дозування реагентів та сортування зразків у медичних дослідженнях.	Компактність, безшумність, висока стерильність компонентів.

Найбільш масовий сегмент обладнання для локальних підйомних операцій представлений пристроями дискретної дії, побудованими на базі гвинтових, ланцюгових або гідравлічних передач.

Гвинтові підйомники (Screw Jacks): Використовують передачу "гвинт-гайка" (як правило, з трапецеїдальною різьбою). Основною перевагою є висока вантажопідйомність при малих габаритах, властивість самогальмування (безпека) та висока точність позиціонування по вертикалі. Ідеально підходять для підйому на висоту до 2-3 метрів з фіксованими точками зупинки.

Ланцюгові підйомники: Використовують втулково-роликівий ланцюг або пластинчастий ланцюг. Відрізняються високою надійністю, можливістю підйому на значну висоту без втрати стійкості. Однак вимагають наявності натяжних пристроїв та системи змащення, а також створюють підвищений шум.

Гідравлічні ножичні підйомники: Забезпечують рівномірний підйом великої ваги за рахунок тиску рідини в гідроциліндрах. Вони мають високу вантажопідйомність, але потребують насосної станції, що ускладнює електричну частину автоматизації та потребує регулярного обслуговування ущільнень.

Проведений аналіз свідчить про те, що найбільш технологічним рішенням для обслуговування автоматизованої ділянки в умовах серійного виробництва є застосування вертикальних ліфтових модулів (VLM) або роботизованих порталних систем. Дані рішення, забезпечують максимальну продуктивність та мінімізують участь людини [3].

Вертикальні перевантажувачі (підйомники) є невід'ємною частиною сучасних автоматизованих виробничих та логістичних комплексів. Їх основне призначення полягає у забезпеченні надійного та безпечного переміщення вантажів між різними рівнями висоти. На сьогоднішній день існує значна кількість конструктивних варіантів виконання даних механізмів, кожен з яких має специфічні технічні характеристики, переваги та обмеження щодо застосування. Для обґрунтованого вибору базової конструкції для власної розробки необхідно провести системний аналіз існуючих типів вертикальних перевантажувачів.

Найпоширенішим типом обладнання для дискретного підйому вантажів на виробничих майданчиках є вертикальні реципрокуючі конвеєри (VRC), які часто називають матеріальними підйомниками. Це спеціалізовані вантажні ліфти, призначені виключно для переміщення продуктів, обладнання та матеріалів між рівнями об'єкта [7]. Оскільки вони призначені для матеріалів, на них не поширюються ті самі стандарти інспекції, що й на вантажні ліфти -VRC підпадають під дію інших стандартів безпеки, зокрема ASME B20.1, тому VRC, як правило, є дешевшими в установці та обслуговуванні [7].

При виборі ідеального вертикального реципрокуючого конвеєра (VRC) для вашого застосування, важливо розуміти відмінності між механічними та гідравлічними VRC. Обидва типи пропонують надійні та потужні можливості підйому, але їх унікальні особливості роблять їх більш придатними для різних експлуатаційних потреб [8].

Гідравлічні VRC: Використовують гідравлічний насос для нагнітання рідини в циліндр, який діє на поршень для підйому каретки. Гідравлічна технологія є надійною, плавною та економічно вигідною для більшості стандартних застосувань, тому це найпоширеніший вибір для дворівневих об'єктів (включаючи операції з мезонінами) [9]. Гідравлічні VRC зазвичай використовують стандартне кнопочове управління, часто мають нижчу початкову вартість, ніж механічні, але можуть потребувати більш частого технічного обслуговування [8].

Механічні VRC: Використовують потужний електродвигун і систему важких роликівий ланцюгів або тросів для підйому каретки. Вони сконструйовані для застосувань, де швидкість, потужність і висока частота є головними пріоритетами [9]. Механічні VRC зазвичай мають нижчі вимоги до технічного обслуговування, ніж гідравлічні, можуть оснащуватися

кнопковим або розширеним НМІ управлінням з інтеграцією ПЛК, але, як правило, мають вищу початкову вартість [8].

Порівняльний аналіз ключових експлуатаційних параметрів цих двох типів наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Порівняння характеристик гідравлічних та механічних VRC

Параметр	Гідравлічні VRC	Механічні VRC
Тип приводу	Гідравлічний циліндр (прямий або канатний привід).	Електродвигун з ланцюговою або тросовою передачею.
Цикли на годину/день	Помірні. Оптимально 10–15 циклів на годину. Схильні до перегріву мастила при інтенсивному використанні.	Високі. Робота у режимі 24/7, понад 30 циклів на годину без ризику перегріву.
Вантажопідйомність	Середня. Зазвичай до 4000–6000 кг (залежить від конфігурації циліндрів).	Висока. Здатні піднімати вантажі від 500 кг до 15 000+ кг.
Висота підйому	Обмежена. Зазвичай до 6–7 метрів (2 рівні), через довжину циліндра.	Майже необмежена. Можуть обслуговувати багатоповерхові склади (до 30 метрів і вище).
Швидкість	Низька. Стандартно 0,1–0,15 м/с.	Висока. Від 0,15 до 0,5 м/с і більше.
Вартість	Нижча. Менша вартість закупівлі та монтажу для низьких висот.	Вища. Дорожча конструкція та система керування, але швидша окупність.
Вимоги до обслуговування	Потребують контролю рівня мастила, заміни ущільнювачів та фільтрів.	Регулярне змащування ланцюгів та перевірка натягу. Менш вибагливі до температур.

