

АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ SHUTTLE-СИСТЕМ

В. С. Артюх, В. А. Кашчєєв

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: vladyslav.artiukh@nure.ua, vladyslav.kashcheiev@nure.ua

Анотація: В контексті сталого розвитку автоматизовані транспортні системи на базі Shuttle-систем дозволяють зменшити споживання енергії та зменшити вплив на навколишнє середовище, що відповідає сучасним стандартам бережливого виробництва. В роботі проведено аналіз типів Shuttle-систем, їх структура та призначення, який в подальшому дозволить провести уніфікацію параметрів необхідних для автоматизації проектування нових або удосконалення існуючих систем із мінімальними економічними витратами.

Ключові слова: Shuttle-системи, моделювання, логістика, автоматизація

ANALYSIS AND SIMULATION OF SHUTTLE-SYSTEM

Vladyslav Artiukh, Vladyslav Kashcheiev

Kharkiv National University of Radioelectronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: vladyslav.artiukh@nure.ua, vladyslav.kashcheiev@nure.ua

Abstract. In the context of sustainable development, automated transport systems based on Shuttle systems allow for reduced energy consumption and reduced environmental impact, which meets modern standards of lean production. The paper analyzes the types of Shuttle systems, their structure and purpose, which will further allow for the unification of the parameters necessary for the automation of the design of new or improvement of existing systems with minimal economic costs. **Key words:** Shuttle systems, modeling, logistics, automation.

ВСТУП. Швидкі зміни у системах виробництва та обслуговування призвели до феноменального підвищення продуктивності. Середовище, що швидко змінюється, створює нові завдання та можливості для виробництва, які пов'язані з адаптацією до нових технологій, таких як інтернет речей та кібер-фізичні виробничі системи, штучний інтелект, робототехніка, кібербезпека, аналітика даних, блокчейн та хмарні технології, які безпосередньо впливають на досягнення економічного результату, за рахунок створення передумов реалізації Lean Production. У зв'язку з чим реалізація сучасної концепції Industry 4.0 у SM неможлива без створення ефективніших стратегій розподілу (Logistics), зберігання (Warehousing) та управління ланцюжками постачання (SCM) [1].

Warehousing 4.0 – концепція автоматизованого інтелектуального складу для вирішення таких завдань як автоматичне поповнення запасів, автономна ідентифікація запасів, комплектування замовлень та маршрутизація систем постачання на завантаження та вивантаження з використанням групового управління робототехнічними автономними транспортними засобами. Автономні транспортні робототехнічні засоби, які можуть «сканувати» своє оточення за допомогою лазерних сканерів, інфрачервоних датчиків та RFID чіпів для автономної навігації в складських приміщеннях. Кожен з них має можливість приймати автономні рішення про свої пересування, вибір маршруту та пріоритети транзиту, обмінюючись даними про своє місцезнаходження та статус з іншими транспортними робототехнічними засобами [1].

Впровадження Warehousing 4.0 на підприємствах дозволяє знизити операційні витрати за рахунок більш ефективного управління запасами, оптимізувати управління ланцюжком

постачання та доступ до ресурсів, а дослідження даної галузі Industry 4.0 є актуальним завданням.

АНАЛІЗ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ SHUTTLE-SYSTEME ТА ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ. Човникові системи (Shuttle-Systeme) – це автоматичні системи зберігання, які використовують човникові транспортні засоби та підйомники для транспортування вантажних одиниць. Човникові системи часто використовуються для зберігання одиниць невеликого об'єму, часто контейнерів від малої до середньої ваги. Їх рідко використовують для зберігання піддонів. Горизонтальне переміщення вантажних одиниць забезпечується за допомогою човникового транспорту. Човникові транспортні засоби рухаються по рейках, вбудованих у стійку. Тривимірна схематична структура човникової системи з автомобільним домкратом показана на рис. 1 [2].

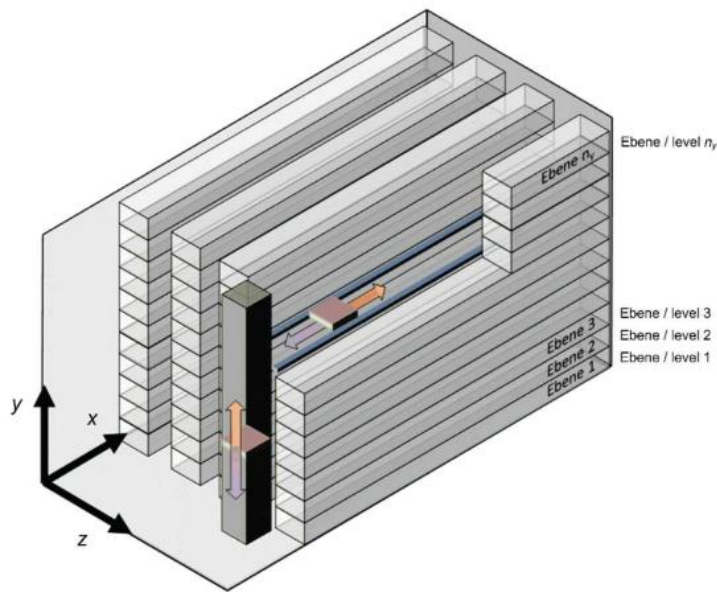


Рисунок 1 – Човникова система з одним домкратом [3]

На рис. 2 показана система човника, яка складається з двох домкратів для контейнерів і домкрата для транспортних засобів. Залежно від обраної конфігурації зберігання використовуються лише домкрати для контейнерів (пов'язані з проходом і рівнем), тільки домкрат для транспортних засобів або використовуються всі домкрати (комбіновані). Домкрати завжди розміщуються в передній частині проходу.

