

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Транспортний

(повне найменування факультету)

«Транспортні технології»

(повне найменування кафедри)

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМІНАЛУ В  
УМОВАХ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Виконав: студент ІІ курсу, групи Т-322м

Спеціальності 275 «Транспортні технології  
(за видами)»


(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

275.03 «Транспортні технології

(на автомобільному транспорті)»

 Сергій ШЕВЧУК  
(прізвище та ініціали)

Керівник  Тамара ХАРЧЕНКО  
(прізвище та ініціали)

Рецензент  Андрій ЩЕРБИНА  
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет \_\_\_\_\_ Транспортний \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ «Транспортні технології» \_\_\_\_\_  
Ступінь вищої освіти \_\_\_\_\_ магістр \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 275 «Транспортні технології (за видами)» \_\_\_\_\_  
(код і найменування)  
Освітня програма (спеціалізація) 275.03 «Транспортні технології (на \_\_\_\_\_  
автомобільному транспорті)» \_\_\_\_\_  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

«Транспортні технології»

Сергій ТУРПАК

«01» листопада 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ШЕВЧУКА Сергія Юрійовича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Моделювання роботи контейнерного терміналу в умовах машинобудівного підприємства

керівник проєкту (роботи) ХАРЧЕНКО Тамара Володимирівна

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «21» листопада 2023 року №450

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 15 грудня 2023 р.



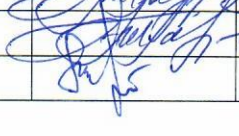
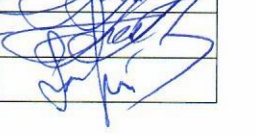


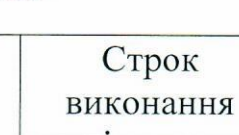

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) існуюча технологія перевезень, існуюча характеристика контейнерного терміналу, існуючі математичні методи дослідження роботи контейнерних терміналів, передовий досвід організації роботи терміналів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітична частина, 2. Розробка методик оптимізації роботи крану на контейнерному терміналі, 2.1 Регресивний аналіз часу технологічних переміщень крану, 2.2 Розробка алгоритмів оптимізації роботи крана, 2.2.1 Метод «відгалужень і меж», 2.2.2 Метод динамічного програмування, 2.3 Апробація розроблених методик для умов контейнерного терміналу ПАТ «ЗАЗ», 2.3.1 Метод «відгалужень і меж», 2.3.2 Метод динамічного програмування, 3 Економічне обґрунтування проектних рішень, 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Презентація магістерської роботи

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ХАРЧЕНКО Т.В., старш. викл.		
2	ХАРЧЕНКО Т.В., старш. викл.		
3	ХАРЧЕНКО Т.В., старш. викл.		
4	ЛАЗУТКІН М.І., доцент		

7. Дата видачі завдання «01» листопада 2023 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітична частина	30.10.2023-06.11.2023	
2	Основна частина	07.11.2023-20.11.2023	
3	Економічна частина	21.11.2023-27.11.2023	
4	Охорона праці	28.11.2023-01.12.2023	
5	Оформлення МР, перевірка МР на плагіат, отримання зовнішніх рецензій, захист магістерських робіт	01.12.2023-25.01.2024	

Студент(ка)

  
(підпис)

Сергій ШЕВЧУК  
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

  
(підпис)

Тамара ХАРЧЕНКО  
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 102 с., 52 табл., 10 рис., 18 використаних джерел.

ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА, НАВАНТАЖУВАЛЬНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНІ РОБОТИ, КОНТЕЙНЕР, ПІД'ЇЗДНІ КОЛІЇ, ФІТІНГОВА ПЛАТФОРМА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, КОНТЕЙНЕРНИЙ ТЕРМІНАЛ, ПРОСТІЙ, КОЗЛОВИЙ КРАН, РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ, ОПТИМАЛЬНИЙ МАРШРУТ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, БЛОК-СХЕМА, ДИНАМІЧНЕ ПРОГРАМУВАННЯ.

Об'єктом досліджування виступає процес переміщення та обробки контейнерів козовим краном на контейнерному терміналі.

Метою даної магістерської роботи є розробка методик оптимізації роботи крану на контейнерному терміналі машинобудівних підприємств на прикладі умов ПАТ «ЗАЗ».

Методи досліджування: аналітичні, математичне моделювання, регресійний аналіз за допомогою ЕОМ.

Завданням роботи є оптимізація роботи крану на контейнерному терміналі за допомогою математичних методів.

В даній роботі було проведено дослідження процесу функціонування контейнерного терміналу в умовах ПАТ «ЗАЗ». На основі спостережень були отримані варіанти фактичних маршрутів руху крану при переміщенні контейнерів в межах контейнерного майданчика. Отримані вихідні дані були покладені в основу проведеного регресійного аналізу. На основі методів математичного моделювання та з урахуванням технологічних обмежень були розроблені методики оптимізації маршрутів переміщення крану. Методики доведені до числових розрахунків. Впровадження методик дозволяє скоротити порожні пробіги крану до 10%.