При виборі правильної конфігурації VRC важливо враховувати структурний дизайн, оскільки він визначає спосіб завантаження та розвантаження, а отже, безпосередньо впливає на робочий процес [7]. Існує три основні компоновальні схеми: Straddle (міжстійкова), Cantilever (консольна) та Four-Post (чотиристійкова) [7].

Straddle (Міжстійкова конфігурація): у цій схемі каретка (підйомна платформа) розташовується між двома напрямними колонами, що рівномірно розподіляє вагу. Straddle-конфігурація підтримує більшу вантажопідйомність і більші розміри платформи, більш рівномірно розподіляючи сили навантаження, та забезпечує підвищену стабільність для великих платформ і важких вантажів [7]. Вона підтримує C та Z схеми завантаження, що робить її дуже універсальною, хоча потребує більше площі, ніж консольна конфігурація з кареткою того ж розміру [7].

Cantilever (Консольна конфігурація): Напрямні колони розташовані з одного боку каретки, залишаючи три сторони відкритими для завантаження та розвантаження. Це ідеальне рішення для обмежених просторів, оскільки забезпечує безперешкодний доступ з трьох сторін [7]. Консольна конструкція підтримує C, Z та 90° схеми завантаження, пропонуючи максимальну гнучкість [7]. Однак консольна конструкція може вплинути на загальний розмір каретки та вантажопідйомність через асиметричний розподіл сил [7].

Four-Post (Чотиристійкова конфігурація): Використовує структурні напрямні колони на всіх чотирьох кутах каретки. Це забезпечує найвищу вантажопідйомність з усіх VRC та ідеально підходить для роботи з великими, важкими або високочастотними навантаженнями [7]. Four-Post конфігурація забезпечує максимальну міцність і довговічність, а каретка, що підтримується на всіх чотирьох кутах, має високу стабільність платформи [7].

На рисунку 4 наведено три види конструктивних схем VRC.

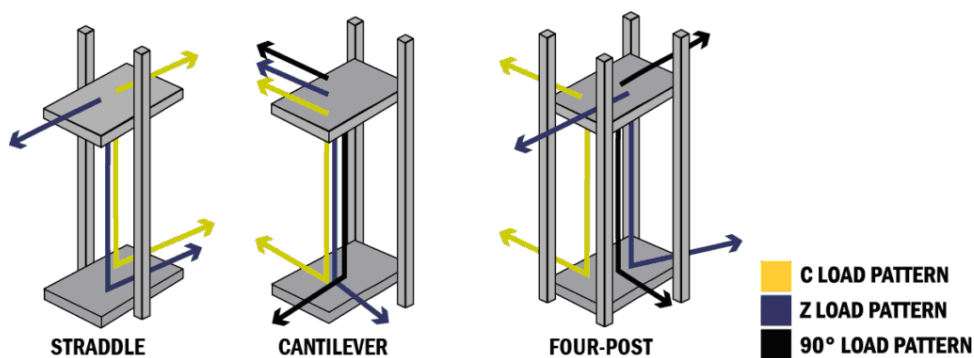


Рисунок 4 – Конструктивні схеми

Для аналізу технічних характеристик кожної конфігурації, створено таблицю 4.

Таблиця 4 – Порівняльний аналіз конструктивних схем VRC

Критерій	Straddle (двостійковий)	Cantilever (консольний)	Four-Post (чотиристійковий)
Вантажо-підйомність	Середня. Зазвичай до 1500–2500 кг.	Низька/Середня. Зазвичай до 1500 кг (через навантаження на виліт).	Максимальна. Здатна піднімати понад 10 000 кг.
Займана площа	Компактна. Стійки розташовані по боках платформи.	Найменша. Стійка розташована з одного боку (позаду платформи).	Значна. Потребує місця для чотирьох кутових колон.
Гнучкість завантаження	90° або 180°. Завантаження можливе з двох протилежних боків.	Максимальна (270°). Можливе завантаження з трьох боків (фронт та боки).	Обмежена. Завантаження переважно через фронтальні або задні отвори.
Стабільність	Висока. Вантаж центрований між напрямними.	Середня. Можливе невелике відхилення платформи під навантаженням.	Найвища. Максимальна жорсткість конструкції на великих висотах.
Складність монтажу	Середня. Потребує паралельного вирівнювання двох стійок.	Найпростіша. Встановлюється одна щогла, що спрощує анкерування.	Найвища. Потребує точного вирівнювання чотирьох опор.

З технічної точки зору, типовий механічний VRC складається з кількох ключових вузлів. Рама (frame) включає пару вертикальних щогл (masts), по яких рухається каретка (carriage). Каретка включає опорну поверхню для підтримки об'єктів, що піднімаються та опускаються, колеса, які котяться по бічних поверхнях щогл для полегшення плавного руху каретки відносно щогл, та гальмівні збірки [10].

