

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)

Оптимізація Shuttle-System (автоматизованих човникових систем)  
на великих промислових складах  
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи КІТПВм-21-1  
Карабін В. В.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 151 Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерно-  
інтегровані технологічні процеси і  
виробництва  
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Невлюдова В. В.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту  
Зав. кафедри КІТАМ

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Невлюдов І. Ш.  
(прізвище, ініціали)

2022р.

*Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.*

*«19» грудня 2022 р.*

*Карабін В.В.*

## ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
 Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки  
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
 Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
 Тип програми Освітньо-професійна  
 Освітня програма Комп'ютеризовані та робототехнічні системи  
 (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
 Зав. кафедри КІТАМ

\_\_\_\_\_  
 (підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Карабіну Владиславу Володимировичу  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація Shuttle-System (автоматизованих човникових систем) на великих промислових складах

Затверджена наказом по університету від 10.10.2022 р. № 740 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 23.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Функції системи для різних підрозділів складу (відділ алідації штрих-коду, відділ завантаження/розвантаження товару складської системи). Перелік використовуваних програмних засобів: ОС Microsoft Windows 10 та вище. Технічне забезпечення: ПК з МП Intel i5 та вище

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_  
Огляд предметної області та постановка задачі, застосування різних типів автоматизованих систем на складі, аналіз методів зчитування та відтовернення інформації, розробка рішень для вдосконалення ввиробничого складу, розробка структури алгоритмів системи складу, розробка програмного забезпечення, дослідження існуючих систем складу, рекомендації покращення складської системи за рахунок застосування існуючих технологій, тестування функціональності системи відносно персоналу

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (\*.pptx) – 10 с.

---

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на виконання кваліфікаційної роботи	15.09.22	виконано
2	Визначення актуальності роботи, мети, предмета, об'єкта, та розробка завдань для досягнення мети	20.09 – 30.09.22	виконано
3	Аналіз літературних джерел	01.10 – 20.10.22	виконано
4	Вибір середовища розробки	20.10 – 15.11.22	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	15.11 – 06.12.22	виконано
6	Охорона праці	07.12 – 10.12.22	виконано
7	Оформлення додатків	11.12 – 13.12.22	виконано
8	Оформлення графічного та презентаційних матеріалів комп'ютерного захисту	14.12 – 16.12.22	виконано
9	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichек	17.12-18.12.22	виконано
10	Подання роботи на рецензію	19.12.22	виконано
11	Подання роботи на підпис зав. кафедри	21.12.22	виконано
12	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	23.12.22	виконано

Дата видачі завдання 15.09.2022 р.

Студент \_\_\_\_\_ Карабін В. В.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доц. Невлюдова В.В.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	9
Вступ.....	10
1 Огляд і аналіз існуючих складських систем.....	11
1.1 Види існуючих складських систем.....	11
1.1.1 Shuttle-система.....	11
1.2 Вибір між АКЛ та складом транспортування.....	18
1.2.1 Класифікація у процесі планування системи планування складської системи.....	19
1.2.2 Структура та функціонування моделі рішення.....	‘9
1.2.3 Генерація системних альтернатив.....	20
1.3 Оцінка системних альтернатив у моделі рішення.....	23
2 Моделювання систем руху матеріалів.....	24
2.1 Основи матеріалу моделювання потоку.....	26
2.2 Абстракція.....	26
2.3 Перевірка та валідація.....	30
2.4 Висновки до другого розділу.....	32
3 Оптимізація автоматизованих човникових систем на великих промислових складах.....	34
3.1 Створення та категоризація списку параметрів.....	35
3.2 Конфігурація сховища.....	37
3.2.1 Геометрія ходи.....	39
3.2.2 Параметри полиці.....	41
3.2.3 Ємності.....	43
3.3 Кінематика.....	44
3.3.2 Витяг контейнера.....	45

3.3.3 Автомобільний домкрат	48
3.4 Енергетична модель	49
3.4.1 Маса	50
3.4.2 Коефіцієнти	50
3.4.3 Ефективність	51
3.4.4 Ефективність відновлення	51
3.4.5 Споживання енергії для вантажно-розвантажувального обладнання	52
3.4.6 Енергоспоживання у стані спокою	52
3.6 Стратегії зберігання	53
3.6.1 Параметри, що залежать від ситуації	54
3.7 Висновки до третього розділу	57
4. Охорона праці	65
4.1 Аналіз умов праці у лабораторії	66
4.2 Промислова безпека у лабораторії	66
4.3 Виробнича санітарія та гігієна праці	66
4.4 Пожежна безпека лабораторії	67
4.4 Висновки до четвертого розділу	69
Висновки	71
Перелік джерел посилання	72
Додаток А Відомість кваліфікаційної роботи	76

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 144 с., 44 рис., 5 табл., 4 дод., 31 джерел.

### АВТОМАТИЗАЦІЯ, ALK, SHUTTLE-SYSTEM, СКЛАДСЬКІ СИСТЕМИ, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.

Мета роботи – розробка моделі для оптимізації на великих промислових складах.

Об'єкт дослідження – процес оптимізації автоматизованих човникових систем на великих промислових складах.

Предмет дослідження – методи керування автоматизованих човникових систем на великих промислових складах.

Методи дослідження – теорія прийняття рішень, імітаційне моделювання, методи системного і логічного аналізу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

У кваліфікаційній роботі було проаналізовано об'єкт дослідження, обґрунтовано актуальність теми дослідження, складено технічне завдання на симуляцію системи. Була запропонована структурна та функціональна модель оптимізації Shuttle-System. За технічним завданням підібрано в симуляції модель. Створено симуляцію алгоритму роботи Shuttle-System. Створено імітаційну модель вирішення постановлених завдань. Модель симуляції успішно створена та протестована. Розглянуто питання охорона праці та безпека дослідницької діяльності. Оформлено пояснювальну записку згідно з рекомендаціями та вимогами ДСТУ 3008:2015 [1].

## ABSTRACT

Explanatory note: 70 p., 4 tables, 24 figures, 32 sources.

SHUTTLE-SYSTEM OPTIMIZATION, AUTOMATED SHUTTLE SYSTEMS, LARGE INDUSTRIAL WAREHOUSES, AKL-SYSTEM, WAREHOUSE OPTIMIZATION.

The object of research is Shuttle-System optimization processes in large industrial warehouses.

The subject of the research is means of optimizing the Shuttle-System in large industrial warehouses.

The purpose of the qualification work is to develop a simulation model of material movement systems in the Shuttle-System.

Research methods – systematic approach, methods of structural analysis, methods of design automation, methods of modern information technologies, testing the developed simulation for performance.

In the qualifying work, the research object was analyzed, the relevance of the research topic was substantiated, and the technical task for system simulation was drawn up. A structural and functional model of Shuttle-System optimization was proposed. According to the technical task, the model was selected in the simulation. A simulation of the Shuttle-System work algorithm was created. A simulation model for solving the set tasks was created. The simulation model has been successfully created and tested. The issue of labor protection and safety of research activity was considered. An explanatory note was drawn up in accordance with the recommendations and requirements of DSTU 3008:2015 [1].

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АСУ – автоматизована система управління;
- САПР – система автоматизованого проектування;
- AS/RS – automated storage/retrieval System (автоматизована система зберігання та пошуку);
- ShuttleSystem – автоматизовані човникові системи

## ВСТУП

За останні п'ятнадцять років автоматичні складські системи з Shuttle-System для горизонтальних і вертикальних транспортних вантажних одиниць значно збільшилися і широко використовуються в даний час в багатьох компаніях. Причиною для швидкого поширення є висока пропускна здатність, висока гнучкість, порівняно з крановими складськими та пошуковими машинами з підймальним і ходовим механізмом.

У багатьох реалізаціях вони мають більшу кількість транспортних засобів і тому бажані. Надмірність, яка позитивно впливає на пропускну спроможність і доступність усієї системи може вплинути на високу гнучкість човникових систем, виражається в різних комбінаціях.

Поєднання продуктивності та гнучкості дає простір для аналізу, різні стратегії зберігання. Порівняно з системами з підйомно-складськими машинами на базі крана кількість публікацій з цього приводу невелика. Як і раніше, існує потреба в дослідженнях стратегій, адаптованих до умов зберігання. Тому складська ситуація змінюється у зв'язку зі зміною вимог до складу, що значною мірою протягом дня або також сезонно може змінитися,

У розробленій спеціальній системі Shuttle є потенціал завдяки стратегіям зберігання. Задача полягає в тому, як завдяки симуляції досягти як найкращого варіанту виходячи з спроможності будь якого великого промислового складу, запобігаючи або затримуючи дороге розширення складу або інших непередбачених витрат.

Це призводить до вирішення такого завдання: з одного боку, важливо розробити стратегії зберігання, вивчити їхню гнучкість щодо зміни ситуації та, за необхідності, розробити стратегії, засновані на цьому. З іншого боку, завдяки створенню моделі і подальшої її симуляції, можливо вже на етапі моделювання і розробки зіштовхнутися з проблемами які б без цих кроків призвели б до дуже не бажаних витрат і подорожчання самої системи.

# 1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СКЛАДСЬКИХ СИСТЕМ

## 1.1 Види існуючих складських систем

Серед основних типів складських систем виділяють наступні:

- Shuttle-системи;
- АКЛ-системи.

### 1.1.1 Shuttle-система

Човникові системи часто використовують для зберігання одиниць невеликого об'єму, часто контейнерів з низькою та середньою вагою. Їх рідше використовують для зберігання піддонів. Горизонтальне переміщення вантажних одиниць забезпечується за допомогою човникових транспортних засобів. Шатли рухаються рейками, вбудованими у полицю. Системи шатлів показані на рисунку 1.1 зверху та збоку.

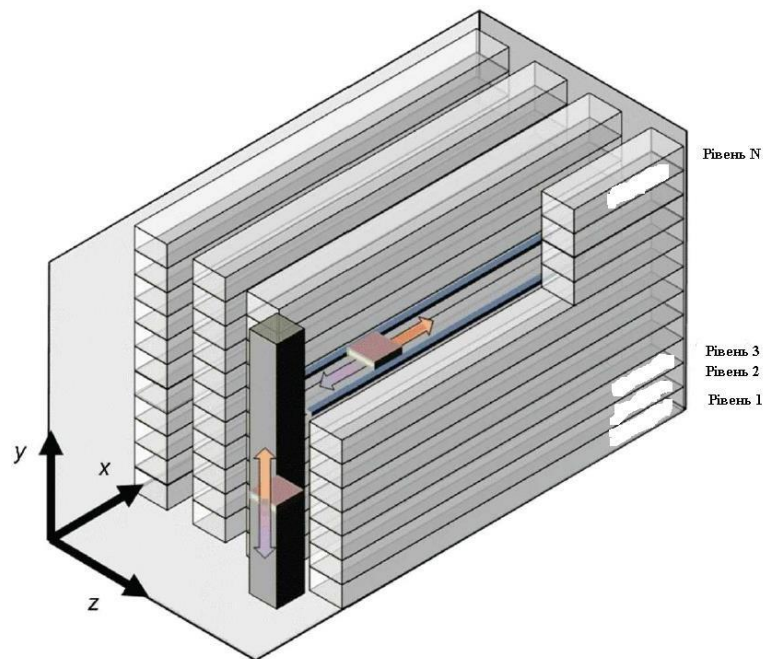
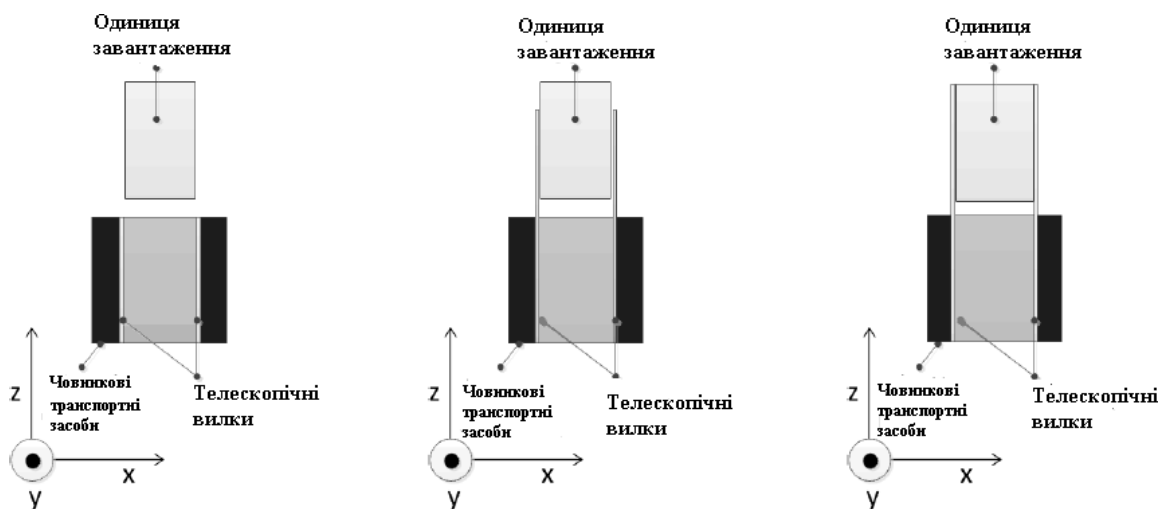


Рис 1.1 – Тривимірна схематична структура човникової системи з автомобільним домкратом

Навантажувальна одиниця піднімається та звільняється шляхом руху під, витягування/штовхання або захоплення телескопічними вилками [3] вантажно-розвантажувального пристрою, який постійно встановлений на транспортному засобі-човні. Метод захоплення дуже поширений. На малюнку 1.2 показано процес захоплення вантажу телескопічними вилами.



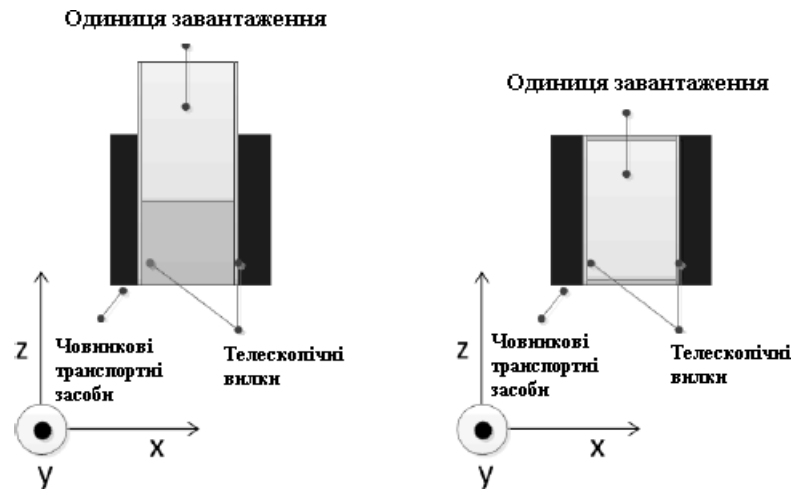


Рисунок 1.1.1. – Процес прийому вантажу для транспортного засобу-шатлу

Вертикальне транспортування здійснюється за допомогою домкрата. На основі домкрата здійснюється поділ системи на автомобільні домкрати та контейнерні домкрати. У першому випадку транспортний засіб транспортується у завантаженому чи ненавантаженому стані, в іншому – лише вантажна одиниця. У разі витягів транспортних засобів рівень човникового транспорту змінюється; у разі підйомників контейнерів транспортний вузол прив'язується до відповідного рівня.