## ЗМІСТ

с

Завдання .....	2
Реферат .....	4
Зміст .....	5
Вступ. ....	6
1. Аналітична частина.....	8
1.1. Стислий огляд сучасного стану ПАТ «ЗАЗ».....	8
1.2. Аналіз методів оптимізації роботи кранів.....	12
1.3. Аналіз досвіду роботи контейнерних терміналів.....	23
1.4. Програмне рішення Solvo.CTMS.....	29
1.5. Постановка задачі магістерської роботи.....	31
2. Розробка методик оптимізації роботи крану на контейнерному терміналі.....	33
2.1. Регресійний аналіз часу технологічних переміщень крану.....	33
2.2. Розробка алгоритмів оптимізації роботи крана.....	37
2.2.1. Метод «відгалужень і меж».....	37
2.2.2. Метод динамічного програмування .....	54
2.3. Апробація розроблених методик для умов контейнерного терміналу ПАТ«ЗАЗ».....	59
2.3.1. Метод «відгалужень і меж».....	59
2.3.2. Метод динамічного програмування.....	75
3. Економічне обґрунтування проектних рішень.....	82
4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	87
4.1. Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях .....	88
Висновки .....	90
Перелік посилань .....	91
Додаток А.....	93
Додаток Б.....	94
Додаток В.....	96

## ВСТУП

На сьогодні перевезення вантажів у контейнерах є головним елементом світової системи перевезень, оскільки все більше визнається як зручний та надійний вид транспортування вантажів. Контейнеризація є генеральним напрямком розвитку глобальної системи руху вантажів. Вона охоплює не тільки транспорт, але й всю інфраструктуру системи виробництва, зберігання та розподілення

Транспорт відіграє важливу роль у промисловому господарстві і суттєво впливає на собівартість кінцевої продукції. Саме з цих причин дуже важливим є правильна та чітка організація технологічних і технічних процесів роботи транспорту, які являють собою в більшості систему обслуговування прибуваючих вимог, підвищення якості транспортного обслуговування і конкурентно-спроможності, більш широкого впровадження досягнень науково-технічного прогресу, удосконалення управління, зменшення собівартості перевезень, тобто зниження рівня транспортних витрат. Останнім часом на основі сучасних інтелектуальних технологій та математичних методів у виробничий процес впроваджуються методи прийняття ефективних керуючих рішень, що допомагає у значній мірі зменшувати експлуатаційні витрати, прискорювати обіг матеріальних потоків, підвищувати конкурентоспроможності транспортних систем підприємства.

У даній магістерській роботі «Моделювання роботи контейнерного терміналу в умовах машинобудівного підприємства» розглядається робота контейнерної площадки ПАТ «ЗАЗ». Для налагодження її роботи пропонується розробити методики оптимізації роботи крану на контейнерному терміналі. Це дозволить отримати оптимальні маршрути переміщення крану між ланками контейнерних переміщень, скоротити

непродуктивний рух крану, прискорити обробку контейнерів, а тим самим скоротити час знаходження контейнерів на під'їзних коліях ПАТ «ЗАЗ».

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Стислий огляд сучасного стану ПАТ «ЗАЗ»

ПАТ "ЗАЗ" до воєнного стану було обличчям автомобілебудівної галузі нашої держави.

ЗАЗ - єдине в Україні підприємство, яке має повний цикл виробництва легкових автомобілів, що включає штампування, зварювання, фарбування, спорядження кузова і складання автомобіля. На заводі створено і постійно удосконалювалося якісно нове сучасне високотехнологічне виробництво, що відповідає вимогам міжнародного стандарту ISO 9001 версії 2000 року і є значним внеском у розвиток державної економіки.

Динаміка розвитку ЗАЗу, пріоритетами якої було постійне прагнення удосконалювати власну продукцію, робота над втіленням нових ідей у життя і розширення модельного ряду автомобілів, свідчить про прогрес створення вітчизняного автомобіля. На базі Запорізького автозаводу випускалися широка гама сучасних моделей класів В, С, D, E, S, М - від "Сенсу" до "Опеля", "Шевроле" і "Мерседесу".

Після початку війни виробництво легкових автомобілів на підприємстві припинилося. Про це свідчить статистика Інституту дослідження авторинку. За даними аналітиків про роботу українського автопрому від 25 квітня 2023 року, жодного легкового автомобіля ЗАЗ не випустив.