Привід (prime mover assembly) зазвичай монтується збоку рами. Він включає первинний двигун (prime mover), який може бути, наприклад і без обмеження, двигуном, та коробку передач (gear box). Коробка передач зменшує вихідну швидкість з відносно великим передавальним числом, що створює механічну перевагу та збільшує крутний момент, дозволяючи піднімати важчі вантажі, ніж це було б можливо при прямому з'єднанні з двигуном [10].

Гнучкі опорні елементи (flexible support members), такі як дротяні троси, ланцюги, роликові ланцюги, пластинчасті ланцюги, реміні або будь-які інші гнучкі елементи, що витримують

натяг, з'єднують каретку з приводом. Вони проходять через зірочки (sprockets) таким чином, щоб залежно від напрямку обертання шпинделя, зірочки намотували або розмотували гнучкий опорний елемент, піднімаючи або опускаючи каретку [10].

Особлива увага приділяється системам безпеки. VRC повинні бути обладнані блокувальними воротами безпеки, кнопками аварійної зупинки, захистом від перевантаження, кінцевими вимикачами для запобігання перебігу, захисними бар'єрами та чіткими знаками безпеки відповідно до ASME B20.1 [8]. Додатково можуть застосовуватися системи екстреного блокування (drop locks), які автоматично вмикаються, щоб запобігти падінню каретки в малоймовірному випадку виходу з ладу основної підйомної системи, а також датчики наближення [9].

На противагу циклічним VRC, у високопродуктивних лініях застосовуються вертикальні конвеєри безперервної дії. Вони призначені для ефективного транспортування продуктів або сипучих матеріалів між різними рівнями в промислових, виробничих та розподільчих центрах. Вони поділяються на кілька типів:

Спіральні конвеєри: використовують гвинтову траєкторію для плавного підйому або опускання продуктів, що робить їх одним із найбільш просторово-ефективних рішень. Компактна конструкція з мінімальною площею основи, плавний, безперервний рух зменшує пошкодження продукту, ідеально підходить для інтеграції в автоматизовані виробничі лінії.

Подвійні спіральні (Double Helix): включають дві переплетені спіральні траєкторії, що дозволяє одночасно транспортувати вгору і вниз, значно збільшуючи пропускну здатність без збільшення площі основи.

Безперервні ковшові елеватори: використовують ковші, прикріплені до безперервної стрічки або ланцюга, для підйому сипучих матеріалів, таких як зерно, порошки або гранули. Високоєфективні для обробки сипучих матеріалів, герметична конструкція мінімізує пил та розсипання.

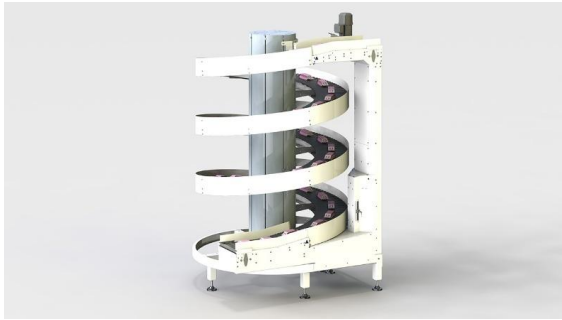
Вібраційні конвеєри: Використовують контрольовану вібрацію для вертикального переміщення матеріалів, пропонуючи точне управління та дбайливе поводження з крихкими або нестандартними продуктами.

Згідно з класифікацією виробників, вертикальні конвеєри також поділяються на рециркуляційні (циклічні), що підходять для великих вантажів на піддонах (вага від сотень кг до кількох тонн, швидкість 30-120 м/хв, продуктивність 60-150 піддонів/год), та безперервні, що підходять для дрібних предметів у швидкісних лініях (вага одиниці менше 100 кг, швидкість 30-60 м/хв, продуктивність понад 200 шт/год).

Відповідно до технічного огляду, представленого Китайським товариством логістики та закупівель (CFLP), вибір типу вертикального конвеєра суттєво залежить від характеристик вантажу та планування виробничого простору [11]. У джерелі зазначається, що для безперервного транспортування дрібних штучних вантажів, таких як коробки, пакети або лотки, найбільш оптимальним рішенням є спіральні конвеєри, тоді як для великогабаритних або важких піддонів застосовуються реципрокуючі (циклічні) підйомники [11].

У цьому ж огляді підкреслюється, що спіральні конвеєри поділяються на стрічкові (для легких вантажів), ланцюгові (для високих температур або агресивних середовищ) та роликові (для важких піддонів) [11]. Важливою технічною особливістю, яка відрізняє спіральний конвеєр від звичайного реципрокуючого, є концепція «один двигун – багато вантажів», що забезпечує значно вищу пропускну здатність за одиницю часу при менших енерговитратах [11].

На рисунку 5 зображено наглядне порівняння двох типів конвеєрів.



(а)



(б)

а) спіральний; б) ковшовий елеватор

Рисунок 5 – Приклади вертикальних конвеєрів безперервної дії

Завдяки таблиці 5 можна провести аналіз-порівняння технічних характеристик.