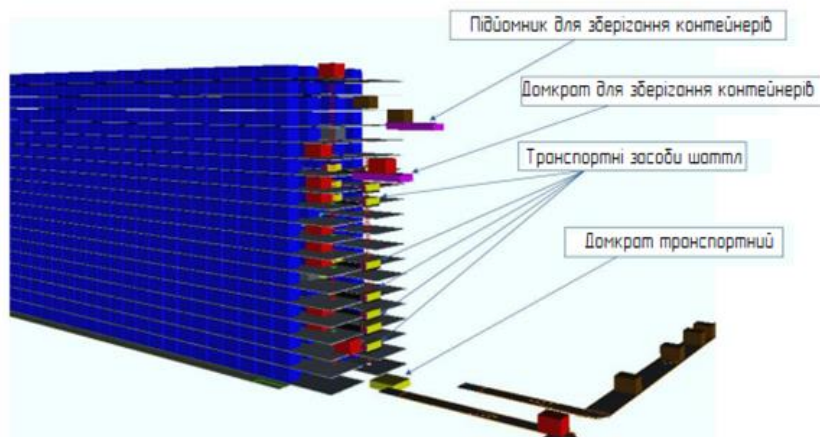


Рисунок 2 – Спорядження та елементи човникової системи

Човникові системи, які використовують контейнерні підйомники, мають зони перевантаження на кожному рівні, де контейнерні підйомники та транспортні засоби-човники зберігають і витягують вантажні одиниці.

Пункти передачі є інтерфейсом між підйомниками контейнерів і транспортними засобами-човниками. Перевантажувальні точки розташовані на початку проходу, перевантажувальні точки з лівого боку проходу можуть обслуговуватися лише лівим контейнерним підйомником, перевантажувальні точки з правого боку можуть обслуговуватися лише правим контейнерним підйомником. Транспортні засоби можуть обслуговувати обидва пункти пересадки на своєму рівні. Підйомники контейнерів можуть виконувати одиночні або парні. У парних місцях передачі з обох сторін по черзі визначаються як місця передачі для зберігання та вилучення.

Це означає, що кожен контейнеровоз може завантажувати та розвантажувати контейнери, а також кожен маршрутний транспортний засіб.

На рис. 3 показано використання зон переміщення для завантажувальних одиниць, які слід зберігати та витягувати, на прикладі зон передачі з правого боку проходу.

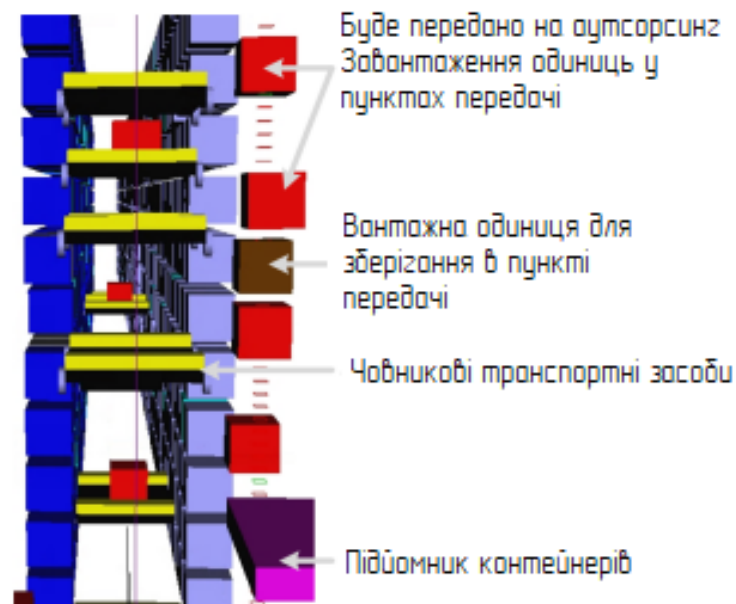


Рисунок 3 – Зони переміщення для завантажувальних одиниць

Човникові системи набули значного поширення за останні десять років, і представники компанії в якості причин цього в першу чергу називають досягну пропускну здатність і гнучкість [4]. Човникові системи використовуються, наприклад, для постачання місць комплектування за принципом «товар до людини» [5]. Човникові системи можна класифікувати на категорії на основі різних характеристик.

У класифікації відповідно до можливостей пересування човникових транспортних засобів у човниковій системі човникові системи можна класифікувати на човникові системи, пов'язані з проходами та рівнем, човникові системи, пов'язані з проходами, прив'язані до рівня та вільні човникові системи. У системах човників, що базуються на проходах і рівнях, транспортні засоби човників не можуть змінювати рівні або проходи. У човникових системах, що базуються на проходах, човникові транспортні засоби не можуть перемикати передачі. У системах шаттлів транспортні засоби не можуть змінювати рівень. У незв'язаних човникових системах човникові транспортні засоби можуть досягати будь-якого місця зберігання в човниковій системі.