Також можлива підйомна система, що складається з автомобільного домкрата, який транспортує тільки розвантажені човникові транспортні засоби з метою зміни рівнів, та підйомників контейнерів, що приймають транспортування вантажних одиниць. У системах підйомників контейнерів та комбінованих підйомних системах є точки перевантаження для оптимального проектування потоку матеріалу, в яких відбувається процес переміщення вантажних одиниць із горизонтального у вертикальне та наоборот. Це не обов'язково із системами автомобільного домкрата, оскільки завантажений транспортний засіб піднімається автомобільним домкратом для вертикального транспортування.

Ще одна особливість диференціювання – це можливість перемикати передачі. Полиця має поперечки, і конвеєрні механізми спроектовані відповідним чином, наприклад: В. регульовані колеса, човникові транспортні засоби можуть перемикати передачі. Такий Системи шатла, не залежні від

проходу, пов'язані з обмеженою годиною проекту і кошти не є предметом цього розслідування.

Директива VDI 2692 визначає автоматичні склади широкого призначення (AKL) як системи, які транспортують і зберігають вироби зазвичай у стандартних навантажувальних засобах (контейнерах, лотках, ящиках тощо) – в автоматизованому процесі. Крім того, склад широкого призначення типовий, завдяки використанню складських машин, зазвичай керованих за трьома осями для управління полицями. З іншого боку, важливою особливістю човникової системи є "значний поділ горизонтального та вертикального транспортування".

Зазвичай човникові транспортні засоби перебирають на собі горизонтальне транспортування, а також приймання та розвантаження вантажу, тоді як вертикальне транспортування здійснюється за допомогою ліфтів [5]. Товари, передані на аутсорсинг, транспортуються через конвеєрне з'єднання до однієї або кількох станцій комплектування, де відбувається фактичний процес комплектування (принцип передачі від товарів до людини) [6].

Метод міжфункціонального планування розподільчих центрів з використанням теорії графів. Для кожної функціональної області розподільчого центру, тобто надходження товарів, комплектації замовлень, пакування тощо враховуються різні технічні рішення, так звані базові модулі. Різні варіанти проектування розподільчого центру представлені з'єднанням окремих базових модулів у граф, для якої оптимальне з погляду витрат рішення у вигляді оптимального маршруту може бути визначено за допомогою алгоритму Дейкстри [6].

Процедура одночасного визначення планування складу та політики контролю використовується для визначення компонування в області ручного відбору. На основі заданих факторів ведення та вимог, таких як очікуваний попит на продукцію, складські потужності або виробничі потужності полягає в тому, щоб вибрати макет із найкоротшим часом комплектування. Конкретної конфігурації не зазначено, але до рішення включено різні технічні реалізації. Метод досліджує можливі реалізації, які є результатом комбінації. Стріла

човника описує зростаюче використання човникових систем у контексті внутрішньої логістики та виправдовує це розвиток постійно зростаючим асортиментом товарів і дедалі дрібнішими поставками. Завдяки своїй гнучкості, човникові системи особливо підходять для цих вимог. Обидві системні концепції мають своє значення, і неможливо дати загальну оцінку цим двом концепціям. Стріла човника використовує логістичну щільність потужності (співвідношення пропускної здатності та ємності сховища) як критерій вибору системи. Однорівневі човники між проходами рекомендують для складів із високою щільністю логістичної потужності, а багаторівневі човники або системи зі зміною проходів рекомендують для складів із низькою потужністю. Відповідно до стріли човника системи зберігання та пошуку знаходяться посередині і особливо підходять для вимог постійної пропускної здатності. а багаторівневі човники або системи зі зміною проходів рекомендують для складів із низькою потужністю. Відповідно до стріли човника системи зберігання та пошуку знаходяться посередині і особливо підходять для вимог постійної пропускної здатності. а багаторівневі човники або системи зі зміною проходів рекомендують для складів із низькою потужністю. Відповідно до стріли човника системи зберігання та пошуку знаходяться посередині і особливо підходять для вимог постійної пропускної здатності.

При виборі між двома системами, треба ставити добре обґрунтоване та докладне планування на передній план. Зокрема, слід брати до уваги критерії обсягів зберігання, необхідну продуктивність і майбутнє розвиток з погляду компонування, інвестицій та експлуатаційних витрат. Планування складу, зокрема, може виявитися вирішальним фактором – якщо це має вирішальне значення для місткості сховища, експлуатація системи шатла може призвести до збільшення інвестицій та експлуатаційних витрат до 30%. Рекомендацію для прийняття рішення, що ґрунтується на динаміці двох критеріїв (кількість замовлень та комплектів за годину – тенденція до системи човнику) та об'єму (кількість товарів та ємність зберігання – тенденція до класичної системи складування дрібних деталей).

Для складських приміщень із низькою пропускнуою спроможністю та великою місткістю, а також у зонах із важкими вантажами рекомендують крани-штабелери. Оскільки ці вимоги також будуть важливими в майбутньому, побачити, принаймні, безпечну нішу для цих систем. З іншого боку, рекомендують човникові системи для високодинамічних застосунків, де швидкість, мале споживання місця та гнучкість у обігу є ключовими. Проте, в цілому вигода для клієнта та загальна продуктивність логістичної системи перебувають на передньому плані, тому дуже важливим є цілісний погляд на всі вимоги, адаптовані до відповідного застосування. Хоча системи шатлів загалом мають більший потенціал для подальшого розвитку, системи SRM залишаються важливішими, не в останню чергу через їх технічну складність.

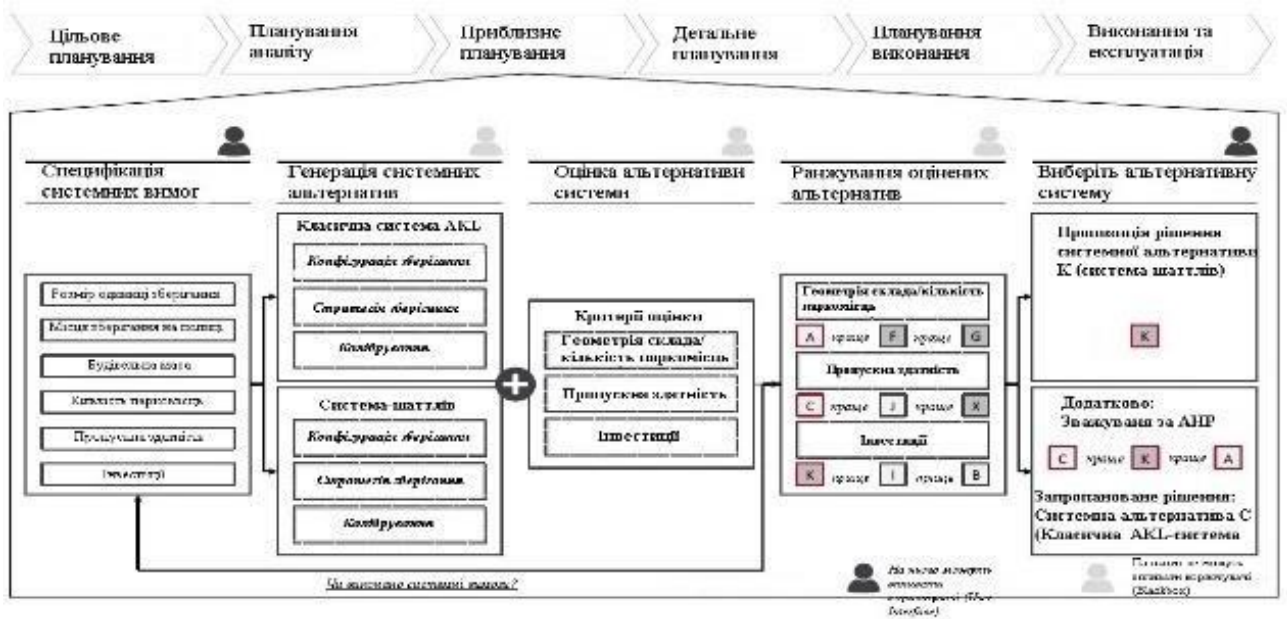
Існують три основні параметри для прийняття рішень: гнучкість логістичних процесів, середня очікувана пропускна здатність і можлива розширюваність логістичної системи. Рекомендують використовувати систему шатлів, якщо є реалістичні цілі зростання і підвищені вимоги до пропускнуої спроможності можуть бути задоволені за допомогою додаткових транспортних засобів шатлу.

Якщо логістичні процеси чітко визначені, денну пропускну здатність можна легко розрахувати, а якщо є місце для додаткових проходів, рекомендує використовувати систему AKL [7].

Комплексний метод планування для покращення планування автоматичних систем зберігання є альтернативою традиційній процедурі послідовного планування, в якій спочатку визначається грубе планування з ємністю складських приміщень, а на його основі розраховується вантажопідйомність. Щоб остаточно оцінити інвестиційні витрати можна використовувати цілісну модель планування, яка робить складне планування складом більш керованим з великою кількістю варіантів планування. Таким чином, необхідно скоротити обсяг робіт з планування, які залежать від знань і досвіду і в той же час можна буде знайти оптимальну продуктивність і вартість [7]. Загальна розроблена модель складається з трьох підмоделей, які

розраховують геометрію складу (включно з кількістю складських площ), продуктивність вантажно-розвантажувальних робіт та інвестиційні витрати для різних типів складів. Таким чином, генеруються чисельні альтернативи та розраховуються їх ключові показники (геометрія, кількість паркувальних місць, продуктивність вантажно-розвантажувальних робіт, інвестиції). Потім за допомогою функції оптимізації дається рекомендація щодо альтернативного сховища, що призводить до найменших інвестиційних витрат. Предметом цього дослідницького проекту є автоматичні складські системи з кранами-штабелерами, зокрема багатоярусні склади (AS\RS). Човникові системи не враховуються. Потім за допомогою функції оптимізації дається рекомендація щодо альтернативного сховища, що призводить до найменших інвестиційних витрат. Предметом цього дослідницького проекту є автоматичні складські системи з кранами-штабелерами, зокрема багатоярусні склади (AS\RS). Човникові системи не враховуються [9]. Потім за допомогою функції оптимізації дається рекомендація щодо альтернативного сховища, що призводить до найменших інвестиційних витрат. Предметом цього дослідницького проекту є автоматичні складські системи з кранами-штабелерами, зокрема багатоярусні склади (AS\RS). Човникові системи не враховуються [9].

На закінчення можна констатувати, що складність вибору між двома технічними версіями підкреслюється всіма авторами. Незважаючи на те, що окремі переваги та недоліки складських систем і шатлів для дрібних деталей повністю відомі та описані в літературі, все ще потрібні величезні зусилля з планування, щоб знайти системне рішення, адаптоване до індивідуальної ситуації та вимог замовника. Хоча розробники можуть ґрунтувати свій вибір системи на загальних рекомендаціях до дії, вибір однієї з двох альтернативних систем залишається індивідуальним та частично суб'єктивним рішенням.



Малюнок 1.3 – Структура, функціональність та класифікація моделі прийняття рішень у загальному процесі планування

Щоб полегшити та упростити процес планування, пропонує цілісний метод планування, який замінює послідовну процедуру. Однак цей метод планування не був розроблений для вибору системи між АКЛ та системою шатла, тому його не можна використовувати для розв'язання цієї проблеми. Однак його частично розглядають і розвивають під час розроблення моделі ухвалення рішень [9].

## 1.2 Вибір між АКЛ та складом транспортування

Прийняття рішень для вибору між складом дрібних деталей і складом-човником. Модель спочатку класифікується у процесі загального планування. Потім буде описано її структуру та функціонал, а також представлені варіанти створення системи. Розділ завершується описом оцінки згенерованих системних альтернатив.

### 1.2.1 Класифікація у процесі планування системи планування складської системи

Загальний процес планування складської системи складається із шести етапів процесу, завдяки яким можливий систематичний підхід від цільового планування до експлуатації складської системи. Кожен крок процесу складається з кількох кроків планування, які формують основу наступного кроку процесу.

Метою розроблюваної моделі рішення є підтримка користувача в процесі прийняття рішення шляхом оцінки та порівняння однієї або кількох альтернативних систем за допомогою відповідних критеріїв та факторів, що впливають. Таким чином, модель ухвалення рішення має бути призначена третьому етапу планування, приблизного планування. Після завершення цього етапу планування результатом буде обрана системна альтернатива.

### 1.2.2 Структура та функціонування моделі рішення

Розроблювана модель рішення складається з п'яти стовпів, які проходять зліва направо в процесі прийняття рішення (див. рис. 1.2). Перший і останній стовпці являють собою інтерфейси користувача, за допомогою яких користувач має можливість відкалібрувати модель і її функціональні можливості, а також ввести значення. Перший стовп визначає специфікації та цілі планування і, таким чином, відповідає цільовому плануванню.

Перший стовп моделі включає визначення користувача системних вимог. Тут, наприклад, можуть бути визначені розміри (ширина, висота, глибина) та мінімальна вантажопідйомність. Введені тут системні вимоги формують основу для порівняння системних альтернатив, створених у компоненті 2 та оцінених у компоненті 3. Варіанти, які не відповідають вимогам, більше не враховуються під час ранжирування (компонент 4).

Завдання другого стовпа створення системних альтернатив і, отже, визначення альтернативного простору. Генеруються як варіанти класичних

систем зберігання із системами зберігання та пошуку, так і варіанти човникових систем. Кожен варіант ґрунтується на трьох технічних параметрах, що впливають на конфігурацію зберігання, стратегію зберігання та визначення розмірів, відповідні форми яких визначають чітку системну альтернативу.

У третьому компоненті згенеровані системні альтернативи оцінюються з допомогою трьох підмоделей. Для цього в першій частковій моделі обчислюються два показники: геометрія складу та кількість складських площ, які розраховуються на основі системних вимог, емпіричних значень із практики, конфігурації складу та розмірів. Друга підмодель обчислює продуктивність обробки, тобто максимальну кількість процесів зберігання та/або пошуку одиниць зберігання в одиницю часу. Третя підмодель нарешті розраховує інвестиційні витрати альтернативної системи.

Після того, як всі альтернативи системи були оцінені за допомогою трьох критеріїв оцінки: геометрії складу та кількості паркувальних місць, пропускної спроможності та суми інвестицій, вони ранжуються в стовпці 4 згідно з відповідним критерієм. За допомогою останнього стовпця користувач може вибрати системну альтернативу, яка найкраще відповідає системним вимогам з урахуванням критерію оцінки, що розглядається. Як альтернатива користувач може зважити кращу альтернативу в рамках критерію оцінки за допомогою процесу аналітичної ієрархії (АНР), методу підтримки прийняття рішень за кількома критеріями. За допомогою цього методу користувач може враховувати особисті переваги при прийнятті рішення.

### 1.2.3 Генерація системних альтернатив

Генерація системних альтернатив служить визначення альтернативного простору моделі рішень. Проектування складів дрібних деталей та систем шатла характеризується безліччю ступенів свободи, різні характеристики яких призводять до різних системних альтернатив.

Ступені свободи можна поділити на три підгрупи. Конфігурація складу визначає фізичну структуру складу, а стратегія складу використовується визначення операційних процесів складської системи. Розміри включають всі ступені свободи, щоб охарактеризувати розширення підшипника у трьох просторових напрямках. Можливі форми цих трьох підгруп залежать від того, чи це буде склад дрібних деталей або система шатлів. Їх короткий опис наводиться нижче.

Конфігурація складу для класичної складської системи дрібних деталей із кранами-штабелерами включає шість параметрів, а система шатла – п'ять параметрів. Застосовуються параметри конфігурації глибини зберігання (одинарна глибина до шести глибин), кількість вантажно-розвантажувальних пристроїв (LAM) на SRM або човниковий транспорт та ширину LAM (одинарної чи подвійної ширини). до обох систем зберігання.