Водночас виробництво на потужностях ЗАЗ повністю не зупинено. І нову продукцію можна придбати. Так, на офіційному сайті "Укравто", до групи компаній якого входить Запорізький автомобілебудівний завод, до купівлі доступні два варіанти - автобуси ЗАЗ А08 (у модифікаціях "шкільний", "приміський", "міський низькопідлоговий") та ЗАЗ А10.

Виробництво на ПАТ "ЗАЗ" включає наступні етапи: пресове виробництво; зварювання; фарбування; моторне виробництво; складання; здавання; випробування; логістика.

*Пресове виробництво* - один з найбільших підрозділів заводу. Саме тут набуває необхідної форми метал, що згодом перетворюється в кузов автомобіля і його комплектуючі деталі. Цей підрозділ складається з трьох цехів основного виробництва (великого, середнього і дрібного штампування) і ділянки з ремонту пресового обладнання і штампувального оснащення. Загальна площа 31,5 тис. кв. м. Пресове виробництво оснащене сучасним високотехнологічним обладнанням - автоматичними лініями розкрою, багатопозиційними прес-автоматами, у тому числі пресами фірми "Hitachi Zosen" (Японія), "Erfurt" (Німеччина), "Ravne" (Югославія), автоматичними лініями навантаження, передачі і відвантаження деталей. Комплексна високоякісна технологія забезпечує завершений цикл виробництва. Пресове виробництво здатне виготовляти близько 2000 найменувань деталей для модельного ряду ПАТ «ЗАЗ».

*Зварювання кузовів* здійснюється на лініях, оснащених унікальним обладнанням, яке не має аналогів в Україні.

До складу зварювального виробництва входять гнучкі автоматичні лінії виробництва фірм "Камау" (Італія), "Кука" (Німеччина) - понад 150 роботів фірми "Кука", системи керування "Texas-500" і "Alen-Bredley" (США), "Simatik-110" ("Сіменс", Німеччина).

Продукція виготовляється робототехнологічними комплексами. Максимальна механізація й автоматизація зварювального виробництва дозволяє при невеликих трудовитратах не тільки забезпечувати якість відповідно до найсуворіших вимог, але і контролювати його сучасними засобами діагностики.

*Цех фарбування* ПАТ "ЗАЗ": фарбувальне виробництво оснащене обладнанням провідних фірм Німеччини, Італії, Франції. Технології і матеріали повністю відповідають сучасним європейським і світовим

стандартам. Фахівці, які працюють на цьому виробництві, мають високопрофесійний підхід до роботи, адже кожен розуміє, що саме тут, на фарбувальному виробництві, створюється індивідуальність авто, а значить - індивідуальність його майбутнього власника.

Підготовка поверхні кузова здійснюється із застосуванням прогресивної суміші фосфатування і катодного електрофорезу, а використання ґрунтовок без вмісту свинцю значно поліпшує базу для подальшого нанесення фарби.

Модернізація і реконструкція технологічних ліній дозволяють збільшити продуктивність праці і знизити трудомісткість, а нове обладнання забезпечує додаткову чистоту кузова і гарантує високу якість фарбування.

Концентрована професійна робота автозаводчан на конвеєрі, автоматизована система виробництва із застосуванням спеціальних інструментів, сучасних засобів регуляції і діагностики, контролю параметрів автомобіля в цілому і кожного з його вузлів забезпечують складальне виробництво на ЗАЗі. Це виробництво, де надійність кожного вузла автомобіля проявляється в комплексі його складання, є серцем підприємства.

Сьогодні в складальному виробництві застосовується принцип потокової лінії з використанням високотехнологічних конвеєрних систем, що дозволяють одночасно складати декілька моделей і модифікацій автомобілів.

І за зовнішнім виглядом, і за технічним оснащенням цех здачі відповідає найвищим європейським стандартам. Сучасне прогресивне обладнання, системний підхід до випробувальних перевірок готових авто, а також чудові умови праці для робітників, - усе це забезпечує високий рівень роботи цеху здачі.

У цеху здачі кожний автомобіль проходить остаточну перевірку перед відвантаженням у дилерську мережу.

Нова камера герметичності, у якій автомобіль перевіряється на водонепроникність, дозволяє контролювати якість авто.

Побудований за аналогією до треків, на яких підприємства "Дженерал Моторз" випробовують свої авто, заводський трек для ходових випробувань

автомобілів нічим не поступається закордонним. П'ять ділянок треку зі спеціальним покриттям дозволяють перевіряти роботу кожного автомобіля в умовах вібрації. Різноманітна конфігурація нерівностей допомагає вчасно виявити можливі шуми й усунути їх.

Кожен транспортний засіб, виготовлений на Запорізькому автомобілебудівному заводі, спочатку проходить випробування пробігом по спеціальних ділянках треку, що імітують реальні умови дороги, а потім здійснюється контрольний огляд автомобіля на естакаді. Ці заходи - необхідна умова для гарантії повної безпеки, яку матимуть майбутні власники нових авто.