Таблиця 5 – Порівняння характеристик конвеєрів безперервної дії

Характеристика	Спіральний конвеєр	Ковшовий елеватор
Пропускна здатність	Висока та стабільна. Дозволяє створювати безперервний потік одиничних вантажів.	Дуже висока для сипких матеріалів, але обмежена для штучних вантажів.
Ефективність площі	Максимальна. Займає мінімум площі в цеху завдяки компактній вертикальній спіралі.	Середня. Потребує додаткового місця для зон завантаження та обслуговування.
Придатність матеріалів	Упаковані товари: коробки, лотки, пляшки, пакети, контейнери.	Переважно сипкі, дрібнодисперсні або дрібноштучні матеріали (зерно, пісок).
Тип руху	Плавний, без різких прискорень (ідеально для крихких вантажів).	Дискретний (порційний), можливі вібрації під час розвантаження ковшів.
Складність конструкції	Висока (складне виготовлення спіральних напрямних).	Середня (ланцюговий або пасовий механізм з ковшами).

Для специфічних завдань, де не потрібна висока швидкість або частота циклів VRC, застосовуються спрощені конструкції:

Електрогвинтовий тип (Electro-Screw Type): Використовує центральний обертовий гвинтовий механізм для вертикального підйому матеріалів у герметичному середовищі. Перевагами є мінімальне розсипання та забруднення завдяки закритій конструкції, ідеально підходить для порошків, гранул і суспензій, компактний вертикальний профіль економить площу.

Телескопічний тип (Telescopic Type): Має висувну та збірну конструкцію, яка регулюється під різну висоту підйому та розміри вантажу. Регульована висота забезпечує неперевершену гнучкість, ідеально підходить для приміщень зі змінною висотою стелі, зменшує потребу в кількох конвеєрах з фіксованою висотою .

Проведений аналіз показує, що для автоматизованих дільниць промисловість пропонує широкий спектр рішень: від високопродуктивних механічних VRC з чотиристоронньою або консольною схемою до безперервних спіральних конвеєрів. Механічні VRC здатні виконувати необмежену кількість циклів на годину та мають практично необмежену вантажопідйомність (до 200 000 фунтів), тоді як гідравлічні обмежені приблизно 10 циклами на годину та висотою до 22 футів [9].

**ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ РІЗНИХ МЕХАНІЗМІВ.** Попередній аналіз існуючих конструкцій вертикальних перевантажувачів, продемонстрував значне розмаїття технічних рішень, що застосовуються у сучасній промисловості для переміщення вантажів між рівнями. Від високопродуктивних механічних вертикальних реципрокуючих конвеєрів (VRC) до компактних гвинтових підйомників – кожен тип обладнання має власну, чітко окреслену сферу раціонального застосування, яка визначається сукупністю технічних, експлуатаційних та економічних факторів. Для обґрунтованого вибору конструктивної схеми власного підйомника, призначеного для обслуговування автоматизованої дільниці, необхідно систематизувати ключові критерії, що впливають на прийняття проектних рішень, та співвіднести їх із конкретними умовами технічного завдання даної дипломної роботи. На рисунку 6 можна побачити алгоритм вибору конструктивної схеми підйомника для автоматизованої дільниці.

Першочерговим критерієм, що визначає принципову можливість застосування того чи іншого типу підйомника, є характеристика вантажу, який підлягає переміщенню.