Для систем AKL кількість та розташування точок передачі, а також зона дії системи зберігання та пошуку є додатковими параметрами конфігурації. Модель обмежена тим, що дозволено лише системні альтернативи з двома точками передачі (точка зберігання та точка вилучення). Вони розташовані в кутку на передній частині полиці. Зона дії SRM обмежена одним проходом (SRM з проходу).

Конкретні параметри конфігурації човникових систем - це тип і розташування підйомників, що використовуються. Що стосується розташування витягів, модель рішення обмежена варіантами, в яких всі підйомники розташовані на одній стороні полиці. Модель розрізняє різні типи витягів (підйомники для транспортних засобів або контейнерів), кількість яких, однак, обмежена одним підйомником для транспортних засобів на кожен прохід полиці або двома підйомниками для контейнерів на прохід полиці.

Операційні процеси у системі зберігання можна організувати з допомогою стратегій зберігання. Її мета – реагувати на вимоги та потреби у галузі видобутку та переробки (наприклад, надходження товарів, виробництво, відвантаження). Незалежно від вибору системи, можна розрізнити стратегії

зберігання проходів і проходів. Модель прийняття рішень передбачає рівномірний розподіл елементів проходів для стратегій переходу між проходами, а також вільну послідовність для процесів зберігання і вилучення. І те, й інше спрощує розрахунок часу роботи складських та пошукових машин та транспортних засобів-шатлів, оскільки можна припустити, що проходи незалежні. У рамках стратегій зберігання, пов'язаних з проходами, модель прийняття рішень розрізняє поодинокі ігри (ігри з чистим зберіганням або пошуком) та подвійні ігри.

Передбачається, що AS/RS завжди буде повертатися до точки введення-виводу. У випадку човника вибір підйомної системи впливає на тип гри. Як правило, системи шатлів, в яких використовуються контейнерні витяги, працюють з індивідуальними іграми, оскільки для кожного проходу є один витяг для зберігання та вилучення. З іншого боку, човникові системи з автомобільними витягами зазвичай працюють із подвійним циклом, щоб зменшити кількість порожніх поїздок.

Розміри складу визначають розміри складу на основі параметрів довжини, висоти та глибини полиць, що використовуються. Ці параметри визначають загальну кількість складських місць і, отже, місткість складу. Щоб обмежити альтернативний простір моделі прийняття рішень, кількість проходів для зберігання, які можуть бути створені за допомогою моделі, обмежена п'ятьма. Крім того, дозволено лише альтернативи, коли висота полиці не перевищує ширину.

В цілому, поєднання всіх характеристик підгрупи конфігурації складу, складської стратегії та розмірів складу призводить до альтернативного простору з 6075 можливостей для складу дрібних деталей та 3150 можливостей для систем шатла. Таким чином, модель прийняття рішень вибирає із 9225 системних альтернатив на основі індивідуальних вхідних даних користувача.

### 1.3 Оцінка системних альтернатив у моделі рішення

Для оцінки згенерованих альтернативних систем спочатку визначають кількісно, тобто. визначають з урахуванням кількості паркувальних місць, продуктивності вантажно-розвантажувальних робіт та інвестицій. У разі використання моделі системні вимоги, введені користувачем, порівнюються з кількісними альтернативами. Для кожної потенційно можливої альтернативи перевіряється, чи відповідає вона критеріям з погляду геометрії складу та кількості складських площ, пропускної спроможності та рівня інвестицій. У цьому випадку це вважається допустимою альтернативою і включається до попереднього відбору можливих альтернатив. Потім вибирається найкраща альтернатива з набору всіх затверджених альтернатив для обох варіантів системи (склад дрібних деталей та система шатла) відповідно до наступної логіки для кожного з трьох критеріїв:

Геометрія сховища – виберіть варіант, кількість паркувальних місць якого найменше перевищує кількість місць, зазначених як вхідні дані.

Пропускна здатність – виберіть альтернативу, яка забезпечує максимально можливу пропускну здатність.

Сума інвестицій – виберіть варіант із найменшими капітальними витратами.

Щоб дійти остаточної оцінки, використовуються два методи, результати яких відображаються користувачеві в інтерфейсі користувача одночасно.

Менш складний метод – це чиста пріоритезація критеріїв: користувач може вибрати той, який йому підходить, із трьох критеріїв: геометрії складу та кількості складських місць, пропускної спроможності та інвестицій має найвищий пріоритет. Як описано вище, модель рішення визначає шість допустимих системних альтернатив, кожна з яких обіцяє найкращий вираз трьох критеріїв обох варіантів системи. Ґрунтуючись на пріоритезації користувача, модель рішення обирає системну альтернативу, яка найкраще працює при парному порівнянні.

У другому підході використовується багатокритеріальний процес прийняття рішень, процедура якого ґрунтується на аналітичному процесі ієрархії (АНР). АНР – це процедура, яка з обмеженою кількістю альтернатив (дискретний простір рішень) пропонує можливість визначення ваги критеріїв на основі власних переваг та умов [6].

Процедура розділена на три етапи, які виконуються наступним чином: На першому етапі проводиться комплексне порівняння трьох критеріїв оцінки геометрії сховища та кількості паркувальних місць, пропускної спроможності та суми інвестицій. Тут користувач може визначити попарно для всіх критеріїв оцінки за дискретною шкалою, чи є критерій еквівалентним, чимось, що означає, значно важливішим або абсолютно домінуючим порівняно з іншими критеріями. В результаті виходять ваги, що відображають важливість трьох критеріїв оцінки.

На другому етапі проводиться цілісне порівняння трьох обраних альтернатив за окремим критерієм оцінки. Результатом є дев'ять додаткових ваг, які показують розподіл між критеріями оцінки та окремими альтернативами. Ці ваги є оцінкою користувачем того, наскільки добре альтернатива може бути оцінена з урахуванням критеріїв оцінки.

На третьому етапі методу АНР два попередні етапи об'єднуються шляхом формування зваженої суми для кожної альтернативи, яка пов'язує ваги, визначені на першому та другому етапі. Найкраща альтернатива – та, яка має найбільше очок.

#### **1.4 Висновки до розділу 1**

У даному розділі було проведено вибір системи через аналіз двох систем: AKL та Shuttle-System, їх структури та функції. Проаналізовано та визначено що саме Shuttle-System, є досить перспективнішою і популярнішою системою ніж AKL-System. Визначено що таке Shuttle-System. Розроблено завдання на моделювання симуляції Shuttle-System у вигляді технічних та функціональних вимог.



## **2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ РУХУ МАТЕРІАЛІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЧОВНИКОВИХ СИСТЕМ НА ВЕЛИКИХ ПРОМИСЛОВИХ СКЛАДАХ**

Системи матеріальних потоків необхідні кожній організації загалом і кожної компанії окремо. Основи моделювання матеріального потоку, методи абстракції, перевірки та валідації описані нижче.

### 2.1 Основи матеріалу моделювання потоку

Створення симуляції – це «реплікація системи з її динамічними процесами в експериментальній моделі з метою отримання результатів, які можуть бути перенесені на реальність». Модель тут – це «спрощена реплікація системи, яка створюється, тому що виконання в реальній системі є недоцільним або неможливим [9].

Переведені на системи шатлів, сфери застосування моделювання – це планування, реалізація та експлуатація з упором надалі на роботу систем шатлів. З реальної системи, створюється модель, де проводяться експерименти. За результатами цих експериментів можна зробити висновки для реальної системи, які змінюють реальну систему за допомогою їх реалізації, після чого, у свою чергу, може бути сформована модель, коли цикл починається знову. Це відомо як контур керування імітацією, див. рисунок 2.1.

Опробована та перевірена процедура налаштування дослідження моделювання наведена у VDI-3633. описано. Відповідно, на першому етапі проблема, яку необхідно вирішити, ставиться та аналізується.

Якщо в якості методу рішення вибрано моделювання, наступним кроком буде формулювання завдань та цілей та пов'язаної з ними оцінки витрат. Потім необхідні дані визначаються, обробляються та координуються як основна інформація для моделювання.

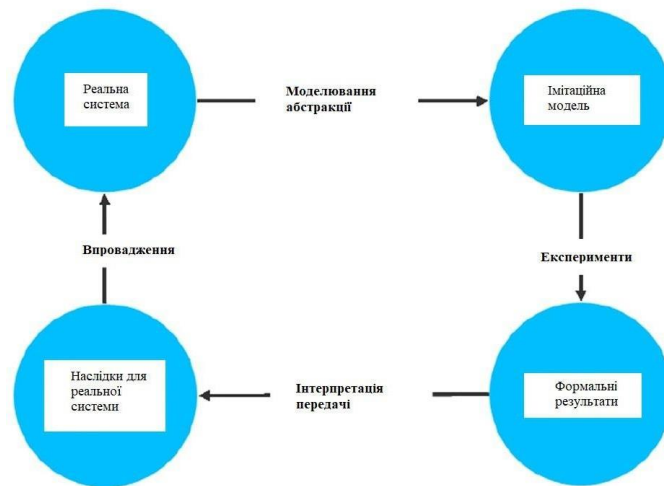


Рисунок 2.1 – Контур управління симуляцією.

Щоб уявити реальні системи моделі, необхідно диференційоване уявлення компонентів і елементів. Симулятори розрізняють тимчасові та постійні елементи у моделі або системі, див. рисунок 2.2.

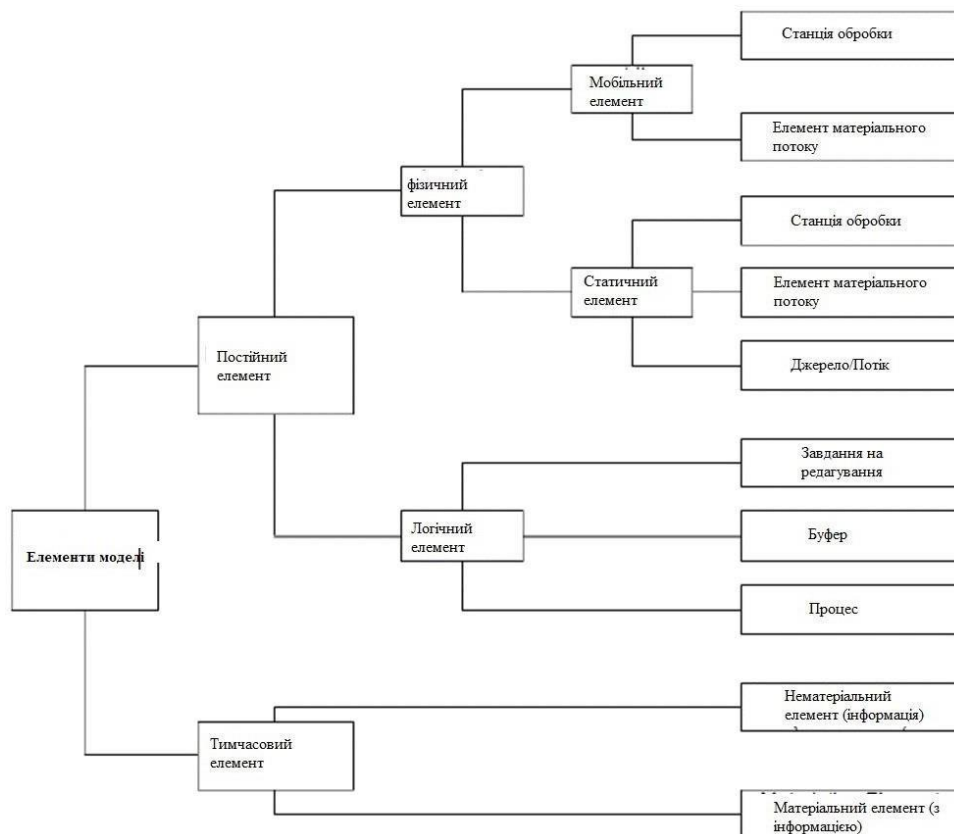


Рисунок 2.2 – Диференціація елементів моделі.

Для моделювання та експериментів на моделі використовуються дані реальної чи планової системи логістики актуальні.

Технічні дані:

- Макети, просторова геометрія;
- тип, кількість та розташування;
- кінематичні змінні (швидкість, прискорення, позиціонування та час перемикавання, час зв'язку).

Параметри процесу:

- Місткість, доступність.

Дані про виробництво та продукцію:

- Заовлення, статті, асортимент;
- Маса, обсяг, вік, тощо;
- обробка та пристої, дані про несправності;
- режими роботи та моделі змін.

Робочі параметри:

- Правила розміщення;
- правила або стратегії контролю;
- стратегії розподілу дискового простору;
- обмеження продуктів (виробничі процеси, можливості штабелювання, тощо).

Імітаційна модель створюється та перевіряється на основі цих даних. На рисунку 2.3 показані методи перевірки та підтвердження. Детальний опис кожного методу можна знайти у [7].

Якщо імітаційна модель узгоджується з бажаним зображенням, експерименти проводяться на основі змін параметрів та їх результати аналізуються.

Якщо результати моделювання є задовільними з погляду сформульованих цілей, наступним кроком буде перевірка того, чи сприяло проведенне імітаційне дослідження новим питанням. Якщо вони незадовільні з погляду сформульованих цілей, перевіряється зміна завдання. Якщо поставлені завдання

та поставлені цілі мають бути змінені, завдання та мета знову формулюються з відповідною оцінкою витрат, яка потім моделюється з використанням вже описаного методу. Якщо ці завдання та поставлені цілі не підлягають змін, ініціюється розробка нових альтернатив, які вимагають визначення, обробки та узгодження нових даних. Потім імітаційне дослідження триває описаним шляхом з коригуванням і перевіркою моделі.

**Поетапні результати процесу моделювання**

<b>V&amp;V- Техніки</b>	Цільовий опис	Специфікація завдання	Концептуальна модель	Формальна модель	Виконувана модель	Результати моделювання	Необроблені дані	Підготовлені дані
Анімація								
Оцінка	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Перевірка розмірів				◆	◆	◆	◆	◆
Тест на валідність події					◆			
Перевірка фіксованого значення				◆	◆	◆		
Граничний тест				◆	◆	◆		
Мониторинг					◆	◆		◆
Настільний тест	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Аналіз чутливості					◆	◆		◆
Статистичні методи					◆	◆	◆	◆
Структурована інструкція	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Випробування часткових моделей					◆	◆		
Аналіз слідів			◆	◆	◆			
Тест Тюрінга					◆			
Графік причин і наслідків					◆			◆
Перевірка в діалозі			◆	◆	◆			
Перевірка прогнозів	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Порівняння з іншими моделями					◆			
Порівняння із записаними даними					◆	◆		

Малюнок 2.3 Можливість використання методів V&V під час моделювання.

Якщо на всі питання були надані відповіді на питання моделювання, результати моделювання використовуються у процесах прийняття рішень. Якщо виникають нові питання, виконується нова перевірка того чи слід змінювати завдання, цим запускається новий цикл вже описаних кроків. Блок-схема цієї процедури показано малюнку 2.4.