При відновленні роботи підприємства після закінчення війни, та враховуючи досвід складання автомобілів машино комплектами, самою завантаженою ділянкою буде контейнерна площадка, куди будуть надходити машино комплекти.

На території підприємства розміщено 3 контейнерні площадки. Так званий «нижній»термінал або контейнерна площадка № 2 є найбільш завантаженим, оскільки на ній передбачається переробка як контейнерів з дрібно вузловими машино комплектами, так і з крупно. Контейнерна площадка обладнана козловим краном, технічна характеристика якого наведена в таблиці 1.1. Навантажувально-розвантажувальні роботи з контейнерами виконується за допомогою даного козлового крану оснащеного спредерним захватом та 2 стропольщиків.

У роботі цього терміналу є наступні проблеми:

- 1) нестача площі;
- 2) недостатня переробляючі здатність;
- 3) хаотичне розміщення контейнерів.

Наслідком є великий простій вагонів та контейнерів. Для ліквідації цих недоліків в магістерській роботі оптимізуємо роботу крану за допомогою математичних методів.

## 1.2 Аналіз методів оптимізації роботи кранів

На даний момент існує декілька методів оптимізації роботи кранів на контейнерних пунктах, які можна об'єднати у три великі групи. [1]

1. Метод лінійного програмування.
2. Рішення у термінах задачі комівояжера.
3. Евристичний метод.

*Метод лінійного програмування.* Досконалість роботи контейнерних пунктів складається головним чином у покращенні використання навантажувально-розвантажувальних машин, збільшенні їх продуктивності, зниженні трудових затрат, зменшенні витрат електроенергії, скорочення простою вагонів та автомобілів.

На сортувальних пунктах, де контейнерні площадки спеціалізовані у відповідності до плану формування, вивантажені із вагонів контейнери встановлюють на відповідні місця. Щоб завантажити контейнери на звільнені місця у вагонах крани направляють до ділянки, спеціалізація якого співпадає з новим призначенням вагону. Однак скласти раціональний план роботи крану на довгостроковий період важко тому, для кожного циклу встановлюють схему руху по найкоротшій відстані переміщення.

Найпростіший критерій оптимальності – пробіг крану, однак треба врахувати, що у мостових та козлових кранів він складається з пробігу візка та моста (ферми). У якості критерію приймають так званий приведений пробіг, під яким розуміють загальний час на переміщення вантажу або порожнього захватного органу (крюка, автостропу) з однієї точки у іншу з суміщенням операцій. Практично приведений пробіг – це найбільший з двох величин час переміщення візка або переміщення моста. У відповідності до цього критерію можна скласти матрицю пробігів крану між контейнеро – місцями на площадці та у вагонах в одиницях часу. Вводяться наступні позначення:

$H$  – множина точок – контейнеро – місць у вагонах;

$R$  – теж на контейнерній площадці (занятих та вільних);

$M$  – множина точок, які відповідають контейнерам, розміщеним на контейнерній площадці, які треба завантажити у вагони;

$L$  – теж, розміщеним у вагонах, які треба вивантажити;

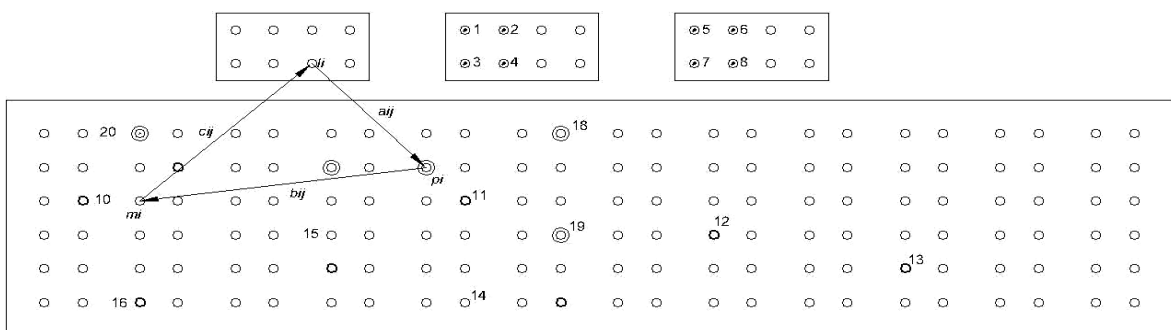
$P$  – множина точок, відповідно до вільних контейнеро – місць та контейнерній площадці;

$h_i, r_i, m_i, l_i, p_i$  – елементи відповідних множин ( $i = 1, 2, \dots, n$ );

$a_{ij}$  – відстань між  $l_i$  та  $p_j$ ;  $b_{ij}$  – між  $p_i$  та  $m_j$ ;  $c_{ij}$  – між  $m_i$  та  $l_j$ ;

$n$  – кількість контейнерів, які вивантажуються із вагонів.