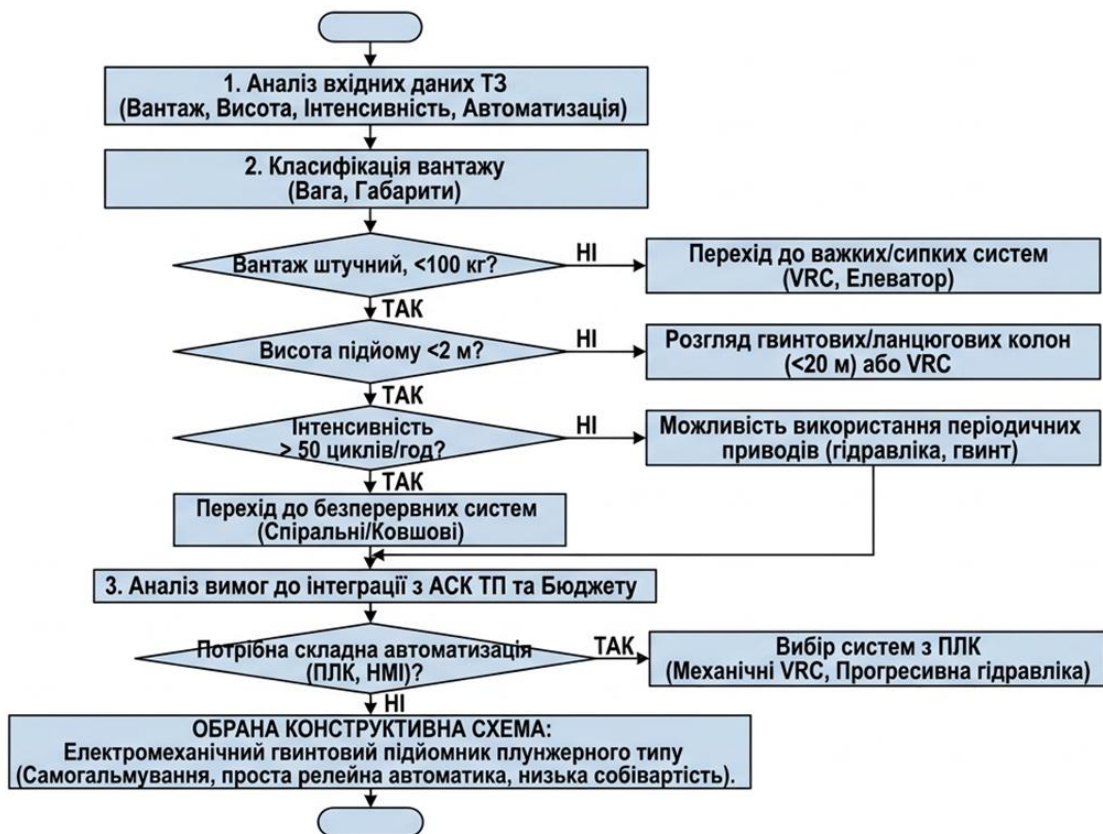


Рисунок 6 – Блок-схема алгоритму вибору конструктивної схеми підйомника для автоматизованої дільниці

У рамках даної роботи передбачається, що підйомник обслуговуватиме автоматизовану дільницю з переміщенням штучних вантажів масою до 100 кг на фіксовану висоту в межах 1,5–2 метрів. Така вантажопідйомність та висота підйому є відносно невеликими в масштабах промислового підйомно-транспортного обладнання, що суттєво розширює коло потенційно придатних конструктивних схем. Зокрема, вертикальні реципрокуючі конвеєри (VRC) здатні транспортувати вантажі масою до декількох тонн на висоту понад 20 метрів, а спіральні конвеєри безперервної дії забезпечують продуктивність у сотні одиниць на годину при

відносно невеликій масі окремого вантажу [11]. Однак застосування настільки потужних та продуктивних систем для обслуговування локальної дільниці з помірною інтенсивністю вантажопотоку є економічно недоцільним та технічно надлишковим.

Другим важливим критерієм є інтенсивність експлуатації підйомника, що вимірюється кількістю циклів підйому-опускання за одиницю часу. У джерелах зазначається, що механічні VRC можуть виконувати практично необмежену кількість циклів на годину, тоді як гідравлічні VRC зазвичай обмежуються приблизно 10 циклами на годину через необхідність охолодження робочої рідини [12]. Ножичні підйомники, у свою чергу, характеризуються ще нижчою швидкістю вертикального переміщення – близько 8-10 футів за хвилину (приблизно 2,4–3 метри за хвилину), що значно поступається навіть низькошвидкісним VRC, які рухаються зі швидкістю 16-20 футів за хвилину [10]. Для проекрованої автоматизованої дільниці передбачається, що інтенсивність роботи підйомника буде помірно-орієнтовно 20–30 циклів на годину впродовж робочої зміни. Такий режим експлуатації не висуває жорстких вимог до швидкодії механізму, однак вимагає стабільності роботи та мінімальних експлуатаційних витрат.

Третім критерієм, що має безпосередній вплив на вибір конструктивної схеми, є вимога до інтеграції підйомника в автоматизовану систему керування технологічним процесом (АСК ТП) дільниці. Сучасні VRC можуть бути оснащені розширеним людино-машинним інтерфейсом (HMI) з інтеграцією програмованих логічних контролерів (ПЛК), що дозволяє автоматизувати їхню роботу в складі конвеєрних ліній [13]. Крім того, VRC є сумісними з автономними мобільними роботами (AMR), що відкриває можливості для створення повністю автоматизованих транспортно-складських систем [14]. Однак реалізація подібних інтеграційних рішень вимагає наявності розвиненої цифрової інфраструктури, складних протоколів зв'язку між контролерами підйомника та зовнішніми пристроями, а також відповідного програмного забезпечення [13]. В умовах даної кваліфікаційної роботи, що передбачає розробку максимально простої та економічної конструкції, застосування ПЛК та складних комунікаційних протоколів є недоцільним. Натомість, раціональним є використання базової релейно-контактної схеми керування з кінцевими датчиками положення, що забезпечує надійне позиціонування платформи у двох фіксованих точках («Верх» та «Низ») без необхідності програмування.

Четвертим критерієм є вимоги до безпеки експлуатації, які суттєво відрізняються для різних типів підйомного обладнання. Вертикальні реципрокуючі конвеєри підпадають під дію стандарту ASME B20.1, який регламентує вимоги до конструкції, встановлення, експлуатації та технічного обслуговування конвеєрів та пов'язаного обладнання [12]. Важливою особливістю VRC є те, що вони призначені виключно для переміщення матеріалів, а не людей, і тому на них не поширюються більш жорсткі вимоги стандартів для пасажирських ліфтів [14]. Ножичні підйомники, у свою чергу, регулюються стандартом ANSI MH29.1 і, на відміну від VRC, можуть використовуватися для переміщення персоналу разом із вантажем за умови дотримання додаткових вимог безпеки, зокрема наявності захисних огорожень висотою 42 дюйми, електрично блокованих воріт та кнопок керування з постійним натисканням [12]. Для проектованого підйомника, який функціонуватиме в складі автоматизованої дільниці без постійної присутності оператора, вимога можливості перевезення людей не є актуальною. Навпаки, властивість самогальмування гвинтової передачі забезпечує пасивну безпеку механізму навіть у випадку аварійного відключення електроенергії, що є суттєвою перевагою в контексті автоматизованої експлуатації.