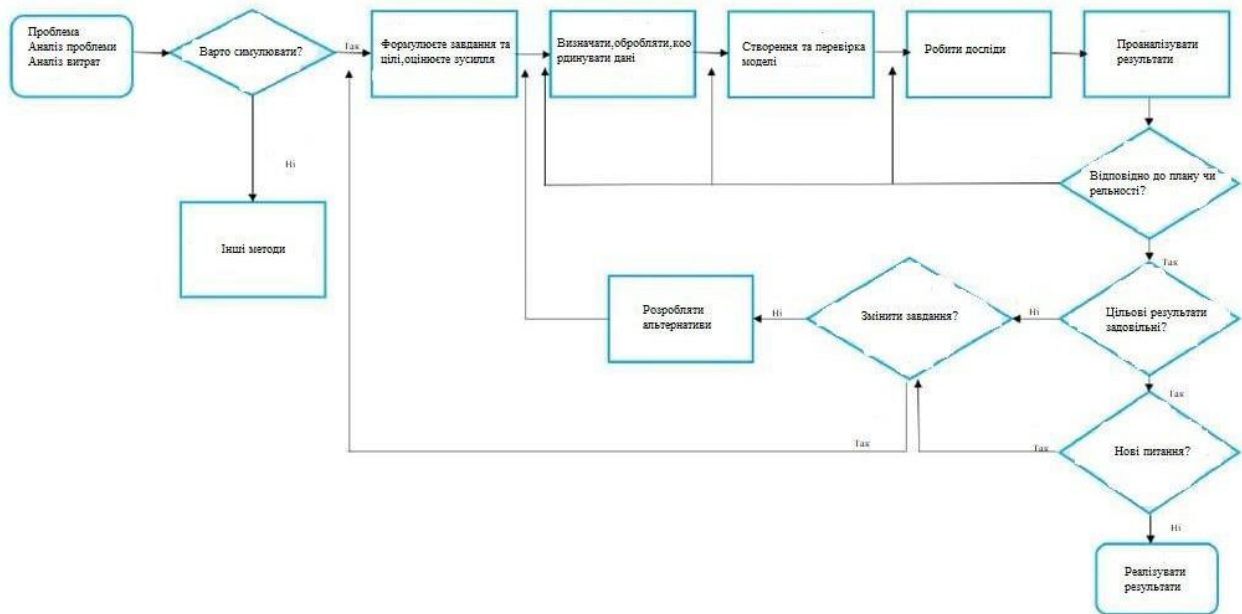


Рисунок 2.4 – Рекомендована процедура проведення імітаційного дослідження.

Насправді цей підхід виявився надійним і ефективним з погляду оптимального використання ресурсів. Передумовою для цього є те, що планувальнику дається можливість приймати до уваги всі питання і що їх кругозір досить широкий, щоб знайти відповідні інструменти для вирішення кожного питання, що виникає.

## 2.2 Абстракція

VDI-3633 визначає абстракцію як метод зменшення складності проблеми шляхом поділу деталей проблеми, які є важливими і не важливими для певних

аспектів вирішення проблеми. У контексті дослідження моделювання, як показано на малюнку 9, абстракція відбувається на етапі визначення проблеми. Для базового розуміння проблеми приймаються рішення, які системні властивості є важливими, а які – незначними. Система концептуально абстрактна.

Реалізація системи в моделі включає дві тісно пов'язані дії:

Аналіз (дозвіл, розтин з метою уточнення, вивчення індивідуальних особливостей)

Абстракція (узагальнення, вилучення спільного з приватного, ігнорування несуттєвого, відокремлення від мети, вилучення істотного із випадкового).

За допомогою системного аналізу складність системи розбивається відповідно до цілей дослідження шляхом відповідної розбивки на її елементи (структурування). Це можна зробити двома способами (Рисунок 2.5):

- низхідний підхід (деталізація на основі цілого);
- підхід знизу вгору (починаючи з деталей, синтезуючи крок за кроком).

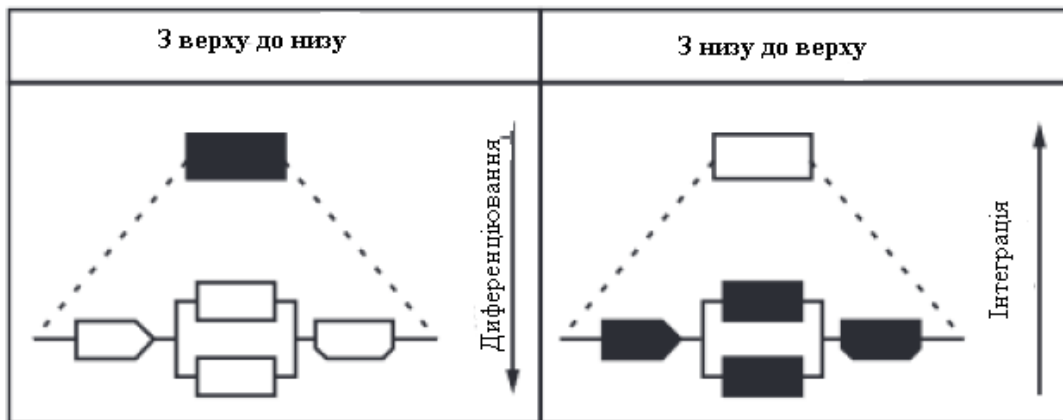


Рисунок 2.5 – Підходи до системного аналізу.

У той самий час конкретні характеристики системи скорочуються з допомогою абстракції настільки, що створюється образ системи, обмежений лише основними елементами. Абстракція складається з двох елементарних

процедур, а саме: редукція (недогляд неважливих деталей) та ідеалізація (спрощення незамінних деталей).

На додаток до рівня абстракції рівень деталізації є мірою точності відображення при реалізації системи в моделі. Чим вище рівень деталізації, тим вище вартість імітаційного експерименту. Якщо проблема змінюється під час моделювання, то рівень абстракції адаптується до поточних обставин. Це означає, що абстракцію слід розуміти як діяльність, що характеризує процес моделювання.

### 2.3 Перевірка та валідацію.

Перевірка та валідацію також супроводжують усі етапи моделювання. Вони спрямовані на перевірку правильності та придатності результатів фази. VDI-3633 визначає верифікацію, як виконання формальних тестів на правильність імітаційної моделі. Згідно з цим валідація – це також перевірка достатньої згоди між моделлю та системою, яка призначена для забезпечення того, щоб модель досить точно і без помилок відображала поведінку реальної системи щодо цілей дослідження.

Імітаційна модель завжди знаходиться в області протиріччя між складністю аналізованої системи та високими вимогами до точності опису цієї системи. Імітаційна модель створюється за допомогою програмного забезпечення для моделювання. Процес створення підлягає постійному контролю. Синтаксис, який також підтримується компілятором, вбудованим у програму моделювання.

Цей постійний процес перевірки називається перевіркою структури моделі. Перевірка гарантує, що основні властивості системи містяться у моделі. Оскільки через абстракцію не всі аспекти та впливи можуть бути прийняті до уваги, узгодження моделі із системою може бути досягнуто лише в межах діапазону допуску, який вказаний як прийнятний.

Перевірка зазвичай відбувається як ітеративна перевірка кожного кроку реалізації системних властивостей моделі. Відповідність поставленим цілям та ключовим даним перевіряється залежно від конкретної проблеми. Часткові результати, у свою чергу, використовуються для того, щоб поставити під сумнів корисність та здійсненність поставлених цілей. Якщо моделюються випадкові процеси, необхідно заздалегідь перевірити, чи теоретична функція розподілу випадкової величини фактичного розподілу в реальній системі, що лежить в основі. Якщо система, що досліджується, дійсно існує, результати моделювання слід порівняти з фактичними даними та відповідним чином скоригувати вхідні параметри. Якщо реальна система планується заново, необхідно використовувати емпіричні значення про повні або часткові аспекти нової системи.

Під час відображення динамічних процесів корисна візуалізація результатів моделювання. З системними експертами можна проконсультуватися зі складних питань у межах перевірки особи, що може полегшити виявлення структурних чи параметричних помилок моделі. Тривалість моделювання досліджуваних процесів може бути збільшена за межі запланованої тривалості для кращої оцінки. Якщо припущення про систему робляться спочатку, їх впливом геть характеристики системи, підлягають оптимізації, необхідно досліджувати шляхом зміни припущень.

Якщо імітаційної моделі має бути згенеровано випадкове число, результатом симуляції буде випадкова величина. Генератори випадкових чисел працюють із використанням початкових значень. Якщо імітаційна модель завжди починається з одних і тих самих початкових значень, кожен прогін дає той самий результат, який відрізняється від реального, невідомого результату через випадкову генерацію. Якщо початкові значення зміняться, відповідні результати моделювання будуть розкидані навколо невідомого результату. Якщо на основі результатів моделювання мають бути зроблені статистично надійні твердження про невідомий дійсний результат, необхідно виконати мінімальну кількість прогонів моделювання з різними початковими значеннями.

В принципі, чим більше кількість прогонів моделювання з різними початковими значеннями, тим надійніше затвердження моделювання про справжній результат через випадкову генерацію в програмному забезпеченні моделювання. Порівняльні оцінки з емпіричними значеннями та, при необхідності, цільові аналізи можуть додатково підтвердити надійність результатів моделювання. При цьому враховуються вимоги щодо забезпечення якості імітаційних досліджень як надійного інструмента оптимізації для системного аналізу.

#### 2.4 Висновки до розділу 2

У даному було запропоновано модель симуляції та імітаційне дослідження. Проаналізовано модель симуляції з різними вихідними даними а саме: технічні дані, параметри процесу, дані про виробництво та продукцію, робочі параметри. Завдяки симуляцію було проведено перевірку та валідацію імітаційної моделі.

### **3 ОПТИМІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЧОВНИКОВИХ СИСТЕМ НА ВЕЛИКИХ ПРОМИСЛОВИХ СКЛАДАХ ПО ПЕВНИМ ПАРАМЕТРАМ**

#### **3.1 Створення та категоризація списку параметрів**

Список параметрів містить у структурованій формі параметри, необхідні визначення вимог до пропускної спроможності та енергії шаттла. Для визначення необхідних даних використовувалися креслення САПР, публікації в Інтернеті від компаній-партнерів та неопубліковані дані від відповідного виробника системи шатлу або її компонентів. При моделюванні потреби в енергії визначення коефіцієнтів опору тертя коліс транспортних средств-шаттлов можна використовувати існуючі результати досліджень. Дані про замовлення для реалістичного моделювання замовлень, що надходять, вимагалися через системи управління складами компаній-партнерів. Всі параметри, описані нижче, є певними змінними входними, які можуть бути оброблені імітаційною моделлю для запуску симуляції. Залежно від конкретної програми лише деякі параметри стосуються імітаційної моделі. У цьому випадку нерелевантні параметри не відображаються для користувача веб-сайту.

Щоб визначити систему човника, відобразити її у програмному забезпеченні для моделювання, врахувати зміни, що залежать від ситуації та показати пов'язані наслідки для відповідних показників та варіантів адаптації системи човника, створюються сім категорій параметрів. Вони показані у таблиці 3.1.

Докладне пояснення параметрів, що містяться в категоріях, з точки зору їх необхідності, функціональності та можливих обмежень припустимих значень, наведено у наступних розділах.

Таблиця 3.1 - Категорії параметрів

Опис	Зміст
Конфігурація сховища	Містить інформацію про тип використання шатла. Транспортні засоби та домкрати
Геометрія ходи	Містить інформацію про статику та стелаж човникової системи, а також про вантажопідйомність домкратів.
Кінематика	Містить інформацію про кінематичні розміри та час роботи човникових транспортних засобів та домкратів.
Енергетична модель	Містить інформацію щодо розрахунку споживання енергії під час експлуатації системи шатла.
Структура статті	Містить інформацію про кількість, тип складу та доступність предметів, які зберігатимуться та транспортуватимуться системою шатла.
Стратегії зберігання	Містить інформацію про стратегії зберігання у системі шатла.
Структура щоденного замовлення	Містить інформацію про розподіл наказів рух, які у систему шатла.

На додаток до впливів, які характерні для човникової системи, цей проект також повинен враховувати параметри, які в основному характеризують зону захоплення, розташовану нижче по потоку, для функції без якої можливості човникової системи не обійтись. Такими змінними є, наприклад, час обробки одиниці завантаження в зоні комплектації замовлення, після якої вона повертається в систему човника як замовлення накопичувача.

### 3.2 Конфігурація сховища

У цьому проекті досліджується система шатла, що складається з коридору. Інформація від вищих та нижчих систем враховується за допомогою вхідних параметрів. Розраховані результати можна аналогічно перенести будь-яку іншу передачу з такою самою конфігурацією параметрів. Системи шатлів, досліджені у цьому проекті, складаються з транспорту, пов'язаного з проходом, тобто шатли працюють лише в одному проході. Для човникового транспорту потрібно максимум одна вантажна одиниця. Підйомник контейнерів замовляє трохи більше трьох вантажних одиниць. Домкрат може замовити не більше одного транспортного засобу-шатлу.

Розглянуто три конфігурації зберігання шатлів:

- за проходами та за рівнем (системи підйому контейнерів),
- з проходу (автомобільні домкрати);
- комбіновані системи.

На малюнку 3.1 показано систему човника, що складається з двох підйомників контейнерів та одного автомобільного домкрата. Залежно від вибраної конфігурації зберігання використовуються лише підйомники контейнерів (прохідний та рівень), лише автомобільний підйомник (пов'язаний із проходом), або всі домкрати (разом взяті) використовуються. Домкрати завжди розміщуються попереду на початку проходу.

Системи човникових перевезень, у яких використовуються підйомники для контейнерів, мають точки перевантаження на кожному рівні, на яких підйомники для контейнерів та транспортні засоби-човники зберігають та витягують вантажні одиниці. Пункти передачі є сполучною ланкою між підйомниками контейнерів та транспортними засобами-шатлами. Місця передачі знаходяться на початку коридору, місцями передачі з лівого боку коридору можна керувати лише з лівого підйомника контейнерів, місцями передачі з правого боку лише з правого підйомника контейнера.

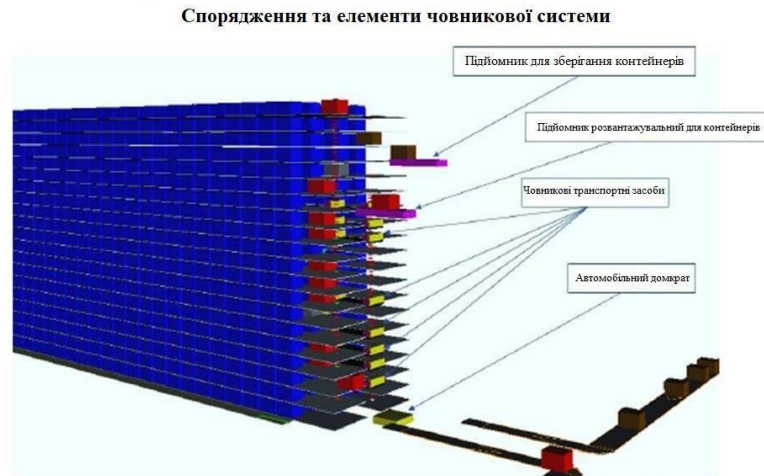


Рисунок 3.1 – Обстежений коридор та відповідні підйомні системи.

Шаттли можуть обслуговувати обидва пересадочні пункти на своєму рівні. Підйомники контейнерів можуть виконувати одиночний або подвійний цикл. Якщо проводяться парні ігри, точки передачі на кожній стороні по черзі визначаються як точки передачі для зберігання та вилучення. Кожен витяг контейнерів може зберігати та витягувати, як і будь-який шатл. На малюнку 3.2 показано поперединне використання точок передачі для зберігання та вилучення вантажних одиниць на прикладі точки передачі з правого боку проходу.