Човникові системи можна описати або оцінити за різними розмірами. Геометрія човникової системи або кінематика засобів транспортування називаються вхідними змінними. Змінні, на які можуть впливати вхідні змінні та процеси в системі човника, називаються вихідними змінними. Вихідні змінні включають, наприклад, пропускну здатність або час обробки замовлення.

Пропускна здатність вказує на кількість одиниць завантаження, які перевищують визначений ліміт за одиницю часу [6]. Термін виконання замовлення вказує час, необхідний для обробки замовлення [7].

Час очікування – це час, протягом якого фінансування перебуває в стані спокою та очікує події. Ступінь використання вказує на частку, з якою конвеєр здійснює рухи в одиницю часу. Довжина черги вказує на кількість завдань, що очікують.

Поведінку системи можна визначити, вимірявши реальну човникову систему або використовуючи модель човникової системи.

Використовуються два види моделювання:

1. Аналіз човникової системи. Робляться припущення щодо системи, що розглядається. На основі цих припущень розроблено правила розрахунку для вихідних змінних. Моделі такого типу називаються аналітичними [7].

2. Моделювання (імітація) на комп'ютері з використанням відповідного програмного забезпечення. Список подій визначає, коли відбувається подія. Подія може ініціювати обчислення. Програмне забезпечення моделювання виконує всі події. Для кожної події призначений час. Моделі такого типу називають імітаційними [6].

Контроль переміщень човникових транспортних засобів і підйомників у цій роботі називається стратегією зберігання. Таким чином, стратегія зберігання визначає для відповідної човникової системи, які рухи здійснюють човникові транспортні засоби та підйомники та в який момент часу. Можливі рухи обмежені системою, наприклад ліфт може виконувати лише вертикальне переміщення. Стратегія зберігання вибирає саме один варіант руху, доступний для конвеєра в даний момент часу.

Стратегії зберігання для оптимізації поведінки системи базується на наступних ідеях:

1. Якщо є завантажувальні одиниці, які потрібні частіше, ніж інші завантажувальні одиниці, то місце зберігання для цих завантажувальних одиниць має бути вибрано таким чином, щоб час руху конвеєрів для зберігання та вилучення був якомога коротшим. Нижче це називається стратегією зберігання «на основі пропускну здатності»;

2. Якщо на обробку очікує більше одного завдання, має відбутися сортування порядку обробки завдань, що очікують. Сортування має здійснюватися таким чином, щоб скоротити час у дорозі фінансування. Нижче це називається складською стратегією «последовне сортування замовлень»;

3. Якщо човникові системи не працюють у певний час, але вже відомі замовлення на пошук, які будуть потрібні на початку наступної фази роботи, необхідні вантажні одиниці слід перемістити. Нові місця зберігання цих завантажувальних одиниць слід вибирати таким чином, щоб час проходження конвеєра, який буде виведено зі складу, був якомога коротшим. Нижче це називається складською стратегією «реорганізації складу»;

4. Якщо існує еталонна стратегія зберігання, можлива кількісна оцінка оптимізації за допомогою згаданих стратегій зберігання. Стратегією еталонного зберігання є «хаотичне зберігання». Кожній одиниці завантаження призначається випадкове вільне місце для зберігання. Випадкове рішення базується на рівномірному розподілі.

Моделі можна використовувати на етапі планування човникової системи для вибору варіантів і визначення потенціалу оптимізації. На етапі оперативного використання човникової системи моделі можуть продемонструвати потенціал оптимізації при зміні

стратегії зберігання. Якщо алгоритми нової стратегії зберігання реалізовані в програмному забезпеченні керування човниковою системою, можлива оптимізація поведінки системи цієї човникової системи. Оптимізація поведінки системи шляхом зміни стратегій зберігання має ту перевагу, що нові вимоги до човникової системи можна задовольнити без інвестицій в апаратне забезпечення. Витратна інвестиція, напр. В. можна запобігти новому проходу з новим домкратом і новими маршрутними транспортними засобами або принаймні відкласти/

ВХІДНІ ЗМІННІ ЧОВНИКОВОЇ СИСТЕМИ. Вихідні змінні човникової системи (пропускна здатність, час відтворення, час очікування, ступінь використання, час обробки замовлення та довжина черги) визначаються різними вхідними змінними.

Стратегія зберігання визначає рух конвеєрів. Суміжні системи є інтерфейсом човникової системи до систем вище або нижче за течією. Специфічні для компанії рамкові умови включають, наприклад, певний розподіл вхідних замовлень за одиницю часу.

Рівень наповненості складу – це відношення зайнятих до вільних складських приміщень. Розміри зберігання включають довжину, висоту, глибину та інші розміри човникової системи. Конфігурація зберігання включає системні характеристики човникової системи. Кінематика підшипника вказує на прискорення, швидкість, час обробки вантажу та інші дані.