П'ятим критерієм, який часто має вирішальне значення при виборі обладнання для реальних виробничих умов, є економічна доцільність, що включає початкову вартість придбання та виготовлення, вартість монтажу, а також експлуатаційні витрати на технічне обслуговування.

У джерелах зазначається, що гідравлічні VRC зазвичай мають нижчу початкову вартість порівняно з механічними, однак можуть потребувати більш частого технічного обслуговування через наявність гідравлічних ущільнень, насосів та робочої рідини [12]. Механічні VRC, незважаючи на вищу початкову вартість, характеризуються нижчими експлуатаційними витратами та більшою довговічністю [12]. Ножичні підйомники, як правило, постачаються у повністю зібраному вигляді, що вимагає менших витрат на монтаж порівняно з VRC, які монтуються безпосередньо на об'єкті [13]. Крім того, для встановлення VRC у деяких штатах США вимагається залучення ліцензованих монтажників ліфтів, що може збільшити вартість монтажу втричі порівняно з послугами звичайних монтажників [10]. Для умов даної дипломної роботи, що передбачає виготовлення підйомника в умовах навчальних майстерень або ремонтно-механічного цеху, критично важливим є вибір конструкції, яка може бути реалізована з використанням стандартних профілів та комплектуючих, не потребує складного верстатного обладнання та може бути змонтована без залучення вузькоспеціалізованих фахівців. Таблиця 7 дозволяє проаналізувати критерії альтернативних конструктивних схем підйомника.

Таблиця 7 – Багатокритеріальне порівняння альтернативних конструктивних схем підйомника

Параметр порівняння	Гідравлічний VRC	Механічний VRC	Ножичний гідравлічний підйомник	Електрогвинтовий плунжерний підйомник
Вантажопідйомність, кг	до 4 000	від 500 до 15 000+	від 500 до 10 000	до 500 (оптимально 100)
Висота підйому, м	до 7	до 30+	до 4–6	до 3 (оптимально 1,5–2)
Швидкість, м/хв	6–9	9–30	2,4–3	4–6
Орієнтовна вартість	Середня	Висока	Середня	Низька
Складність виготовлення	Середня (гідросистема)	Висока (складна механіка)	Середня (метало-конструкція)	Низька (стандартні профілі)
Вимоги до фундаменту	Потребує прямка або анкерування	Потребує прямка та опорних стін	Потребує глибокого прямка	Мінімальні (підлогове кріплення)
Сумісність з простою автоматикою	Потрібні гідророзподільники	Потрібні ПЛК та частотні перетворювачі	Потребує клапанного керування	Висока (релейна схема + датчики)
Ремонтопридатність	Середня	Низька (спеціальні вузли)	Середня	Висока (доступні запчастини)
Властивість самогальмування	Відсутня (потрібні гідрозамки)	Потрібне електромагнітне гальмо	Відсутня (ризик падіння при витоку)	Присутня (за рахунок різьби)

З урахуванням сукупності розглянутих критеріїв помірної вантажопідйомності (до 100 кг), невеликої висоти підйому (до 2 м), помірної інтенсивності експлуатації (20–30 циклів/год), вимоги до простоти інтеграції з базовими засобами автоматизації (кінцеві датчики), відсутності потреби у транспортуванні людей та обмеженого бюджету на виготовлення - найбільш раціональним є вибір електромеханічного гвинтового підйомника плунжерного (телескопічного) типу. Дана конструктивна схема поєднує в собі низку принципів переваг, які роблять її оптимальною для вирішення поставлених у кваліфікаційній роботі задач.

По-перше, гвинтова передача з трапецеїдальною різьбою забезпечує властивість самогальмування, що виключає необхідність встановлення додаткового гальмівного пристрою на валу двигуна або редуктора. Це суттєво спрощує як механічну частину конструкції (зменшується кількість деталей), так і електричну схему керування (відпадає потреба в окремому колі керування гальмом). Для порівняння, механічні VRC потребують встановлення важких редукторів із миттєвим гальмуванням для утримання каретки під час завантаження та розвантаження [15], що ускладнює та здорожчує конструкцію.

По-друге, плунжерна (телескопічна) схема з використанням двох труб різного перерізу зовнішньої нерухокої та внутрішньої рухокої дозволяє створити жорстку та стабільну напрямну систему без необхідності виготовлення складних рамних конструкцій із швелерів або двотаврів. Внутрішня труба, що виконує функцію плунжера, переміщується всередині зовнішньої за принципом ковзання, що забезпечує високу точність позиціонування платформи без ризику перекосу або заклинювання. Така конструкція є значно простішою у виготовленні порівняно з VRC, які потребують виготовлення напрямних колон, кареток з колесами, гальмівних збірок та систем натягу гнучких елементів [16].