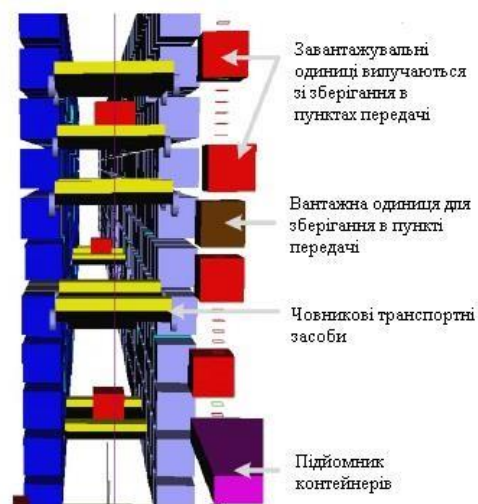


Рисунок 3.2 – Використання точок передачі парних ігор спортсмена

### 3.2.1 Геометрія ходи

Коридор як тривимірний об'єкт визначається геометричними параметрами. Зовнішні контури коридору (висота, довжина, глибина) параметризуються підкатегорії розмірів коридору. Внутрішня структура проходу утворює полицю. Це і розташування характерних точок, таких як точки зберігання та вилучення, показано на узагальнені в параметрах полиці підкатегорії. Максимальна кількість одиниць завантаження який може вмістити ліфтів та точок пересадки знаходиться в підкатегорії Ємності визначені.

Розміри проходу параметруються за допомогою коефіцієнтів:

- Довжина проходу;
- Глибина зберігання зліва;
- Глибина зберігання права;
- кількість рівнів;
- кількість човникових транспортних засобів;
- фактор рівня човника.

Під довжиною проходу зазвичай розуміється довжина транспортного маршруту для горизонтального руху на проході. Має сенс визначити практичні верхню і нижню межі для цього параметра і обмежити значення параметра верхньою межею 100 м. Довжина проходу включає лише довжину проїжджої частини в межах складських зон (і без зон перевантаження).

Глибина зберігання параметрів зліва вказує кількість вантажних одиниць, які можуть зберігатися одна за одною на лівій стороні проходу з погляду транспортного засобу-човника. У цьому контексті у спеціальній літературі йдеться про сховище каналів або багаторівневе сховище [11]. У цьому проекті досліджуються підшипники з максимальною подвійною глибиною. Це означає, що значення параметрів мають бути встановлені рівними одному для одинарної опори та двом для подвійної опори. Так само правильний параметр глибини зберігання використовується визначення правої сторони проходу. Цей тип параметризації дозволяє відображати асиметричні курси в залежності від

глибини зберігання: ліворуч – зберігання з однією глибиною, праворуч – зберігання з подвійною глибиною або навпаки.

Параметри кількість рівнів, кількість транспортних засобів-шатлів та коефіцієнт рівня шатла в штуках визначають, скільки вантажних одиниць може зберігатися одна над одною вздовж проходу. Передбачається, що у висоті одному рівні зберігається лише одне вантажна одиниця. Залежно від зміни сховища кількість рівнів який завжди слід прирівнювати до кількості транспортних засобів-шатлів. Тільки з системами підйому контейнерів кожен рівень завжди обслуговується одним і тим же транспортним засобом. І тут кількість рівнів визначається параметром Number of Shuttle Vehicles. У разі чисто автомобільних домкратів необхідно ввести параметр кількості рівнів, так і параметр кількості човникових транспортних засобів. У таких системах шатла кожен шатл може рухатися будь-яким рівнем залежно від стратегії зберігання. Комбінована підйомна система програмується шляхом визначення кількості рівнів, на які транспортний засіб може отримати доступ через автомобільний підйомник. Необхідний для цього параметр коефіцієнта рівня човника може мати максимальне три значення. Таким чином, шатл може обслуговувати не більше трьох рівнів один над одним. І тут кількість рівнів дорівнює кількості човникових транспортних засобів (коефіцієнт рівня човника). Максимально допустиме значення висоти коридору – 20 м-коду. Необхідний для цього параметр коефіцієнта рівня човника може мати максимальне три значення. Таким чином, шатл може обслуговувати не більше трьох рівнів один над одним. І тут кількість рівнів дорівнює кількості човникових транспортних засобів (коефіцієнт рівня човника). Максимально допустиме значення висоти коридору – 20 м-коду. Необхідний для цього параметр коефіцієнта рівня човника може мати максимальне три значення. Таким чином, шатл може обслуговувати не більше трьох рівнів один над одним. І тут кількість рівнів дорівнює кількості човникових транспортних засобів (коефіцієнт рівня човника). Максимально допустиме значення висоти коридору – 20 м-коду.

На малюнку 3.3 показаний приклад структури стійки, отриманої внаслідок заданих параметрів.

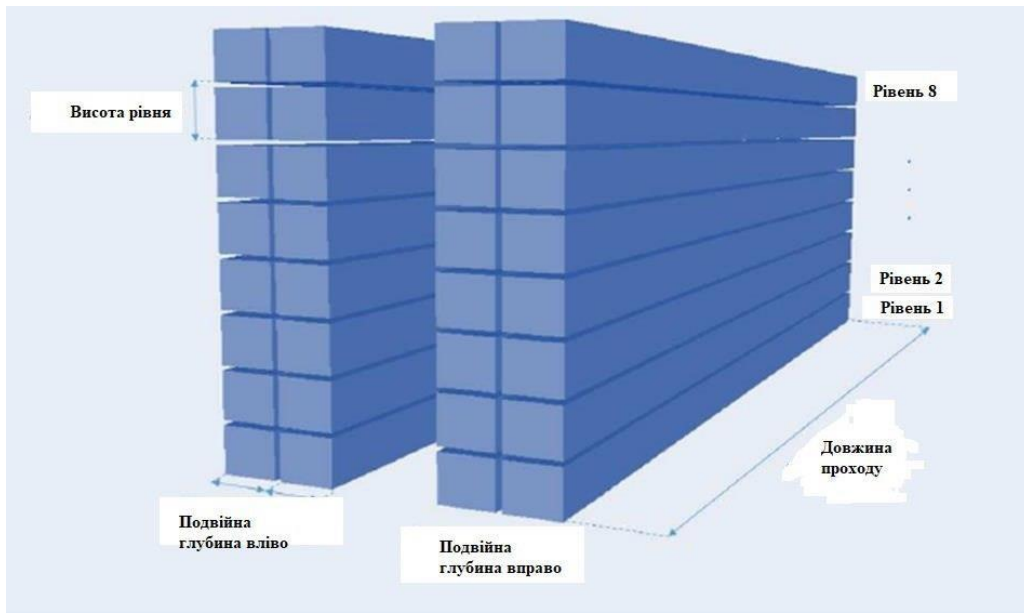


Рисунок 3.3 – Коридор подвійної глибини з обох боків, вісім рівнів

### 3.2.2 Параметри полиці

Полиця, яку розглядають у цьому проекті, складається з безлічі складських приміщень однакового розміру на різних рівнях. Просторовий розмір сховища може бути довільно налаштований користувачем. Він визначається просторовим розміром вантажної одиниці та всіма відповідними просторовими відстанями до сусідніх місць зберігання. Просторовий розмір вантажної одиниці параметризується шляхом введення параметрів:

- Довжина вантажної одиниці (по ходу руху човника) в мм;
- ширина вантажної одиниці (у напрямку руху вантажозахоплювального пристрою) у мм;
- висота вантажної одиниці (в напрямку руху домкрата) в мм.

Параметр відстань по горизонталі між двома вантажними одиницями мм визначає відстань між двома вантажними одиницями в напрямку руху

транспортного засобу-човника. В результаті довжина простору для зберігання у напрямку руху транспортного засобу-човна визначається як сума довжини вантажної одиниці та горизонтальної відстані між двома вантажними одиницями.

Параметр безпечну відстань по глибині мм визначає безпечну відстань між двома вантажними одиницями в напрямку руху вантажно-розвантажувального пристрою. В результаті виходить глибина складського приміщення у напрямку руху вантажно-розвантажувального пристрою як сума ширини вантажної одиниці та глибини безпечної відстані між двома вантажними одиницями. Між проходом та навантажувальною одиницею є велика безпечна відстань.

Параметр відстань по вертикалі між двома вантажними одиницями мм визначає відстань між двома вантажними одиницями в напрямку руху домкрата. Необхідно враховувати висоту компонентів офіційної полиці, які впливають на відстань по вертикалі між двома вантажними одиницями, наприклад, висоту перекладини, технологію спринклеру та безпечну відстань. В результаті висота складського приміщення (рівня) складається з висоти вантажної одиниці та вертикальної відстані між двома вантажними одиницями.

В імітаційній моделі відстані між вантажними одиницями завжди однакові. У разі систем човника, які через поперечини або інші умови конструкції іноді мають різні відстані між вантажними одиницями, можна ввести середні значення відстані. Тоді висота складу та довжина складу є реальними значеннями, і правильна кількість місць зберігання формується в імітаційній моделі.

Точка збереження положення параметра мм визначає положення, в якому одиниці вантажу передаються з сусідніх систем в систему човника. У разі човникових систем із підйомниками контейнерів підйомник піднімає вантажну одиницю у цьому положенні. У човникових системах з автомобільними домкратами транспортний засіб, що знаходиться на домкраті, піднімає вантажні одиниці у цьому положенні. Введення 1 означає, що точка зберігання знаходиться точно на рівні першого рівня човникової системи. Всі інші записи визначають відстань по вертикалі першого рівня. Наприклад, введення 800 мм

означає, що точка зберігання знаходиться на 0,8 м вище за перший рівень системи човника. Тому негативні значення виключаються. На малюнку 3.4 показаний приклад, у якому точка вилучення знаходиться на висоті першого рівня, а точка зберігання – на 0,8 м над ним.

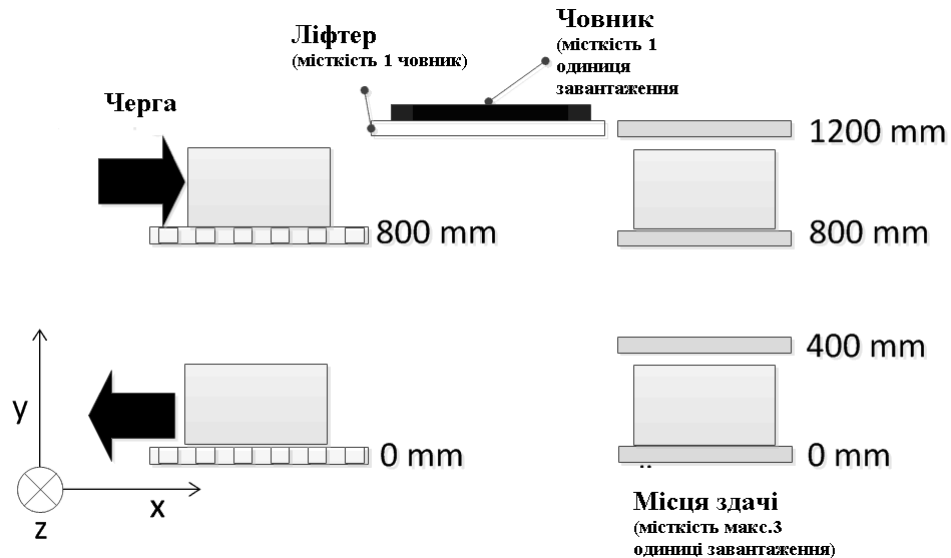


Рисунок 3.4 – Положення точки зберігання та вилучення

Параметр «положення точки видалення мм» визначає положення, в якому вантажні одиниці переміщуються від системи човника до суміжних систем. У разі човникових систем із підйомниками контейнерів підйомник звільняє вантажну одиницю у цьому положенні. У човникових системах з автомобільними домкратами транспортний засіб, що знаходиться на домкраті, доставляє вантажні одиниці до цього положення. Позиціонування таке саме, як і для параметра Точка збереження позиції.

### 3.2.3 Ємності

У системі човника з підйомниками контейнерів (тільки підйомники контейнерів або комбіновані) точки передачі утворюють інтерфейс між

компонентами вертикального руху, що виконуються підйомниками, і компонентами горизонтального руху, що виконуються транспортними засобами-човниками.

Параметр місткість точок передачі для зберігання в штуках визначає максимальну кількість одиниць завантаження на активний рівень, який може вмістити точки передачі на стороні зберігання. Значення параметра обмежені від однієї до трьох одиниць навантаження.

Параметр «ємність переміщення частинами» визначає максимальну кількість одиниць завантаження на активний рівень, яка може розмістити перенесення на стороні видалення. Аналогічно попередньому параметру, допустимі значення цього параметра обмежені від однієї до трьох одиниць навантаження.

Параметр «місткість складського витягу в штуках» визначає максимальну кількість вантажних одиниць, яка може одночасно підніматися підйомником і переміщатися вертикально. Має місткість двох або трьох вантажних одиниць, підйомник також може піднімати вантажні одиниці на різних рівнях до граничної вантажопідйомності.

Параметр місткості підйомника в штуках визначає максимальну кількість вантажних одиниць, які можуть бути переміщені від точок навантаження на рівнях до точки підйому. Параметри вантажопідйомності, аналогічно до параметрів перевантажувальних пунктів, також мають діапазони значень від однієї до трьох одиниць навантаження.

### 3.3 Кінематика

Рух транспортних засобів та вантажних одиниць у цьому проекті відбувається – відповідно до просторових умов проходження – у знайомих трьох вимірах. Моделювання горизонтального та вертикального руху, а також руху по глибині гарантується параметризацією кінематичних змінних, таких як швидкість, прискорення, уповільнення або час поглинання навантаження.

Параметри, що використовуються, розділені на категорії автомобілів і домкратів за основними габаритами пересування. Процеси вантажно-розвантажувального пристрою (LAM) описані у відповідній категорії через фіксоване підключення вантажно-розвантажувального пристрою до відповідного транспортного засобу. З одного боку, параметри, необхідні опису цих процесів, можуть бути включені в моделювання як постійний час або інформація від виробника. З іншого боку,

### 3.3.1 Транспортні засоби пересування

Параметр максимальна швидкість транспортних засобів-човників у м/с визначає досяжну швидкість транспортних засобів-човників. Чим вище технічно здійсненне значення цього параметра, тим більший вплив збільшення досяжної пропускної спроможності, особливо при значній кількості поїздок в задню частину проходу. На малюнку 28 показано два профілі швидкості на графіку  $v/t$ .

Параметр прискорення транспортних засобів-човників у м/с<sup>2</sup> визначає прискорення транспортних засобів-човників.

Параметр уповільнення транспортних засобів-човників у м/с<sup>2</sup> визначає уповільнення транспортних засобів-човників. Більшість човникових транспортних засобів спроектовані з однаковими значеннями прискорення та уповільнення, але є також човникові транспортні засоби з різними значеннями між прискоренням та уповільненням. Обидва значення постійні на заданому рівні.

Параметр "тривалість передачі" транспортного засобу-човника в секундах визначає тривалість передачі (прийому або висадки) вантажної одиниці в точці передачі на початку проходу. У багатьох реалізаціях передача навантаження до точки передачі відбувається швидше, ніж полиці.

Час передачі параметра завантажувальної одиниці в точці зберігання або вилучення транспортним засобом-шатлом в секундах визначає тривалість передачі завантажувальної одиниці від транспортного засобу-шатлу до сусідніх систем або від сусідніх систем до транспортного засобу-шатлу. Транспортний

засіб-шатл стоїть на автомобільному домкраті. Автомобільний домкрат знаходиться на місці зберігання або вилучення.

Час перемикання та позиціонування човникового транспортного засобу в секундах визначає тривалість перемикання та час позиціонування човникового транспортного засобу. Час перемикання та позиціонування відбувається наприкінці процесу гальмування човникового транспортного засобу. Настав час, поки шатл не досягне позиції з достатньою точністю. Потім вантаж можна піднімати або відпускати.

Параметризація обробника навантаження визначає тип параметризації навантажувача. Можливі значення параметра дорівнюють нулю або одиниці.