Човникова система також включає систему керування, пристрої безпеки, пристрої протипожежного захисту тощо. Т. додаткові конвеєрні системи. Вертикальний конвеєр називається підйомником, горизонтальний – човником. На рис. 4 показана човникова система.

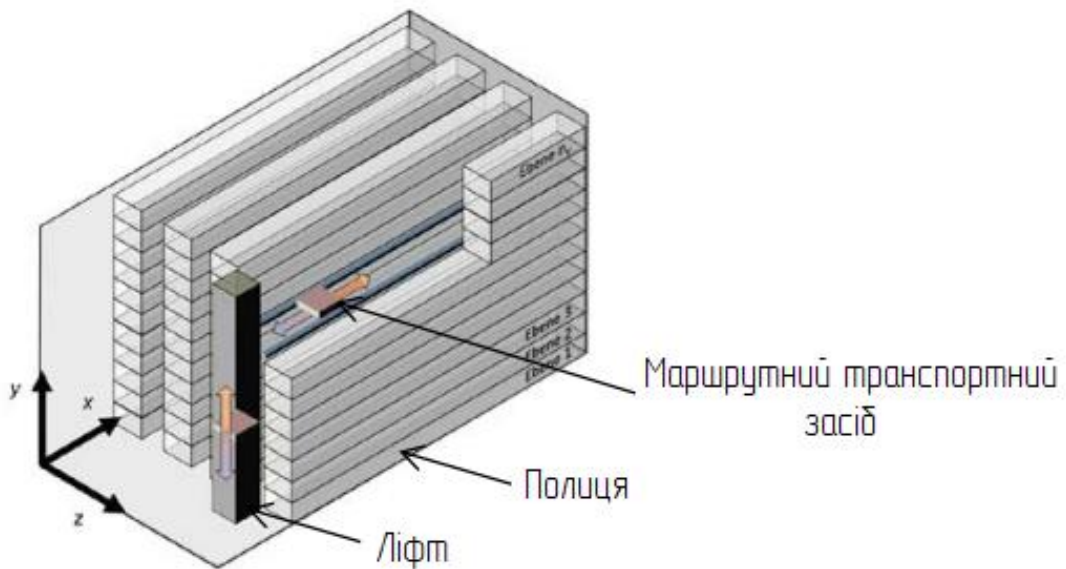


Рисунок 4 – Човникова система з одним підйомником на прохід

Вантажні одиниці забираються в точці зберігання ліфтом або транспортним засобом-човником, розташованим на підйомнику. Точка зберігання – це інтерфейс із суміжними системами перед зберіганням у системі човника. Це можуть бути стрічкові або роликові конвеєри, які транспортують вантажні одиниці від товарної квітання до човникової системи. Підйомник транспортує вантажну одиницю (або транспортний засіб-човник і вантажний блок) до рівня транспортного засобу-човника з підйомною полицею, де доставляється вантажний блок (або транспортний засіб-човник із вантажним блоком). Потім вантажна одиниця зберігається на транспортному засобі. Човник пересувається колесами по рейках в рівні стелажа. Зазвичай здійснюється за допомогою датчиків, вбудованих у транспортний засіб човника, і маркерів позиції, вбудованих у рейки [5].

Човник пересувається колесами по рейках в рівні стелажа. Зазвичай здійснюється за допомогою датчиків, вбудованих у транспортний засіб човника, і маркерів позиції, вбудованих у рейки [5]. Вантажна одиниця підбирається та доставляється під'їздом, підтягуванням/штовханням або захопленням телескопічними вилами [8] вантажозахоплювального пристрою, стаціонарно встановленого на транспортному засобі човника. Спосіб захоплення дуже поширений. На рис. 2.5 показано процес підйому вантажу за допомогою захвату телескопічними вилами. Човник спочатку знаходиться перед вантажним блоком (рис. 5, а), телескопічні вила висуваються (рис. 5, б), вантажний блок захоплюється (рис. 5, в), телескопічні вила втягуються (рис. 5, г).) . Процес прийому вантажу завершується, як тільки вантажний блок опиниться в призначеному положенні на човниковому транспортному засобі (рисунок 5, д).