Умови роботи крану наступні:  $L \subset H$ ;  $P \subset R$ ;  $M \subset R$ ; послідовність переміщення крану  $L \rightarrow P \rightarrow M \rightarrow L$ . Шлях переміщення складається із замкнутих маршрутів, кожен із яких відповідає циклу роботи крану. Якщо початком замкнутого маршруту є елемент  $l_R$ , то цей же елемент є і закінченням маршруту (рисунок 1.1). У кожній точці множин  $M$  та  $P$  кран може бути лише по одному разу, множини  $L$  – два рази. Задачу можна сформулювати наступним чином:  $M$ ,  $P$  та  $L$ .



$m_i$  – контейнери, що підлягають завантаженню у вагони;

$l_i$  – вивантаженню;  $p_i$  – вільні контейнеро – місця

Рисунок 1.1 – Модель контейнерного пункту

Послідовність рішення наступна:

1. Знаходять значення  $a_{ij}$ , які дають мінімальний сумарний пробіг на перших ділянках замкнених маршрутів (між елементами множин  $L$  та  $P$ ).

2. На основі обраних  $a_{ij}$  складають нову матрицю  $D$  з елементами  $d_{ij}$  для наступних двох ділянок маршрутів. У строку її  $k$  вносять відстані від точки  $p_k$  до точки  $l_t$  крізь точки  $m_i$ .

3. Знаходять значення  $d_{ij}$ , що дають мінімальний сумарний пробіг на наступних двох ділянках маршрутів.

4. Пошук  $a_{ij}$  та  $d_{ij}$  можна інтерпретувати як транспортну задачу з обмеженнями:

$$\sum_{i=1}^n \xi_{ij} = 1 \text{ при усіх } j; \quad (1.1)$$

$$\sum_{j=1}^n \xi_{ij} = 1 \text{ при усіх } i.$$

де  $\xi_{ij}$  - кількість вантажу, що рухається із пункту відправлення  $i$  в пункт призначення  $j$ .

В розглянутому випадку у кожному пункті відправлення знаходиться, а у кожному пункті відправлення знаходиться одна одиниця продукції. Таким чином, загальний мінімальний пробіг крану

$$G = \min \sum_i \sum_j \xi_{ij} a_{ij} + \min \sum_i \sum_j \xi_{ij} d_{ij}. \quad (1.2)$$

Для рішення задачі цим методом необхідно, щоб  $\sum p_i = \sum m_i$ .

Для прикладу розглянемо рисунок 1.1, на якому представлена модель контейнерної площадки без спеціалізації ділянок. Необхідно контейнери 1-8

(елементи множини L) встановити на площадку, а 9-16 (елементи множини M) – завантажити у вагони. Вільні місця 17-20 (елементи множини P). Відстань між місцями приведені у таблицях 1.1 та 1.2.

Методом цілочисельного програмування знаходимо елементи матриці, що мінімізують лінійну форму (виділені у таблиці 1.1), потім обираємо підмножину S.

У нього увійдуть точки 9, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20. Відстань між точками множини M та підмножини S приведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.1 - Матриця відстаней між елементами множин L та M

$l_i$	$m_i$							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	<u>16</u>	20	11	14	20	18	17	23
2	15	<u>19</u>	9	13	19	16	16	22
3	18	22	12	13	18	18	18	<u>24</u>
4	17	21	<u>10</u>	12	17	16	17	23
5	26	30	18	14	15	21	24	32
6	26	30	17	<u>12</u>	14	20	<u>24</u>	31
7	28	33	20	15	<u>15</u>	22	27	34
8	28	32	19	14	<u>14</u>	<u>21</u>	26	33

Таблиця 1.2 - Матриця відстаней між елементами множин L та S

$l_i$	$s_i$							
	9	11	12	13	17	18	19	20
1	16	11	14	20	14	6	13	16
2	15	9	13	19	13	4	11	15
3	18	12	13	18	16	7	13	18
4	17	10	12	17	15	5	11	17
5	26	18	14	15	24	13	17	27
6	26	17	12	14	23	12	16	26
7	28	20	15	15	26	15	19	29
8	28	19	14	14	25	14	18	29

Зараз складаємо матрицю D (таблиця 1.4). У першій її строчці приводимо відстань між точками 9 та 1 послідовно крізь точки 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20 (підмножина S), а у другій – аналогічно відстані між точками 10 та

2, у третій – між точками 11 та 4 і т.д. Розв'язавши матрицю D, знайдемо значення  $d_{ij}$  (виділені), що мінімізують лінійну форму. Послідовність роботи крану:

1 → 20 → 9 → 1 → 2 → 9 → 10 → 2 → 3 → 17 → 16 → 3 → 4 → 18 → 11 → 4 → 5 →  
 → 1 → 15 → 5 → 6 → 13 → 11 → 4 → 5 → 11 → 15 → 5 → 8 → 19 → 14 → 8 → 6 →  
 → 14 → 12 → 6 → 7 → 12 → 13 → 7. Загальний пробіг крану при цьому  
 варіанті 321 м.