Нуль означає, що вантажопідйомне обладнання параметризується шляхом введення прискорення, уповільнення, швидкості (у кожному випадку в завантаженому та ненавантаженому стані) та періоду часу для підйому або опускання вантажної одиниці. Це визначає час, який потрібно вантажній одиниці, щоб прийняти/зняти навантаження. Перший означає, що параметризація вантажозахоплювального пристрою виконується шляхом введення необхідного часу одинарного і подвійного прийому/доставки вантажу.

Якщо параметризації вантажозахоплювального пристрою надано нульове значення, релевантні параметри, описані нижче:

- параметр максимальна швидкість вантажопідіймального пристрою без навантаження в м/с визначає максимальну швидкість вантажопідйомного пристрою, коли він не завантажений;
- параметр прискорення оброблювача навантаження не завантажено у м/с<sup>2</sup> визначає прискорення оброблювача навантаження у ненавантаженому стані;
- параметр гальмування обробника навантаження не завантажено у м/с<sup>2</sup> визначає уповільнення обробника навантаження у ненавантаженому стані.
- параметр максимальна швидкість вантажопідйомного пристрою, завантаженого в м/с, визначає максимальну швидкість вантажопідйомного пристрою під час завантаження;

- параметр прискорення завантаженого обробника навантаження на  $m/s^2$ , визначає прискорення обробника навантаження під час завантаження;
- параметр уповільнення оброблювача навантаження, завантаженого в  $m/s^2$ , визначає уповільнення оброблювача навантаження під час завантаження;
- параметр тривалість для встановлення або підйому  $s$  визначає час для встановлення або підйому одиниці вантажу вантажопідйомним пристроєм у стійку або зі стійки.

Час прийому вантажу залежить від часу, який потрібно вантажно-розвантажувальному пристрою, щоб дістатися місця зберігання і назад, і часу, необхідного для встановлення та підйому вантажної одиниці. Час, необхідний для переміщення вантажно-розвантажувального пристрою туди й назад, залежить від кінематичних параметрів (прискорення та швидкість) у відповідному стані (завантажено, розвантажено) вантажно-розвантажувального пристрою та пройденої відстані. Кінематика описує рухи. Це включає з. Б. параметризація траєкторії, опис швидкості та прискорення (похідні), а також кінематичні залежності, які часто доводиться знаходити для вирішення проблем, е. Наприклад, коли колесо котиться, існує кінематична залежність між швидкістю кочення та кутовою швидкістю.

Приклад: якщо ширина вантажного блоку складає 500 мм, а безпечна відстань по глибині становить 100 мм, то вантажозахоплювальний пристрій покриває шлях 600 мм переднього місця для зберігання і шлях 1200 мм заднього місця зберігання. назад. Ці значення дійсні лише для однієї поїздки (у зворотному напрямку або у зворотному напрямку) пристрою підвіски вантажу.

Якщо параметризації вантажозахоплювального пристрою надано значення 1, релевантні параметри, описані нижче.

Параметр `time single-deep load pick-up in s` визначає час, необхідний прийому / доставки одинарної глибини.

Параметр `time double-deep load pick up in s` визначає час, необхідний прийому / доставки вантажу подвійний глибини.

Введений час (одинарна і подвійна глибина) включає наступний цикл - початок прийому вантажу - це момент, з якого транспортний засіб-човник зупинився в положенні для зберігання в напрямку руху транспортного засобу-човника. З цього моменту шатл готовий прийняти/вивантажити вантажну одиницю. Завантажувальна одиниця піднімається/вивільняється пристроєм для захоплення вантажу. Це можна зробити по-різному залежно від технології, що використовується. З того моменту, як вантажопідйомний пристрій повністю завершив свій рух і транспортний засіб-човник готовий попрямувати до нового місця зберігання, час для підбору вантажу закінчується. Час витримування навантаження подвійної глибини трохи вищий, ніж час витримки одинарної глибини, оскільки долається більша відстань. Цикл однаковий для обох часів.

Параметр, що встановлює енергоспоживання вантажно-розвантажувального обладнання, визначає, чи матиме споживання енергії місце, шляхом введення значень для процесу обробки навантаження або за допомогою моделі енергії. Нуль означає, що використовується модель енергії. У цьому випадку вже описані параметри Максимальна швидкість вантажопідйомного пристрою не завантажено, прискорення вантажопідйомного пристрою не завантажено, уповільнення вантажопідйомного пристрою не завантажено, максимальна швидкість вантажопідйомного пристрою завантажено, прискорення вантажопідйомного пристрою завантажено, уповільнення обробник навантаження завантажений енергоспоживання для процесу завантаження або розвантаження, тому користувачі мають можливість вводити специфічні для системи введення.

### 3.3.2 Витяг контейнера

Поділ домкратів на контейнерні та автомобільні домкрати відображає відмінності у функціях, характері, кінематичних можливостях і, якщо застосовно, інших характеристиках. Відповідно, окрема параметризація корисна. Щоб врахувати якнайбільше конфігурацій системи шатла, підйомники для

зберігання та вилучення також параметризуються окремо для роботи як підйомники для контейнерів. Це позначення застосовується, якщо конфігурації сховища були обрані одиночні ігри для формування сифонної гри. При створенні парних ігор обидва ліфтери можуть входити та виходити. Позначення слід розглядати лише як відмінну особливість, що дозволяє параметризувати підйомники по-різному:

- параметр максимальна швидкість підйомника у м/с визначає максимальну швидкість підйомника;
- параметр прискорення підйомника в м/с<sup>2</sup> визначає прискорення підйомника.
- параметр затримки підйомника в м/с<sup>2</sup> визначає затримку підйомника;
- параметр максимальна швидкість витягу сховища в м/с визначає максимальну швидкість витягу сховища;
- параметр «прискорення підйомника накопичувача м/с<sup>2</sup>» визначає прискорення підйомника накопичувача;
- параметр затримки підйомника накопичувача м/с<sup>2</sup> визначає затримку підйомника накопичувача.

Тривалість передачі параметрів підйомника в секундах визначає тривалість передачі (підйому або доставки) вантажної одиниці від підйомника в точці передачі на початку проходу або в точці повернення.

Тривалість передачі параметрів витягу сховища в секундах визначає тривалість передачі (забору або доставки) вантажної одиниці з витягу сховища в точці передачі на початку проходу або в точці зберігання.

### 3.3.3 Автомобільний домкрат

Автомобільний домкрат має такі параметри:

- Параметр максимальна швидкість автомобільного домкрата в м/с визначає максимальну швидкість автомобільного домкрата;

- параметр прискорення автомобільного домкрата  $m/s^2$  визначає прискорення автомобільного домкрата;
- уповільнення автомобільного домкрата в  $m/s^2$  визначає уповільнення автомобільного домкрата.

Час перемикання та позиціонування автомобільного домкрата в секундах визначає тривалість перемикання та час позиціонування домкрата. Час перемикання та позиціонування настає наприкінці процесу гальмування домкрата. Це час, доки домкрат не досягне положення з достатньою точністю, після чого можна буде піднімати або знімати вантажі.

### 3.4 Енергетична модель

Розробка ситуаційних стратегій зберігання для оптимізації енергоефективності, що імітує, в першу чергу вимагає розробки загальної моделі для розрахунку енергоспоживання системи шатла. Така модель має бути максимально точною та реалістичною при кількісному обліку споживання енергії, всі вже розроблені системи човника мають бути якомога більш всеосяжними та реалізовані у програмному забезпеченні для моделювання якомога простіше та економити комп'ютерний час, наскільки це можливо.

#### 3.4.1 Маса

Параметр маса вантажної одиниці в кг визначає масу вантажної одиниці, що перевозиться. У реальній системі шатла вантажні одиниці мають різну масу. Маса вантажних одиниць також змінюється з часом. Отже, значення, що вводиться, повинно відповідати очікуваному значенню мас вантажних одиниць, що обробляються в системі човника.

Параметр маса транспортного засобу-човника в кг визначає масу транспортного засобу-човника. Якщо у моделі кілька транспортних засобів-

шатлів, для всіх ідентичних транспортних засобів однієї категорії приймаються однакові значення.

Параметри – маса домкрата-накопичувача, маса домкрата-підйомника та маса автомобільного домкрата в кг визначають масу відповідного домкрата.

Параметр маса вантажопідйомного пристрою транспортного засобу-човника в кг визначає масу вантажозахоплювального пристрою транспортного засобу-човника.

### 3.4.2 Коефіцієнти

Безрозмірний параметр – коефіцієнт опору тертя  $\mu$  для транспортних засобів-човників визначає питомий коефіцієнт опору коченню для транспортних засобів-човників. Значення за замовчуванням – 0,05. Це значення ґрунтується на перевірці даних вимірювань від компаній-партнерів та існуючих результатах досліджень.

Параметр коефіцієнт опору тертя  $\mu_r$ , l для вантажозахоплювального пристрою визначає коефіцієнт опору тертя вантажозахоплювального пристрою. Перевірка енергетичної моделі показала, що 0,5  $\mu_r$ , l (значення за промовчанням) дає відносно хорошу відповідність.

### 3.4.3 Ефективність

Ефективність – це співвідношення поставленої та використаної енергії. Енергія, що використовується, – це та енергія, яку можна перетворити для бажаного процесу. У цьому випадку енергія, що використовується, є кінетичною енергією.

Параметр ККД транспортного засобу-човника у відсотках визначає ККД транспортного засобу-човника.

Параметри ефективності підйомника для зберігання, ефективність підйомного пристрою для вилучення та ефективність підйомника транспортного засобу у відсотках визначають ефективність відповідного витягу.

Параметр ККД обробника навантаження у відсотках визначає ефективність обробника навантаження.

#### 3.4.4 Ефективність відновлення

Ефективність відновлення параметрів транспортного засобу-шатлу у відсотках визначає ефективність відновлення транспортного засобу-шатлу.

Ефективність відновлення параметрів домкрата для зберігання, ефективність відновлення домкрата для отримання та ефективність відновлення автомобільного домкрата у відсотках визначають ефективність відновлення відповідного домкрата. Ефективність рекуперації має бути відома виробнику вбудованого пристрою рекуперації енергії. Якщо окремі чи всі показники ефективності відновлення невідомі, розрахунок слід проводити для відповідних чи всіх транспортних засобів без відновлення.

Ефективність відновлення параметрів обробника навантаження у відсотках визначає ефективність відновлення обробника навантаження.

#### 3.4.5 Споживання енергії для вантажно-розвантажувального обладнання

Параметр «енергоспоживання під час приймання/зняття вантажу одинарної глибини з/в стійку в Дж» встановлює значення енергоспоживання для приймання/зняття навантаження одинарної глибини з/в стійку між часом закінчення повне гальмування та фіксується час початку наступної поїздки.

Параметр «енергоспоживання для приймання/передачі вантажу подвійної глибини з/в стійку Дж» встановлює значення енергоспоживання для

захоплення/розвантаження вантажу подвійної глибини з/в стійку між часом закінчення повне гальмування і час початку наступного руху шатла.

Параметр енергоспоживання транспортного засобу-човника для приймання/передачі вантажу з/в точку передачі J встановлює значення споживання енергії для приймання/передачі вантажу з/в точку передачі між часом закінчення повне необхідне гальмування і час старту для подальшого руху шатла.

Параметр енергоспоживання підйомника для приймання/вивільнення вантажу з точки передачі/на конвеєрну стрічку Дж встановлює значення споживання енергії для приймання/зняття вантажу з місця передачі на конвеєр.

Параметр енергоспоживання підйомника накопичувача для приймання/зняття вантажу з конвеєрної стрічки в точку передачі J встановлює значення споживання енергії для приймання/зняття вантажу з конвеєрної стрічки для передачі точку зберігання.

#### 3.4.6 Енергоспоживання у стані спокою

Параметр енергоспоживання транспортного засобу-човна у стані спокою J визначає значення енергоспоживання транспортного засобу-човна у стані спокою. Параметр енергоспоживання підйомника в стані спокою J визначає значення споживання енергії підйомного підйомника в стані спокою. Параметр енергоспоживання підйомника накопичувача в стані спокою Дж визначає значення споживання енергії підйомника накопичувача в стані спокою. Параметр енергоспоживання автомобільного домкрата у стані спокою J визначає значення споживання енергії автомобільним домкратом у стані спокою.

### 3.6 Стратегії зберігання

Для оптимального виконання логістичної задачі матеріалу в залежності від критерію оптимальності до поточної системи може застосовуватися одна стратегія зберігання або складніше комбінація стратегій зберігання. Цей проект дозволяє користувачеві оптимізувати як продуктивність, а й енергоефективність з допомогою максимально гнучкою реалізації всіх алгоритмів.

Під стратегією зберігання, яка залежить від ситуації, розуміється алгоритм, який постійно використовує поточну ситуацію і, якщо можливо, прогнозні значення для коригування управління. У таблиці 9 показані реалізовані стратегії зберігання, що залежать від ситуації.

Під стратегією зберігання, яка залежить від ситуації, розуміється алгоритм, який постійно використовує поточну ситуацію і, якщо можливо, прогнозні значення для коригування управління. У таблиці 3.2 показані реалізовані стратегії зберігання, що залежать від ситуації.

Таблиця 3.2 – Огляд ситуаційних стратегій із функцією та відповідними параметрами.

Реалізовані стратегії зберігання, що залежать від ситуації		
Функція	Стратегія	Параметр
Стратегія зберігання	Зонування Канали з окремими статтями	Зонування предметів, що швидко рухаються зліва або спереду Кількість рівнів, що виключаються Частка одноканальних каналів
Стратегія замовлення	Пов'язана із замовленням послідовність	Порядок розміщення позицій

	Оптимізована для шляху секвенування	Середня довжина замовлення Діапазон коливань середньої довжини замовлення Середня довжина замовлення
Стратегія командного циклу фінансування	Кінематика на основі пропускної спроможності Положення спокою POSC/RIO Зміна рівня човникових транспортних засобів	Контролер кінематики на основі пропускної спроможності Нульовий рівень Перший рівень Другий етап Верхня межа максимальної кількості замовлень на аутсорсинг Верхня межа мінімальної кількості замовлень на аутсорсинг Нижня межа максимальної кількості замовлень на аутсорсинг Нижня межа мінімальної кількості замовлень на аутсорсинг Верхня межа для складських замовлень Положення спокою регулятора човникових транспортних засобів

		Приоритизація верхньої межі рівня
Стратегія без зайнятості	Реорганізація складу	Кількість переміщуваних вантажних одиниць

Деякі з реалізованих стратегій зберігання завжди працюють за тими самими правилами, незалежно від ситуації. Вони можуть бути призначені залежним від ситуації стратегіям зберігання. Вони називаються базовими стратегіями та перераховані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Огляд основних стратегій із зазначенням функцій та ситуації реалізації.

Реалізовано базові стратеги		
Функція	Стратегія	Сфера застосування
Стратегія зберігання	Хаотичне сховище. Сховище поруч із введенням-виводом.	Завжди, якщо налаштовано
Стратегія переміщення запасу	Закритий аутсорсинг	З полицями подвійної глибини та жолобами, не заповненими за окремими позиціями.
Стратегія аутсорсингу	Найкоротший маршрут подорожі	Якщо на складі є кілька одиниць навантаження з однаковим номером позиції

Визначення ситуації пов'язане також зі зміною параметрів, описаних в інших розділах. Наприклад, зміна розміру зони, що залежить від ситуації, забезпечується за рахунок зміни параметра.