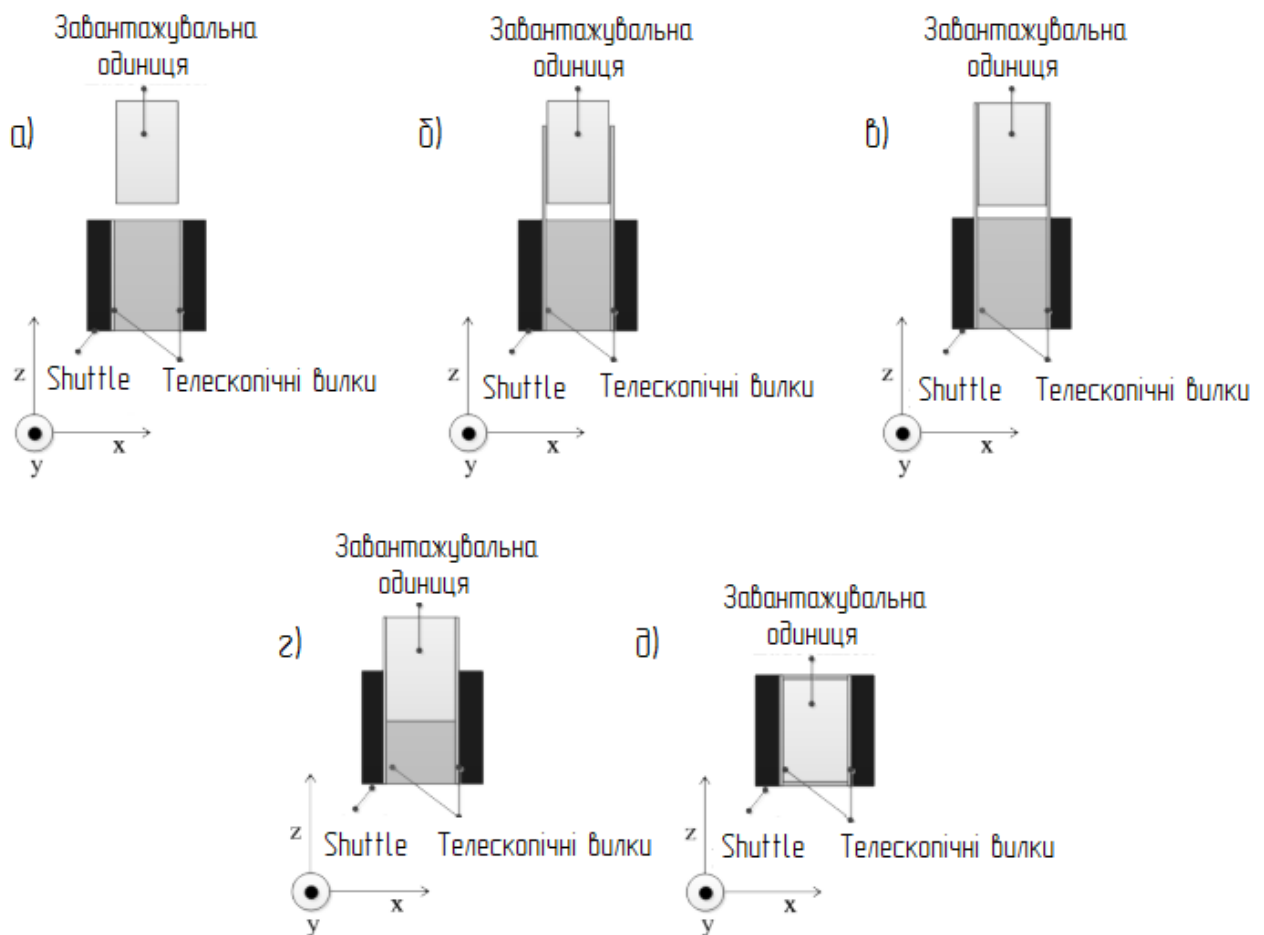


Рисунок 5 – Процес прийому вантажу транспортним засобом човника

Човникові системи можуть відрізнятися за глибиною зберігання або місткістю вантажопідйомних пристроїв. На рис. 6 показаний приклад човникової системи подвійної глибини з проходом подвійної глибини. Глибина коридору визначає кількість боків маршрутного транспорту. Прохід має подвійну глибину, оскільки транспортний засіб-човник може вмістити дві вантажні одиниці поруч. Місткість вантажопідйомного засобу маршрутного транспортного засобу не обов'язково повинна бути двома. Також можна мати два вантажозавантажувальні пристрої, кожне з яких може вмістити лише одну вантажну одиницю. Тоді один вантажопідйомний пристрій може забрати та доставити ліворуч, інший – праворуч.

Класифікація заснована на здатності транспортного засобу-човника змінювати рівні або передачі [2].

У човникових системах на основі проходів і рівнів (GEG) транспортний засіб човника фіксується на певному рівні. Транспортний засіб шатла залишається на цьому рівні протягом усього часу роботи системи шатла. Маршрутний транспортний засіб покидає рівень лише для технічного обслуговування або у разі несправності.