Послідовність роботи крану з переміщенням на найкоротшу відстань при навантаженні або розвантаженні кожного наступного контейнеру така:

1 → 18 → 11 → 1 → 2 → 19 → 12 → 2 → 3 → 12 → 14 → 3 → 4 → 14 → 13 →  
 → 4 → 5 → 11 → 15 → 5 → 6 → 15 → 16 → 6 → 7 → 20 → 9 → 7 → 8 →  
 → 9 → 10 → 8.

Загальний пробіг 366 м. Економія  $(366 - 312) / 366 \cdot 100 = 15\%$ . Кількість контейнерів, що вивантажуються 8. При більшій кількості контейнерів ефект збільшується як в абсолютному, так і у відносному виразі.

Таблиця 1.3 - Матриця відстаней між точками множини M та підмножини S

$m_i$	$s_i$							
	9	11	12	13	17	18	19	20
9	-	11	20	27	4	14	14	20
10	4	14	23	30	7	18	19	5
11	11	-	9	16	7	6	4	13
12	20	9	-	7	16	9	6	22
13	27	16	7	-	7	15	12	29
14	17	8	8	12	12	12	5	19
15	9	7	14	20	5	12	8	12
16	9	14	21	27	8	9	16	12

Таблиця 1.4 - Матриця для визначення оптимального маршруту крану

$m_i$	$s_i$							
	9	11	12	13	17	18	19	20
9	$\infty$	22	34	47	18	20	27	<b>19</b>
10	<b>19</b>	23	36	49	20	22	30	20
11	28	$\infty$	21	33	22	<b>11</b>	15	30
12	46	26	$\infty$	<b>21</b>	39	21	22	48
13	56	36	<b>22</b>	$\infty$	33	30	31	58
14	35	27	22	26	37	26	<b>23</b>	48
15	35	<b>25</b>	28	35	29	25	25	39
16	27	34	34	45	<b>24</b>	16	29	30

*Рішення у термінах задачі комівояжера.* На практиці принцип замкнених маршрутів переміщення кранів не завжди дотримуються. Кран працює наступним чином. Спочатку він знімає та ставить на площадку по одному контейнеру з кожного вагона, що прибув. Якщо в цьому вагоні немає контейнерів для накопичення на площадці, то у наступному він знімає 2 контейнерів. Якщо у цьому немає. То він знімає 3 у наступному і т.д., щоб загальна кількість вільних контейнеро-місць у вагонах дорівнювала кількості вагонів у подачі.

Оптимізація роботи крану зводиться до рішення задачі комівояжера із урахуванням особливостей, характерних для контейнерної площадки: кран не повинен вертатися до початкової точки; у точках множин  $Z$  і  $M$  кран може бути не один, а два рази.

Приклад. Задані точки 1-6 та відстань між ними. Оберемо за початок маршруту точку 1. Оскільки рух можна закінчити у будь-якій точці, розглядають поетапно шляхи до них, починаючи з кінцевого етапу (відрізка шляху). Якщо шлях закінчується у точці 2, то до неї на останньому етапі можна потрапити із точок 3, 4, 5, 6, а на передостанньому – із будь-якої точки (окрім 1) через будь-яку третю (наприклад, із точки 3 по наступним шляхам: 3 – 4 – 2; 3 – 5 – 2; 3 – 6 – 2; із точки 4: 4 – 3 – 2; 4 – 5 – 2; 4 – 6 – 2 і т.д.) Оберемо із них найкоротші маршрути та запам'ятаємо їх, наприклад: 3 – 5 – 2; 4 – 6 – 2; 5 – 4 – 2; 6 – 5 – 2.

На більш ранньому етапі у точку 2 можна потрапити із будь-якої точки крізь 2 інші, наприклад, із точки 3:  $3 - 4 - 5 - 2$ ;  $3 - 4 - 6 - 2$ ;  $3 - 6 - 4 - 2$ ;  $3 - 6 - 5 - 2$ ;  $3 - 5 - 4 - 2$ .

Із точки 4 на передостанньому етапі шлях до точки 2 вже визначен, так як і із точок 5 та 6. Тому на цьому етапі необхідно лише к попереднім відстаням прибавити відстань від точки 3 до точок 4, 5 та 6 та обрати найкоротший маршрут. Нехай це буде  $3 - 4 - 6 - 2$ . Також робимо і при розрахунку маршрутів у точку 2 із точок 4, 5 та 6.