### 3.6.1 Параметри, що залежать від ситуації

Безрозмірне зонування параметрів швидких рушіїв ліворуч або вперед визначає, чи зберігатимуться вони з лівого боку проходу або з обох сторін у передній частині проходу. Якщо значення цього параметра дорівнює одиниці, швидкі двигуни зберігаються в лівій частині проходу, а повільні - в правій частині проходу, див. Рис. 16, зверху зліва. Якщо значення цього параметра встановлено рівним двом, швидкі двигуни зберігаються з обох сторін у передній частині проходу, а тихохідні з обох сторін у задній частині проходу див. малюнок 16, вгорі праворуч. Якщо вибрано значення параметра два, безпечна відстань враховується для перестановок в зоні, що швидко рухається між двома зонами. Таким чином, з деякими комбінаціями вхідних параметрів перша стратегія зонування перевершує другу з погляду пропускнуї спроможності. Якщо значення цього параметра встановлено рівним трьом, можна визначити прямокутне зонування, див. малюнок 3.5. Верхній та нижній рівні для швидких пасажирів можна виключити. Це може скоротити час подорожі підйомника.

У прогоні моделювання зонування фіксоване і може бути змінено залежно від ситуації (протягом одного дня). Ситуаційні коригування можуть бути зроблені в середньостроковій перспективі (наприклад, на щоденній, щотижневій, щомісячній основі) на основі зміни типу зонування (за допомогою параметра зонування швидкохідних транспортних засобів ліворуч або вперед), розміру зони (за допомогою параметра частка одиниці завантаження, що швидко рухаються), доступність по зоні (через параметр Частка доступу до швидко рухомих елементів), початковий рівень зберігання

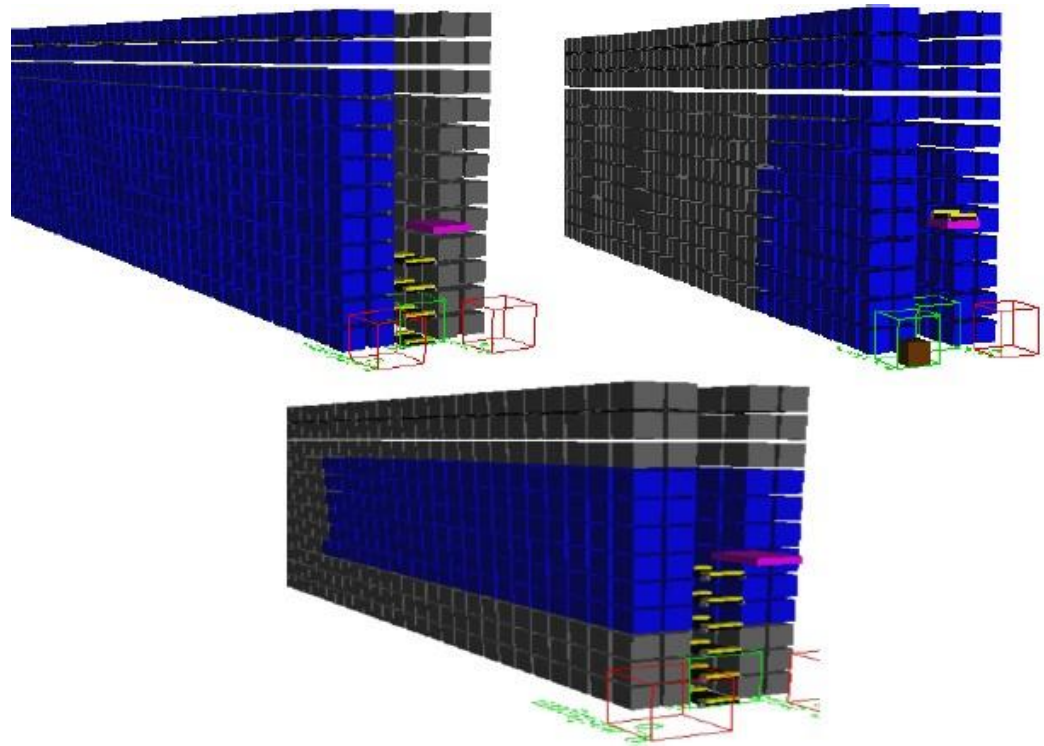


Рисунок 3.5 – Типи зонування

На малюнку 3.5 верху зліва швидкодіючі (сині) зберігаються зліва, а повільні (сірі) – у правій частині проходу. Вгорі праворуч, що швидко рухаються предмети зберігаються попереду, а повільно рухомі - в задній частині проходу. Нижче швидко рухомі елементи зберігаються в передній частині, шість рівнів, найбільш віддалених від точки введення/виводу, заповнені лише елементами, що повільно рухаються.

Параметр число рівнів, які повинні бути виключені для вантажних одиниць, що швидко рухаються, визначає кількість рівнів, на яких не можна зберігати швидко рухомі вантажні одиниці. Максимальна кількість рівнів, яку можна виключити, – це те, що для створених одиниць завантаження, що швидко рухаються, все ще достатньо місця для зберігання.

Параметр «число одиниць вантажу, що підлягають переміщенню», визначає кількість одиниць вантажу, що підлягають переміщенню в зоні, що повільно рухається. Алгоритм реорганізації складу переміщає випадково обрані вантажні одиниці з зони, що повільно рухається, в швидко рухається зону до тих пір, поки кількість переміщених вантажних одиниць не буде відповідати вхідному значенню.

Параметр "канали з одним елементом" у відсотках визначає кількість каналів, які є вирішальними для вибору стратегії "канали з одним елементом".

Кількість статей місце зберігання < кількість каналів окремих статей.

Вибрано стратегію зберігання «канали тільки для предметів».

Передумовою для цього параметра є обробка піків у разі непарного кількості одиниць завантаження на номер предмета. Канали окремих предметів займають лише один канал.

Стратегія «одноблочні канали» спрямована на збільшення пропускної спроможності складів з різною глибиною і водночас економію енергії за рахунок скорочення переміщень до нуля.

Безрозмірна послідовність параметрів визначає, чи повинна дотримуватись задана послідовність одиниць навантаження. Значення параметрів, що приймаються, дорівнюють нулю, якщо послідовність небажана, і одиниці, якщо послідовність повинна бути прийнята до уваги. Дотримання заданої послідовності під час вилучення зазвичай знижує пропускну здатність, так як витягує підйомник часто повинен чекати завантажувальну одиницю в послідовності, хоча вантажні одиниці, що очікують у точках передачі, можуть бути витягнуті тим часом. Система човна все ще може взяти на себе дотримання послідовності для наступних ділянок, таких як система комплектування замовлень, наприклад, або необхідної. Оскільки сортування вантажних одиниць передається системі човника, це може бути вигідно для ділянок нижче за течією. Якщо є можливість, необхідно вказати одиниці завантаження. Послідовності аутсорсингу.

Для секвенування доступні такі параметри:

- Оптимізоване для шляху секвенування;
- послідовність із дотриманням послідовності позицій у замовленні;
- послідовність без дотримання порядку позицій у замовленні.

Якщо значення параметра послідовності встановлено рівним одиниці, є два варіанти підтримки послідовності позицій у замовленні, які враховуються за допомогою наступного параметра. Якщо значення параметра рівне нулю, має місце оптимізована послідовність операцій. Замовлення з найкоротшим маршрутом вибирається з замовлень на вилучення.

Безрозмірний параметр порядок позицій замовлення визначає, чи слід у разі кількох замовлень з декількома позиціями у кожному дотримуватися лише послідовності замовлень чи також порядок позицій замовлення. Якщо значення параметра дорівнює нулю, дотримується лише послідовність замовлень. Порядок позицій замовлення визначається часом, коли досягається точка передачі відповідної позиції. Якщо значення параметра встановлено рівним одиниці, дотримуються як порядок, і послідовність позицій, див. малюнок 3.6. Вибір нульового значення параметра дає підйомному пристрою вибірки більше можливостей вибору і веде до більш високої пропускної спроможності, ніж вибір параметра один.

Також після вибору опції послідовності використовуються наступні два параметри для визначення та зміни довжини замовлення. Параметр середньої довжини замовлення в штуках визначає очікуване значення кількості позицій у замовленні. Теоретично цей параметр може приймати як значення будь-яке натуральне число, менше або дорівнює кількості наказів на керування протягом відповідної години. Щоб змінити довжину замовлення відповідно до реальності, наступний параметр визначається як міра відхилення.



Рисунок 3.6 – Дотримання порядку та послідовності розташування

Діапазон коливань параметра середньої довжини замовлення у штуках визначає максимальне відхилення довжини замовлення від певного очікуваного значення. Очікувані значення параметрів, звичайно, менше, ніж попередньо визначене значення параметра Середня довжина замовлення. Це виключає негативну довжину замовлення. Таким чином, верхня межа довжини замовлення дорівнює сумі середньої довжини замовлення та діапазону коливань середньої довжини замовлення, нижня межа довжини замовлення дорівнює сумі середньої довжини замовлення та середньої довжини замовлення в діапазоні коливань. Довжина замовлення рівномірно розподіляється в межах нижньої та верхньої межі.

Комбінована підйомна система покликана звести до мінімуму початкові вкладення човникові транспортні засоби. Для цього існуючі транспортні засоби-шатли повинні обслуговувати декілька рівнів, маючи можливість змінювати один рівень за допомогою автомобільного домкрата. Критерієм зміни рівня в цьому проекті є кількість завдань на відрядження в черзі завдань на відрядження на відповідному рівні. Це можуть бути як складські, так і замовлення, що

витягують на водіння. Шаттл може обслуговувати максимум три рівні. Для зміни рівня потрібна параметризація наступних двох розмірів.

Параметр пріоритизація верхньої межі рівня вказує кількість верхньої межі очікуваних завдань на рівні. Рівень, який не зайнятий транспортним засобом-шатлом і має більше замовлень, ніж верхня межа, оголошує необхідність транспортного засобу-шатла.

Параметр пріоритизація нижньої межі рівня вказує кількість нижніх меж очікуваних завдань на рівні. Рівень, який займає шатл і має менше замовлень, ніж нижня межа, отримує дозвіл на зміну рівнів. Якщо є повідомлення про вимогу з іншого рівня, перемикання виконується. Чим нижче встановлено параметр Нижня межа пріоритизації рівнів, тим рідше відбувається зміна рівнів.

Безрозмірний контролер параметрів для прискорення та швидкості, адаптованих до пропускної спроможності, визначає, чи потрібна можливість адаптації кінематичних значень прискорення, уповільнення та максимальної швидкості транспортних засобів човна на основі кількості очікуваних завдань для економії енергії. Цей параметр встановлюється в нуль, якщо контролер не повинен втручатися і в одиницю, якщо контролер повинен втручатися.

Принцип роботи контролера заснований на установці трьох рівнів для зменшення кінематичних значень, а також чотирьох порогових значень кількості очікуваних замовлень на витяг, для яких відбуваються відповідні зміни, див. Рисунок 18, і єдиного порогового значення кількості очікуваних. термін зберігання замовлень.

Нульовий рівень параметра у відсотках визначає, чи слід зберегти чи трохи змінити введені кінематичні значення. Рекомендується встановити це значення на 100 % та зберегти вказані кінематичні значення відповідно до налаштувань. При незначній зміні вже встановлені кінематичні значення буде перезаписано.

Параметр рівня один у відсотках визначає частку вже встановлених значень параметра, до якої зменшуються кінематичні параметри на першому рівні. Рекомендується ставити відсоток посередині (50-80%).

Рівень параметрів два у відсотках визначає частку вже встановлених значень параметрів, до яких зменшуються кінематичні параметри на другому рівні. Рекомендується встановлювати низький відсоток (20-50%).

Параметр верхня межа максимальної кількості завдань обміну частинами визначає кількість завдань обміну в черзі, з яких кінематичні параметри збільшуються з першого рівня до нульового.

Параметр Верхня межа мінімальних завдань підкачування частинами визначає кількість завдань підкачування в черзі, з яких кінематичні параметри збільшуються з другого рівня до рівня один.

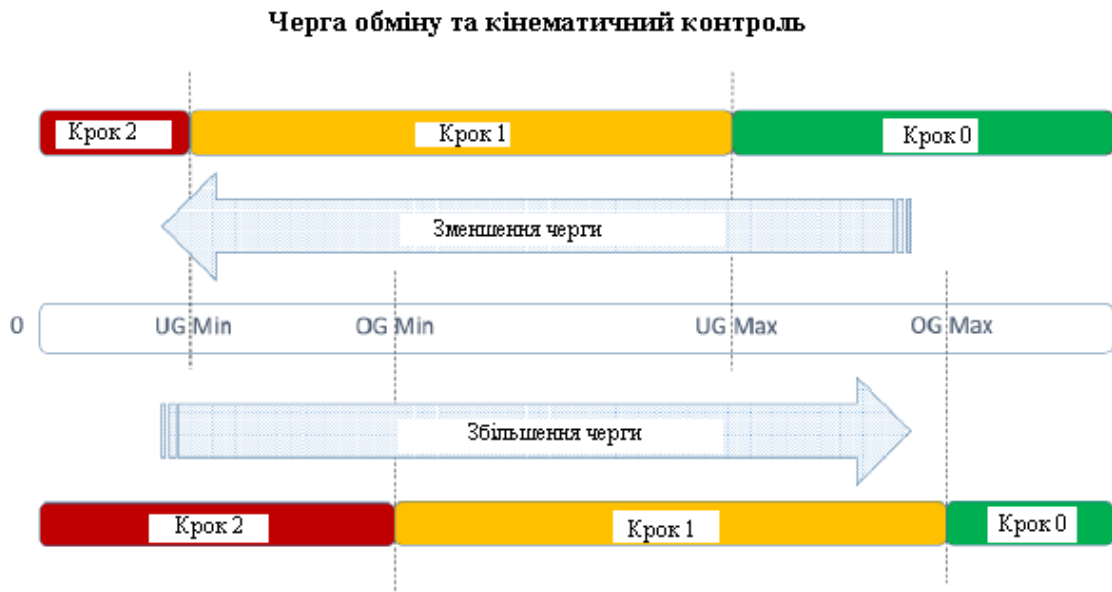


Рисунок 3.7 – Робота контролера для зниження прискорення, уповільнення та максимальної швидкості з урахуванням пропускної спроможності

Параметр «нижня межа максимальної кількості завдань обміну частинами» визначає кількість завдань обміну в черзі, з яких кінематичні параметри знижуються з нульового рівня до першого рівня.

Параметр «нижня межа мінімальних завдань на заміну частинами» визначає кількість завдань на заміну в черзі, з яких кінематичні параметри знижуються з рівня один до рівня два.

Врахування чотирьох порогів налаштування замість двох у черзі на обмін допомагає уникнути частих перемикачів. Це знижує навантаження на двигун транспортного засобу-шатлу. Існує гістерезис із-за верхньої та нижньої меж, тобто, час після зміни рівня подальша зміна не відбувається до тих пір, поки не буде досягнуто наступного граничного значення. Чим більше рознесено верхню і нижню межі, тим більше гістерезис і тим рідше відбуваються зміни рівня.

Параметр верхня межа замовлень на зберігання в штуках визначає граничне значення черги зберігання, з якого дозволяється зменшення кінематичних параметрів за допомогою елемента управління черги на отримання. Цей параметр необхідний, щоб уникнути надто довгої черги на боці сховища через кінематику. При перевищенні значення цього параметра черги на зберігання шатли рухаються з максимально можливими кінематичними параметрами.