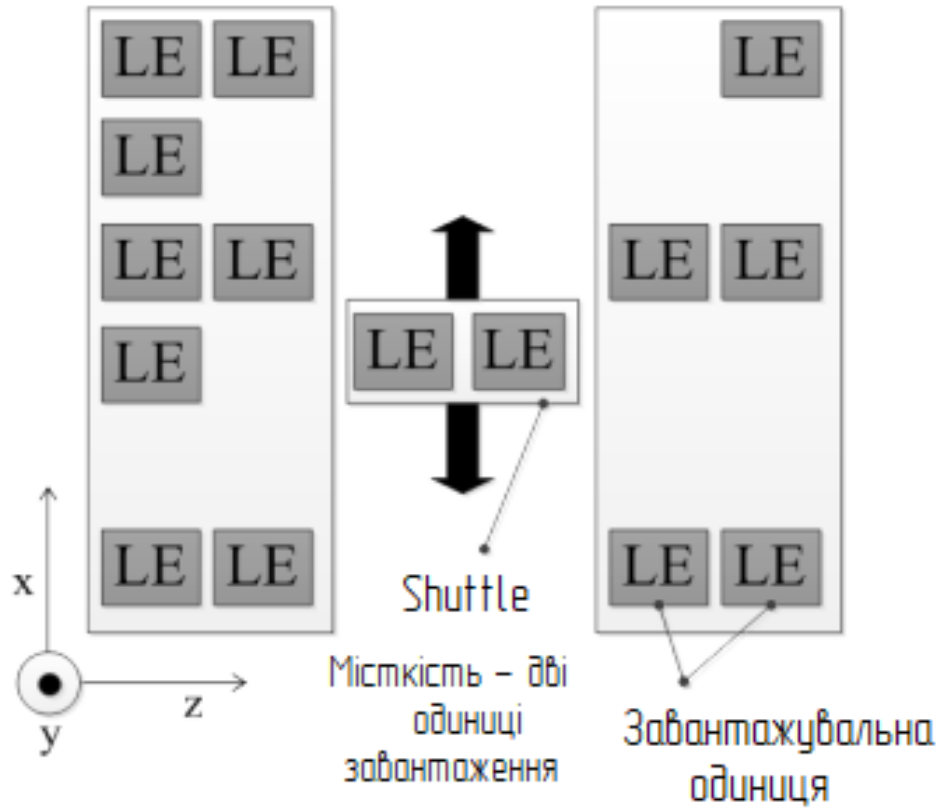


Рисунок 6 – Човникова система подвійної глибини з проходом подвійної глибини, вид зверху

На рис. 7 показана тривимірний вигляд система шатла, пов'язана з проходами та рівнем.

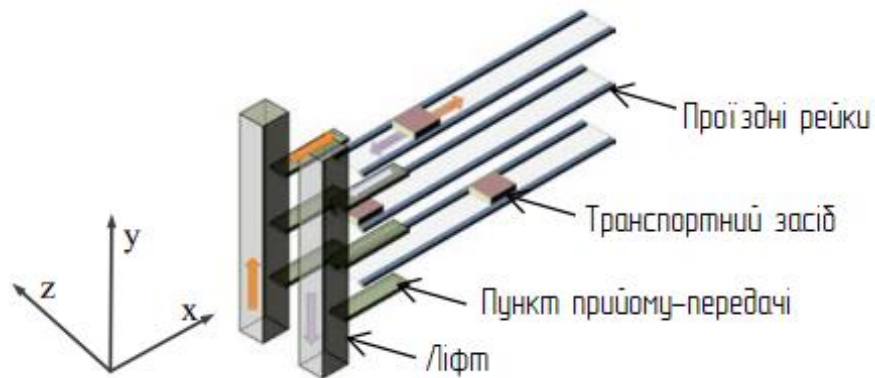


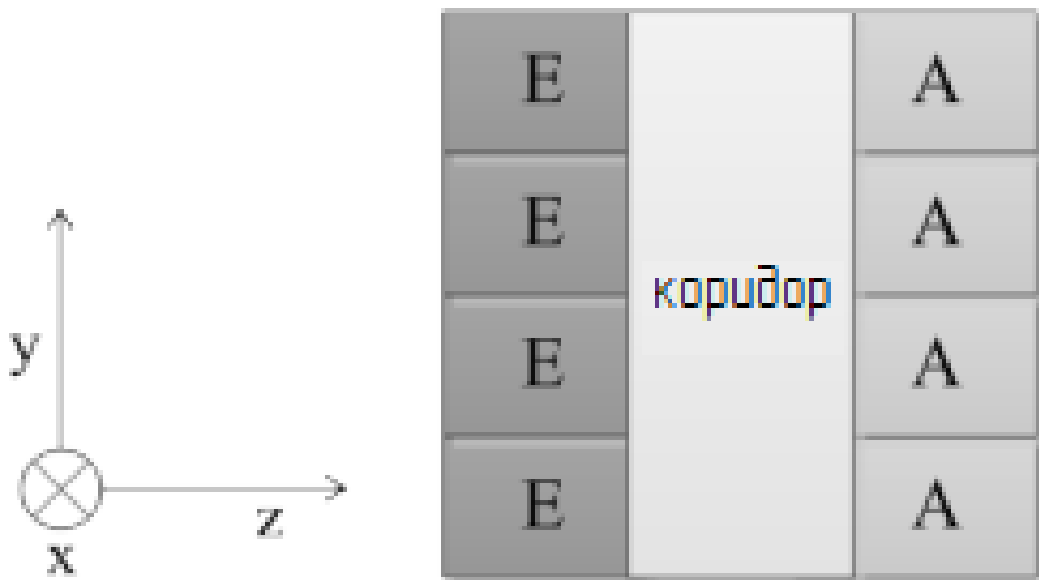
Рисунок 7 – Тривимірний вигляд система з двома підйомниками на прохід

Послідовність руху для зберігання та вилучення описана нижче. Зберігання: підйомник забирає вантажну одиницю в точці зберігання. Підйомник переходить на рівень і доставляє вантажну одиницю до пункту передачі. Транспортний засіб-човник, розташований на рівні, забирає вантажну одиницю, а потім їде до вільного місця зберігання. Човник доставляє вантажну одиницю.