Послідовність розрахунків у припущенні, що шлях закінчується у точках 3, 4, 5 та 6, така ж сама. Таким образом, можна отримати найкоротший шлях, обходячи кожен точку один раз. Такий спосіб не виключає втрату строго оптимального варіанту, особливо при великій різниці відстаней між точками. Однак його можна використовувати на практиці.

Розглянемо примір рішення з використанням теорії графів. Несиметрична матриця відстаней для точок, позначених на рисунку 1.2, дана у таблиці 1.5. Приймаючи на кінець маршруту точку 1 (за умовою задачі повернення у початкову точку обов'язкове), розрахуємо довжину маршрутів із точки 2 крізь усі інші точки, тобто  $2 - 3 - 1$ ;  $2 - 4 - 1$ ;  $2 - 5 - 1$ ;  $2 - 6 - 1$ . Найкоротший із них  $2 - 3 - 1$  – його довжина 36 м. Цю величину з індексом 3 розміщують у другу строку стовпця  $K_1$  табл. 1.6 (стовпці  $K_1, K_2, \dots, K_n$  - етапи розрахунків). Потім аналогічно знайдемо мінімальний із маршрутів  $3 - 2 - 1$ ;  $3 - 4 - 1$ ;  $3 - 5 - 1$ ;  $3 - 6 - 1$ . Це буде маршрут  $3 - 5 - 1$ , його загальна довжина 17. З індексом 5 заносимо її у третю строку стовпчика  $K_1$ . Мінімальні маршрути із точок 4, 5 та 6 заносимо відповідно у четверту, п'яту та шосту строки стовпця  $K_1$ .

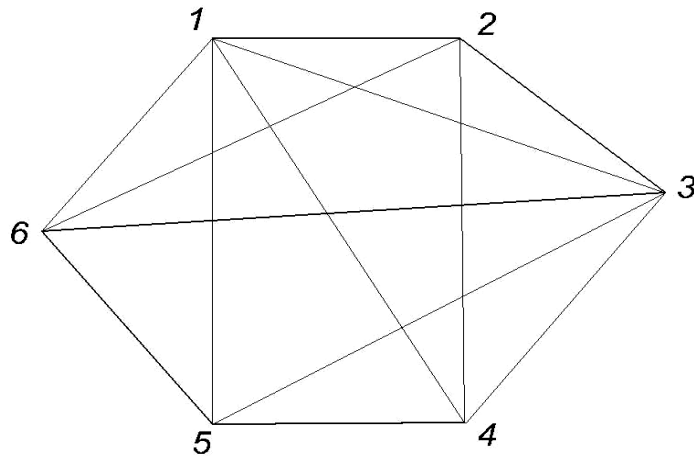


Рисунок 1.2 – Схема маршрутів

Таблиця 1.5 - Матриця для визначення оптимального маршруту крану

Номер точки	9	11	12	13	17	18
1	$\infty$	22	34	47	18	20
2	7	23	36	49	20	22
3	28	$\infty$	21	33	22	<b>11</b>
4	46	26	$\infty$	<b>21</b>	39	21
5	56	36	<b>22</b>	$\infty$	33	30
6	35	27	22	26	37	26

На другому етапі обчислюємо маршрути на один рейс довше попереднього, враховуючи, що маршрути, які включають два останніх рейсів, вже знайдені. Так, маршрути крізь точку наступні: 2 – 3 – 5 – 1 та 2 – 5 – 6 – 1. Відстань коротшого з них 2 – 3 – 5 – 1 дорівнює 38. Цю величину з індексом 3 заносимо у другу строку стовпця  $K_2$ .

Маршрути через точку 3: 3 – 4 – 2 – 1; 3 – 5 – 6 – 1 та 3 – 6 – 2 – 1. Мінімальний з них 3 – 6 – 2 – 1 дорівнює 12. Цю величину з індексом 6

заносимо у третю строку стовпця  $K_2$ . Продовжуючи таким чином розрахунки, заповнимо усі строки стовпчиків  $K_1 - K_4$ . На останньому етапі (стовпчик  $K_5$ ) до довжин маршрутів у стовпчику  $K_4$  додаємо відстань від точки 1 до початку маршрутів, позначених відповідними індексами.

Мінімальна величина – мінімальний загальний замкнений маршрут. У цьому випадку він 63.

Слідуючи в оберненому напрямку (див. стрілки у табл. 1.6), у відповідності з індексами точок находимо оптимальний маршрут: 1 – 4 – 3 – 5 – 6 – 2 – 1. Відмічається, що цей результат такий як і отриманий точним методом.