По-третє, відсутність гнучких тягових елементів - канатів, ланцюгів або ременів виключає необхідність у натяжних пристроях, системах змащення ланцюгів та періодичному контролю їхнього стану. У патентній документації на VRC зазначається, що гнучкі опорні елементи, такі як дротяні троси, ланцюги, роликові ланцюги, пластинчасті ланцюги або ремені, з'єднують каретку з приводом та проходять через зірочки таким чином, щоб залежно від напрямку обертання шпинделя, зірочки намотували або розмотували гнучкий опорний елемент, піднімаючи або опускаючи каретку [8]. Це створює додаткові вузли тертя, зносу та потенційних відмов. Гвинтова передача, навпаки, є закритою системою, де єдиним рухомих елементом є сам гвинт, що обертається в підшипникових опорах та взаємодіє з гайкою.

По-четверте, з точки зору автоматизації, лінійне переміщення гвинта з постійним кроком різьби дозволяє легко контролювати положення платформи за допомогою двох кінцевих вимикачів або індуктивних датчиків, встановлених у фіксованих точках, що відповідають крайнім положенням. Сучасні системи керування VRC можуть включати синхронізуючі пристрої, такі як енкодери та датчики, для забезпечення точного узгодження рухів підійомників та конвеєрів [11], однак для задач даної роботи достатньо найпростішої дискретної системи позиціонування.

Для розуміння принципу роботи плунжерного гвинтового підійомника, зображена кінематична схема на рисунку 7.

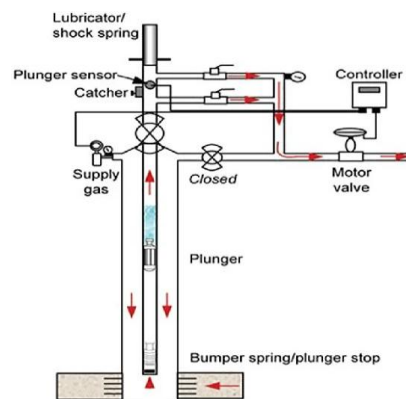


Рисунок 7 – Принципова кінематична схема обраної конструкції плунжерного гвинтового підійомника

Таким чином, обрана конструктивна схема електромеханічного гвинтового підйомника плунжерного типу повністю відповідає вимогам технічного завдання, забезпечує необхідну вантажопідйомність та висоту підйому, характеризується простотою виготовлення та монтажу, легко інтегрується в базову систему автоматизації дільниці та має мінімальну собівартість порівняно з промисловими аналогами.

**ВИСНОВКИ.** На основі вивчення вітчизняного та світового досвіду, а також з урахуванням специфічних вимог технічного завдання щодо роботи на автоматизованій дільниці, було обґрунтовано доцільність застосування електромеханічного гвинтового підйомника плунжерного типу. Такий вибір зумовлений передусім високим рівнем пасивної безпеки завдяки властивості самогальмування різьбової пари, що є критично важливим для вертикального переміщення вантажів у промислових умовах. Обране конструктивне рішення забезпечує необхідну точність позиціонування платформи та стабільність роботи при заданих навантаженнях, залишаючись при цьому економічно виправданим та простим в обслуговуванні. Запропонована структура системи керування, що базується на принципах релейно-контактної логіки з використанням сучасної пускозахисної апаратури та датчиків контролю положення, повністю задовольняє вимоги до надійності та безпеки експлуатації. Використання реверсивного магнітного пускача з подвійним блокуванням у поєднанні з автоматичними вимикачами та тепловими реле гарантує тривалий термін служби електропривода та захист обладнання від нештатних режимів роботи.

Таким чином, результати аналітичної частини підтверджують ефективність обраного вектору проектування та дозволяють перейти до стадії детальних інженерних розрахунків і розробки конструкторської документації.

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Аналіз стратегій зберігання виробів в автоматизованому інтелектуальному складі / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, Н. П. Демська та ін. // Напівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка : тези доп. VII Міжнар. наук.-практ. конф. Кременчук : Кременчуцький нац. ун-т ім. Михайла Остроградського, 2022. С. 87-88.
2. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Klymenko, O., Demska, N., & Vzhesnievskiy, M. Evolutions of the Development of Group Management of Mobile Robotic Platforms in Warehousing 4.0. Innovative Technologies and Scientific Solutions For Industries, (4)(18), pp. 57-64. doi: 10.30837/ITSSI. 2021.18. 057.
3. ДСТУ 2278-93. Підйимально-транспортне обладнання. Загальні вимоги.
4. Автоматизація виробничих процесів: навч. посіб. / Б. М. Гончаренко, С. І. Осадчий, Л. Г. Віхрова [та ін.]. - Кіровоград: Лисенко В.Ф., 2016. - 352 с.
5. Kardex Remstar. Production Line Automation: How to Use Vertical Lift Modules with AMR [Electronic resource] / Kardex Remstar. – 2026. – Mode of access: <https://www.kardex.com/en-us/blog/production-line-automation>.
6. Tolomatic, Inc. Designing Gantry and Multi-Axis Automation Systems / Matthew Gulleen. Tolomatic, Inc., 2023. 9 p. Mode of access: <https://www.tolomatic.com/info-center/resource-details/designing-gantry-and-multi-axis-automation-systems>.
7. BHS Industrial Equipment. Mechanical VRC or Hydraulic VRC? A Vertical Reciprocating Conveyor Buyer's Guide [Electronic resource] / BHS Industrial Equipment. 2025. Mode of access: <https://na.bhs1.com/blog/post/mechanical-vrc-or-hydraulic-vrc-a-vertical-reciprocating-conveyor-buyer-s-guide>.
8. PFlow Industries. Mechanical VRC Comparison: Cantilever, Straddle, and Four-Post Configurations [Electronic resource] / PFlow Industries. – 2025. – Mode of access: <https://www.pflow.com/cantilever-vs-straddle-mechanical-vrc-configurations/>
9. PFlow Industries. Design Considerations for Vertical Reciprocating Conveyors: What's in It for You [Electronic resource] / PFlow Industries. – 2024. – Mode of access: <https://www.pflow.com/design-considerations-for-vertical-reciprocating-conveyors-whats-in-it-for-you/>