Видалення: транспортний засіб-човник на одному рівні їде до зайнятого місця зберігання та забирає звідти вантажну одиницю. У човникових системах із різною глибиною, щоб видалити приховану вантажну одиницю, транспортний засіб-човник спочатку переносить фронтальні вантажні одиниці у вільні місця зберігання на цьому рівні. Потім маршрутний транспортний засіб їде до пункту передачі з вантажною одиницею, яку потрібно вилучити зі зберігання. Човник висаджує вантажну одиницю в пункті передачі. Ліфт переходить на рівень і забирає вантажну одиницю з точки передачі. Підйомник рухається до місця знімання і доставляє туди вантажний блок.

Часто використовуються два домкрати на один прохід. Така система забезпечує найвищу пропускну здатність в порівнянні з іншими варіантами човникових систем. Це пов'язано з тим, що ступінь розв'язки горизонтального і вертикального транспортування вантажних одиниць значно вище, ніж в інших варіантах човникових систем.

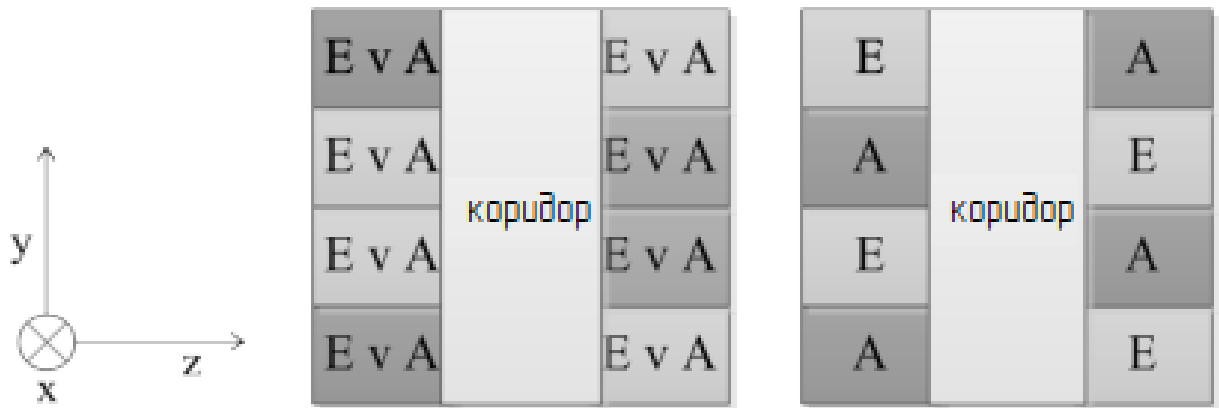
Якщо використовуються два підйомники, призначення точок передачі можна змінювати. На рис. 8 показано фіксоване призначення, яке призводить до формування парної роботи. Оскільки в кожному проході використовуються два підйомники, зберігання та вивезення все ще можуть виконуватися одночасно.



Е – місце передачі для зберігання, А – місце передачі для видалення

Рисунок 8 – Фіксоване призначення місць передачі в системі з чотирма рівнями зберігання, вид спереду

Рисунок 9 показує хаотичне та фіксоване почергове призначення, що призводить до хаотичного розподілу, що дозволяє ліфту використовувати кожне місце вільної передачі, щоб зайняти вантажну одиницю для зберігання, а транспортний засіб-човник використовувати кожне вільне місце передачі, щоб зайняти вантажну одиницю, яку потрібно вилучити зі зберігання.



Е – місце перенесення для зберігання; А – місце перенесення для видалення, Е v А – зберігання або пошук

Рисунок 9 – Призначення місць передачі, вид спереду, хаотичний розподіл ліворуч, фіксоване, змінне призначення праворуч

Транспортний засіб-човник має можливість змінювати рівні в системі човника, що базується на проходах (GG). Це стало можливим завдяки підйомникам, які перевозять човникові автомобілі. У директиві VDI 2692 вони називаються автомобільними домкратами [5]. На рис. 10 показаний тривимірний вигляд системи човників, пов'язаних з групою.