Параметр положення спокою контролера транспортних засобів-шатлів визначає, чи можна змінити стратегію стану спокою транспортних засобів-шатлів залежно від ситуації. Мета цієї стратегії – скоротити час виконання замовлення. Введення нуля означає, що стратегія положення у спокої не зміниться. Завершення Point-of-Service-Completion (POSC) потім застосовується до всіх фондів. Перше введення призводить до залежних від ситуації змін у стратегії стану спокою. Є перемикач між POSC і Return-to-Input-Output-Point (RIO). Вхідні змінні для контролера – це кількість завдань із зберігання та вилучення. POSC означає, що після замовлення на зберігання транспортний засіб залишається в цьому положенні і чекає на нове замовлення (переважно, якщо наступне замовлення стає замовленням на вилучення). RIO означає, що після замовлення на зберігання

Параметр верхньої межі замовлень на зберігання призводить до виходу стратегії положення спокою POSC, якщо є більше замовлень на зберігання, ніж

обране значення параметра, і менше замовлень на зберігання, ніж нижня межа замовлень на зберігання в черзі.

Якщо в черзі менше завдань із заміни, ніж обране значення параметра завдання із заміни нижньої межі, можливе перемикання на стратегію RIO положення спокою (має місце, якщо завдань із заміни більше, ніж доступно завдань із високою межею).

Якщо завдань зберігання більше, ніж вибране значення параметра зберігання верхньої межі, і менше завдань вилучення, ніж завдань зберігання нижньої межі в черзі, виводиться стратегія RIO для позиції, що залишилася.

Якщо в черзі менше замовлень на зберігання, ніж обране значення параметра нижня межа замовлень на зберігання, можливий перехід до стратегії положення спокою POSC (має місце, якщо замовлень на витяг більше, ніж замовлень на витяг верхньої межі).

### 3.7 Висновки до розділу 3

У даному розділі було просимульовано імітаційну модель зі вхідними параметрами які надали компанії партнери.

Було проведено аналіз усіх факторів які потрібні для моделювання під різні приміщення: конфігурація сховища, параметри полиці, ємності, кінематика, транспортні пересування, витяг контейнера, автомобільний домкрат, енергетична модель, маса, коефіцієнти, ефективність, ефективність відновлення, споживання енергії для вантажно-розвантажувального обладнання, енергоспоживання у стані спокою, стратегії зберігання, параметри що залежать від ситуац

#### 4.1 Аналіз умов праці у лабораторії

Дослідження з кваліфікаційної роботи проводились у лабораторії розміром: 4,2 м×3,5 м×3,2 м. У приміщенні працює 1 людина. Площа приміщення становить 14,7 м<sup>2</sup>, об'єм – 47,04 м<sup>3</sup>. На одне робоче місце припадає вся площа та об'єм приміщення, що відповідає нормативному документу НПАОП 0.00-1.28-10 [27].

Було визначено, згідно з ДСТУ 2293-99, що в лабораторії є небезпечні та шкідливі фактори:

- знижена рухливість повітря;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищене значення напруги в електричній ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини (небезпечний фактор).

Домінуючий шкідливий виробничий фактор – недолік штучного освітлення.

#### 4.2 Промислова безпека у лабораторії

У лабораторії використовується трифазна чотиридротова мережа змінного струму напругою 220/380 В, частота 50 Гц, режим нейтралі – глухозаземлена. Згідно з НПАОП 40.1-1.21-98, приміщення належить до класу приміщень без підвищеної опасності. Умови, які створюють підвищену та особливу опасність (підвищена вологість, струмопровідна пилка, струмопровідні підлоги, можливість одночасного прикосновення до заземлених металоконструкцій зведення та металевих поверхонь електроприладів), відсутні.

Для захисту працівників від ураження електричним струмом у лабораторії, згідно з НПАОП 40.1-1.32-01, використовується система заземлення TN-CS типу та захисне відключення.

Необхідно проводити контроль ізоляції відповідно до вимог ПУЕ-2011. Контроль проводити між нульовим та фазним провідниками, а також між фазами. Опір ізоляції не менше 500 кОм на фазу. Контроль проводити не рідше 1 разу на рік при відключеному електроживленні.

Електропроводку в приміщенні виконано з можливістю заміни: приховано в каналах будівельних конструкцій, що відповідає вимогам НПАОП 40.1-1.32-01.

#### 4.3 Виробнича санітарія та гігієна праці

Роботи, що виконуються в приміщенні лабораторії, проводяться сидячи та не потребують систематичних важких фізичних навантажень, підняття та перенесення важких промов. За таких умов енерговитрати працівників складають не більше 120 ккал/рік. Отже, виконувані роботи належать до категорії 1а.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 та категорії виконуваних робіт, для приміщення встановлені наступні оптимальні норми мікроклімату: температура в літній період 23 – 25 °С, у зимовий період 22 – 24 °С, відносна вологість повітря 40 – 60 %, швидкість руху повітря  $\leq 0,1$  м/с.

Щоб забезпечити необхідні норми мікрокліматичних параметрів та чистоти повітря у лабораторії використовується кондиціонування. Підтримка зазначених параметрів у холодний період здійснюється системою опалення відповідно до СНіП 2.04.05-91.

Ще одним шкідливим фактором є розумове перенапруження. Основні заходи щодо захисту від розумового перенапруження людини:

- Регулярно, через шкірні 40 - 50 хв. робочого часу робити технологічні перерви, для розрядки розумового напруження;

проведення фізичних вправ (зарядки, розминки) під час перерви.

Рівень загального штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності.

Розрахунок штучного освітлення проводитиметься методом коефіцієнта використання світлового потоку. Мета перевірного розрахунку – визначення фактичної освітленості у приміщенні. Основна розрахункова формула методу коефіцієнта використання світлового потоку:

$$F = \frac{E_f k_z S_z}{n \eta \gamma N}, \quad (4.1)$$

де  $E_f$  – фактична освітленість, лк;

$S$  – площа освітлюваного приміщення, що залежить від розмірів приміщення;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності освітленості ( $z=1,1$ );

$k_z$  – коефіцієнт запасу, що враховує запилення світильників та знесення джерел запасу світла у процесі експлуатації;

$N$  – кількість світильників у ряду;

$\eta$  – Коефіцієнт використання світлового потоку ламп;

$\gamma$  – коефіцієнт затінення ( $\gamma=0,8$ );

$n$  – кількість рядів світильників;

У таблиці 4.1 наведено вихідні дані.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

F1	пл	N	П	N	kз
1600	2	2	0.5	4	1.5

Фактична освітленість складає:

$$E_f = \frac{Fn\eta\gamma N}{k_z S_z}, \quad (4.2)$$

$$F = F_i n_i, \quad (4.3)$$

$$F = 1600 \cdot 2 = 3200 \text{ Лк},$$

$$E_f = \frac{3200 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 0,88}{1,5 \cdot 14,07 \cdot 1,1} = 441 \text{ Лк}.$$

За результатами розрахунку отримали освітленість складає 441лк, що належить допустимому діапазону від 200 лк до 500 лк. У приміщенні нестачі штучного освітлення немає.

#### 4.4 Пожежна безпека лабораторії

Приміщення лабораторії за вибухо- та пожежною опасністю належить до категорії В за НАПБ Б.03.002-2007, оскільки у приміщеннях лабораторії знаходяться тверді горючі матеріали [27]. Основними причинами виникнення пожежі можна вважати:

- випадкове пошкодження ізоляції струмопровідних провідників;
- незадовільний стан виделок, розеток;
- перенавантаження дротів живлення.

Лабораторія розташована в будові II ступеня вогнестійкості відповідно доДБН В.1.1.7-2016.

За пожежонебезпекою, згідно з ПУЕ-2011, лабораторія належить зоні П – Па [27]. У ній присутні тверді горючі речовини, папір, меблі, одяг.

Заходи пожежної профілактики відповідно до ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ, до яких входять: застосування системи запобігання пожежі, протипожежної захисту, виконання організаційних заходів.

Згідно з НАПБ Б03.001-2004 у приміщеннях розміщені первинні засоби пожежогасіння – вуглекислотний вогнегасник ВВК-1,4 з розрахунку 1 вогнегасник на 3 ПК, але не менше 1 на приміщення.

Згідно з ДБН В.2.5.56-2010 у приміщеннях встановлено точковий димово-пожежний сповіщувач ДІП-1, який контролює площу до 86 м<sup>2</sup> [27].

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи метою, якою було оптимізація Shuttle-System (автоматизованих човникових систем) на великих промислових складах.

Кваліфікаційна робота складається з чотирьох основних розділів.

У першому розділі було проведено вибір системи через аналіз двох систем: AKL та Shuttle-System, їх структури та функції.

У другому розділі було запропоновано модель симуляції та імітаційне дослідження. Проаналізовано модель симуляції з різними вхідними даними та проведено їх перевірку і валідацію.

У третьому розділі було просимульовано імітаційну модель зі вхідними параметрами які надали компанії-партнери. Було проведено аналіз усіх факторів які потрібні для моделювання під різні приміщення.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці. Успішно протестовано запропонована модель Shuttle.

Змодельована система використовує переваги використання саме Shuttle-System а не AKL-System.

Завдяки своїй гнучкості Shuttle можна «підібрати» до будь якого приміщення, через свої вісі які переміщуються без проблем горизонтально та вертикально ніж у AKL-system, хоча і система шаттлів дорожче за AKL і її б можливо не доцільно було б використовувати, тому завдяки таким симуляціям імітаційної моделі можливо виключити ще на етапі моделювання, всі не бажані лишні витрати, різні проблеми які можуть виникнути під час його встановлення та використання, та навіть можливо «удешевити» цю систему завдяки моделюванню.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. К.: ДП “УкрНДНЦ”. 2016. 30 с.
2. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»/ упоряд. І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. Київ, 2018. 320.
3. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп’ютерно інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп’ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2021. 55 с.
4. Методи оптимізації бази даних для забезпечення швидкого пошуку в цій базі даних / Кулик О. О., Трофимов Н. С., Невлюдова В. В. Харків: Topical issues of modern science, society and education. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference, 2021. 414 с.
5. Автоматизація виробництва та виробничих процесів. Автоматизація виробничих процесів 2022. URL: <https://peskiadmin.ru/uk/avtomatizaciya-proizvodstva-i-proizvodstvennyh-processov.html> (дата звернення 09.10.2022).
6. John J. Bartholdi III. WAREHOUSE & DISTRIBUTION SCIENCE Release 0.96 / John J. Bartholdi III , Steven T. Hackman, 2016. 323 p.

7. Design and Methodology of Automated Guided Vehicle 2016. URL: [https://www.researchgate.net/publication/301261727\\_Design\\_and\\_Methodology\\_of\\_Automated\\_Guided\\_Vehicle](https://www.researchgate.net/publication/301261727_Design_and_Methodology_of_Automated_Guided_Vehicle) (дата звернення 09.10.2022).
8. Automated Storage and Retrieval Systems 2022. URL: <https://www.mhi.org/fundamentals/automated-storage> (дата звернення 10.10.2022).
9. The advantages of a plastic modular belt 2020. URL: <https://in-bakery.com/the-advantages-of-plastic-modular-belt/> (дата звернення 15.10.2022).
10. Modular Plastic Belt Conveyors: Pros, Cons, and Top Alternatives 2022. URL: <https://www.b2eautomation.com/insights/modular-plastic-belt-conveyors-pros-cons-and-top-alternatives>(дата звернення 18.10.2022).
11. Large Loads with Stacker Crane AS/RS Systems 2022. URL: <https://www.bastiansolutions.com/solutions/technology/asrs/unit-load-asrs/> (дата звернення 02.12.2022).
12. Unit Load AS/RS Model Systems 2022. URL: <https://www.daifuku.com/solution/intralogistics/products/automated-warehouse/unitload-asrs/model-system/> (дата звернення 03.12.2022).
13. Vertical Buffer Module (VBM) 2022. URL: <https://www.kardex.com/en/products/vertical-buffer-modules>(дата звернення 03.12.2022).
14. Barcode Scanning System 2021. URL: [https://www.researchgate.net/publication/358660068\\_Barcode\\_Scanning\\_System](https://www.researchgate.net/publication/358660068_Barcode_Scanning_System) (дата звернення 20.10.2022).
15. EAN 13 – The Barcode Number 2021. URL: <https://www.gs1india.org/blog/ean-13-the-barcode-number/> (дата звернення 22.10.2022).
16. Hardware implementation of an EAN-13 barcode decoder 2021. URL: [https://www.researchgate.net/publication/4012338\\_Hardware\\_implementation\\_of\\_an\\_EAN-13\\_bar\\_code\\_decoder](https://www.researchgate.net/publication/4012338_Hardware_implementation_of_an_EAN-13_bar_code_decoder) (дата звернення 24.10.2022).

17. Barcode Technology and its Application in Libraries 2019. URL: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6896&context=libphilprac> (дата звернення 26.10.2022).

18. EAN 13 Barcode Explained 2022. URL: <https://www.softmatic.com/barcode-ean-13.html> (дата звернення 28.10.2022).

19. Advantages of barcode printers and guidelines for use 2017. URL: <https://www.tcangpos.com/article/detail/Advantages-of-barcode-printers-and-guidelines-for-use.html> (дата звернення 01.11.2022).

20. Barcode label printer market 2022. URL: <https://www.alliedmarketresearch.com/barcode-label-printer-market-A13295> (дата звернення 03.11.2022).

21. Проблеми обліково-аналітичного забезпечення управління підприємницькою діяльністю : матеріали II Міжнар. наук. – практ. конф. (м. Полтава, 21 квітня 2021 р.) / за ред. Пилипенко К. А. Полтава : ПДАУ, 2021. С. 165 – 170.

22. Організаційна структура управління: сутність та класифікація / Дорошенко М.П., Вороніна В.Л. Полтавська державна аграрна академія 2019. С. 52 – 54.

23. Basic principles and peculiarities of organization of logistics in military units of the National Guard of Ukraine / Nesterenko O.M., Chirva Yu.E. // YoungScientist. 2016. N. 5 (32). P. 119 – 122.

24. Модернізація складських приміщень підприємства на базі WMS 2015. URL: [https://www.problecon.com/export\\_pdf/problems-of-economy-2015-4\\_0-pages-210\\_215.pdf](https://www.problecon.com/export_pdf/problems-of-economy-2015-4_0-pages-210_215.pdf) (дата звернення 08.11.2022).

25. Марченко В.М. Логістика: Підручник/ В.М. Марченко, В.В. Шутюк. К.: Видавничий дім «Артек», 2018. С. 141 – 149.

26. Гаджинский А.М. «Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика»: учеб. -практ. пособие / Л.М. Гаджинский. Киев: Велби: Проспект, 2005. 176 с.

27. Warehouse Inventory Management Guide: Best Practices, Case Studies, and Expert Advice 2020. URL: <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/inventory-management/warehouse-inventory-management-guide.shtml> (дата звернення 15.11.2022).
28. Warehousing and inventory management 2022. URL: [https://www.researchgate.net/publication/360734122\\_WAREHOUSING\\_AND\\_INVENTORY\\_MANAGEMENT](https://www.researchgate.net/publication/360734122_WAREHOUSING_AND_INVENTORY_MANAGEMENT) (дата звернення 18.11.2022).
29. Storing small sized products 2021. URL: <https://www.interlakemecalux.com/warehouse-manual/storage-systems/storage-small-parts-items> (дата звернення 21.11.2022).
30. Getting Started with Qt 2022. URL: <https://developer.toradex.com/linux-bsp/application-development/gui/getting-started-with-qt/> (дата звернення 28.11.2022).
31. What is MySQL: MySQL Explained For Beginners 2022. URL: <https://www.hostinger.com/tutorials/what-is-mysql> (дата звернення 29.11.2022).
32. C# Windows Forms Application Tutorial with Example 2022. URL: <https://www.guru99.com/c-sharp-windows-forms-application.html> (дата звернення 01.12.2022).