10. Payne S. M. Vertical reciprocating conveyor: пат. 2006/0151255 A1 США / Stephen M. Payne; Wildeck, Inc. – № 10/881346; заявл. 30.06.2004; опубл. 13.07.2006.
11. Tianhe Shuangli. Великий огляд вертикальних конвеєрів: вибір моделі та сценарії застосування [Електронний ресурс] (LEI). – 2024. – Режим доступу: <http://www.lei.org.cn/huiyuanfengcai/cangchuxiehuihuiyuan/20240724/1674.html>.
12. New Equipment Digest. This Way Up: Mezzanine Rider Lift or Vertical Reciprocating Conveyor? [Electronic resource] / John Hitch. – 2016. – Mode of access: <https://www.newequipment.com/research-and-development/article/22058363/this-way-up-mezzanine-rider-lift-or-vertical-reciprocating-conveyor>
13. Shop Metalworking Technology. Multi-stage scissors lifts move personnel and material from ground to mezzanine [Electronic resource] / Michael Renken, Advance Lifts. 2025. Mode of access: <https://shopmetaltech.com/manufacturing/multi-stage-scissors-lifts-move-personnel-and-material-from-ground-to-mezzanine/>
14. Work Safety 24/7. PFlow Industries: VRCs - Optimizing Replenishment and Worker Safety [Electronic resource] / PFlow Industries. 2021. Mode of access: [https://www.worksafety247.com/article/vrcs\\_optimizing\\_replenishment\\_and\\_worker\\_safety](https://www.worksafety247.com/article/vrcs_optimizing_replenishment_and_worker_safety).
15. Material Handling 24/7. Autoquip Corporation: Freight Lift Family of Vertical Reciprocating Conveyors [Electronic resource] / Material Handling 24/7. – 2013. – Mode of access: [https://www.materialhandling247.com/product/freight\\_lift\\_family\\_of\\_vertical\\_reciprocating\\_conveyors/Conveyors](https://www.materialhandling247.com/product/freight_lift_family_of_vertical_reciprocating_conveyors/Conveyors).
16. AEC Carolina. Elevating Efficiency with Vertical Lift Solutions [Electronic resource] / AEC Carolina. 2023. Mode of access: <https://aec-carolina.com/blog/material-handling/elevating-efficiency-with-vertical-lift-solutions/>
17. Using Quantum Computings During Collaborative Mobile Robot Trajectory Constructing / V. V. Yevsieiev, S. S. Maksymova, M. G. Starodubcev, N. P. Demska // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. - Серія: Технічні науки. - 2025. - Т. 36 (75), № 6, частина 2. - P. 111-118. - DOI : <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.6.2/16>.
18. Hybrid Approaches to Building Intelligent Robotic Systems on FPGAs and MCUs for Industry 5.0 Tasks / V. Yevsieiev, S. Maksymova, N. Demska, N. Starodubcev // Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs (MC&FPGA-2025) : VII International Scientific and Practical Conference, June 27-28, 2025. – Kharkiv : NURE – P.30-35.
19. Yevsieiev V. Features of the Use of Quantum Computing in Constructing Trajectory of Collaborative Mobile Robot / V. Yevsieiev, N. Demska // Information Technologies and Automation - 2025 : Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference, October 30-31, 2025. - Odessa : ONUT Publishing House, 2025 – P. 893-895.
20. Hybrid Approaches to Building Intelligent Robotic Systems on FPGAs and MCUs for Industry 5.0 Tasks / V. Yevsieiev, S. Maksymova, N. Demska, N. Starodubcev // Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs (MC&FPGA-2025) : VII International Scientific and Practical Conference, June 27-28, 2025. – Kharkiv : NURE – P.30-35.
21. Yevsieiev V. Digital Twin in Modeling and Control of Collaborative Robots: Analysis, Comparison and Application Recommendations / V. Yevsieiev, S. Starikova // Computer-integrated technologies, automation and robotics 2026 : Proceedings of III st All-Ukrainian Conference, May 14-15, 2026. - Kharkiv .: [electronic version], 2026. - P. 89-92.
22. Yevsieiev V. Digital Twins of Collaborative Robotic Systems for Decision Support in Emergency Situations / V. Yevsieiev, S. Svetlana // Intelligent Civil Safety Technologies and Robotic Systems for Emergency and Rescue Operations (ICSTRO-2026) : Proceedings of I-st All-Ukrainian Conference, February 12-23, 2026. – Kharkiv, 2026. - P. 153-156.

**Науковий керівник:** Демська Наталія Павлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри КІТАРБІ Харківського національного університету радіоелектроніки