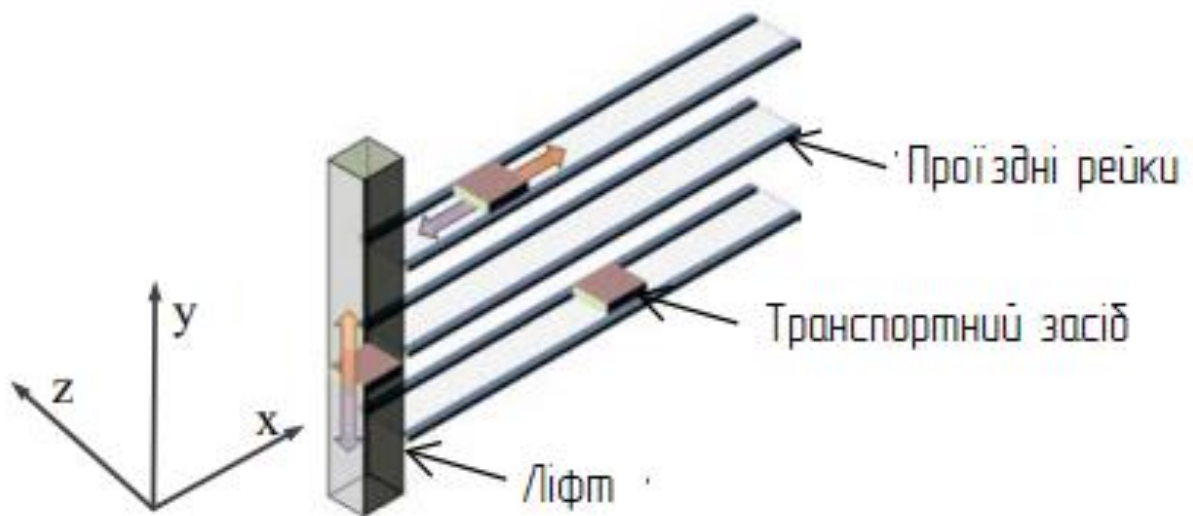


Рисунок 10 – Система човників із проходом, тривимірне зображення

ВИСНОВКИ. Човникові системи, пов'язані з проходом, досягають більшого успіху завдяки більшій залежності між підйомником і транспортним засобом-човником (транспортний засіб-човник потребує підйомника для кожного місця зберігання, аутсорсинг і кожна зміна рівня) зазвичай мають нижчу пропускну здатність, ніж системи човників між проходами та рівнями.

В роботі проаналізовані відомі рішення завантаження та сортування в автоматизованих логістичних системах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Klymenko, O., Demska, N., & Vzheshnievskiy, M. (2022). Evolutions of group management development of mobile robotic platforms in warehousing 4.0. Innovative technologies and scientific solutions for industries, (4 (18), 57–64.
2. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Klymenko, O., & Vzheshnievskiy, M. Analysis of Software Products for Simulation Modeling of the Operation of the System of Shuttles for Warehousing. Manufacturing & Mechatronic Systems 202: roceedings st International 2 P of VI 21 22 22 is Ed chief version 22 13, 24.
3. R. Irrgang, Skalierbar und vielseitig: Shuttles erobern alle Branchen, <http://www.materialfluss.de/forder-und-hebetechnik/regalbediengerate/skalierbar-undvielseitig-shuttles-erobern-alle-branchen>, Artikel vom 17.06.2016, Abruf der Website am 25.01.2018, 2016.
4. M. Diehn, Shuttlesysteme vs Regalbediengerate: Keine Frage des Geschmacks, <http://www.materialfluss.de/forder-und-hebetechnik/regalbediengerate/shuttlesystemevs-regalbediengerate-keine-frage-des-geschmacks>, Artikel vom 11.03.2015, Abruf am 25.01.2018, 2015.
5. Hebezeuge-Fördermittel, Regalbediengerät oder Shuttle?, https://www.hebezeugefoerderung.de/sites/default/files/Fachartikel/PDF/HF_2017_09_Regalbediengeratoder-Shuttle_.pdf, Artikel von 9/2017, abgerufen am 30.11.2018, 2017, S. 49.
6. J. Smith, Optimal Design and Performance Modelling of M/G/1/K Queueing Systems, Mathematical and computer modelling, Jg. 39, Nr. 9, 2004, S. 1049 - 1081.
7. X. Cai, S. Heragu und Y. Liu, Modeling and evaluating the AVS/RS with tier-to-tier vehicles using a semi-open queueing network, IIE Transactions, Jg. 46, Nr. 9, 2014, S. 905 - 927.
8. M. Epp, Performance evaluation of shuttle-based storage and retrieval systems using discrete-time queueing networks, Dissertation, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2017.
9. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*.
10. Yevsieiev V. Ecosystem Model of the Concept of Industry 5.0 / V. Yevsieiev // Digital innovation & sustainable development 2024 : Proceedings of I-st International Conference, November 15, 2024. - Kharkiv, 2024. - P. 12-13.
11. MAKSYMOMA, S., NEVLIUDOV, I., YEVSIEIEV, V., KLYMENKO, O., & VZHESHNIEWSKI, M. (2023). SHUTTLE-BASED STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM 3D MODEL IMPROVEMENT AND DEVELOPMENT. *Journal of Natural Sciences and Technologies*, 2(2), 232–237. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10354730>
12. Yevsieiev, V. ., & Gurin, D. . (2023). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE BASIC METHODS USED IN INDUSTRY 4.0 AND INDUSTRY 5.0. Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ», (September 29, 2023; Bologna, Italy), 113–115. <https://doi.org/10.36074/logos29.09.2023.31>
13. Automated Monitoring and Visualization System in Production / Lyashenko V., Abu-Jassar A. T., Yevsieiev V., Maksymova S. // Int. Res. J. Multidiscip. Technovation, 5(6), 09-18.
14. Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Bahlai, O. (2024, May). Balancing System For A Zoomorphic Spot Type Mobile Robot Development Using An Accelerometer MPU 6050 (GY-521). In *2024 IEEE 19th International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 39-42). IEEE.

Науковий керівник: Олександров Юрій Миколайович, професор, кандидат технічних наук, професор кафедри КІТАР Харківського національного університету радіоелектроніки