Таблиця 1.6 – Вибір оптимального маршруту

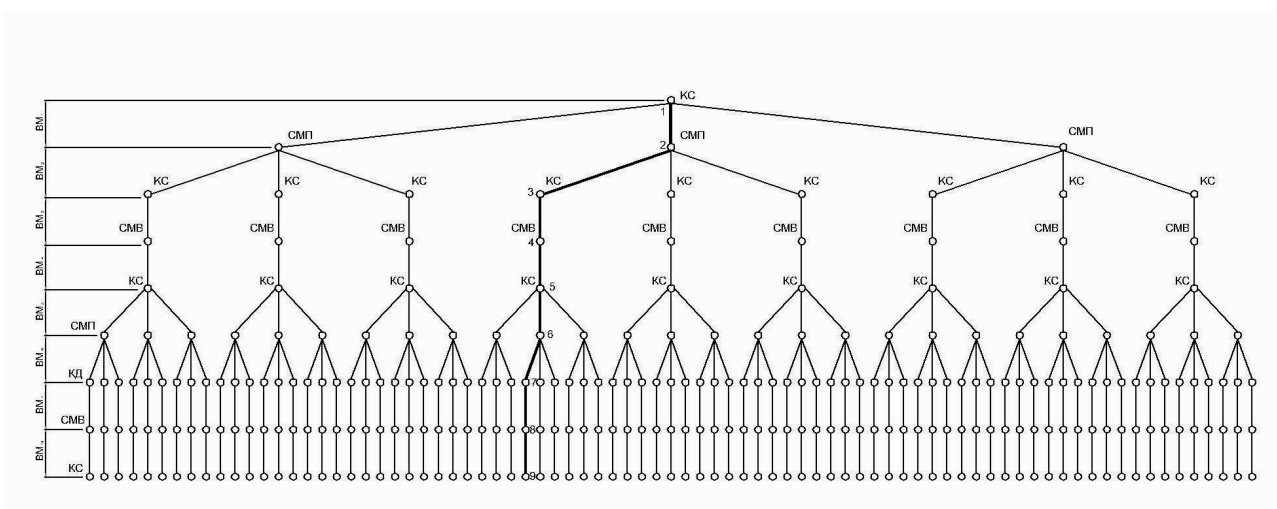
Номер точки	Етап розрахунку					Номер точки
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	
1	----	----	---	----	63 <sub>8</sub>	1
2	36 <sub>3</sub>	38 <sub>6</sub>	47 <sub>6</sub>	----	----	2
3	17 <sub>5</sub>	12 <sub>6</sub>	22 <sub>5</sub>	70 <sub>4</sub>	----	3
4	23 <sub>2</sub>	30 <sub>6</sub>	35 <sub>5</sub>	47 <sub>3</sub>	----	4
5	28 <sub>6</sub>	17 <sub>6</sub>	39 <sub>3</sub>	----	----	5
6	12 <sub>2</sub>	22 <sub>3</sub>	13 <sub>2</sub>	----	----	6

Якщо матриця відстаней симетрична, то алгоритм суттєвого спрощується та нормалізується. Процедура обчислення зводиться до послідовного складання стовбців матриці відстаней.

Евристичний метод. Розглянуті методи оптимізації роботи кранів придатні головним чином для сортувальних контейнерних пунктів, коли ситуація на площадці не залежить від роботи автомобільного транспорту. Для вантажних та вантажосортувальних пунктів, де ситуація змінюється у залежності від ввезення вивезення контейнерів, необхідний більш універсальний метод рішення. Розраховують ряд варіантів роботи кранів на

декілька етапів (наприклад  $k$ ), прийнявши обмеження, відповідно яким із точки, де закінчився попередній маршрут, кран може зробити наступний рейс в  $n$  ближчих точок. Загальна кількість розрахункових варіантів  $N = n^k$ .

Для схеми, приведеної на рисунку 1.3  $n = 3$ ,  $k = 4$ ; загальна кількість розрахункових варіантів  $N = 3^4 = 81$ . Приведені пробіги крану у кожному варіанті зрівнюють між собою та обирають найменший. Нехай це буде варіант маршруту крана  $1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7$ . З нього складають рейс необхідний для обробки лише першого контейнеру ( $1 - 2 - 3 - 4$ ). Потім процедура порівняння варіантів повторюється, починаючи з другого контейнера, і т.д. Окрім універсальності, цей метод скорочує затрати машинного часу, оскільки кількість розрахункових варіантів прямо пропорційне кількості розрахункових точок, у той час як при лінійному програмуванні час розрахунку в залежності від кількості точок збільшується по експоненціальній кривій.



*КС* - контейнер, який знімається з вагону; *СМП* - вільне місце на площадці; *КД* - контейнер, який завантажується у вагон; *СМВ* - вільне місце у вагоні; *ВМ* - маршрут крану

Рисунок 1.4 – Схема розрахунку варіантів роботи крану

Метод евристичного програмування, не виключає втрати оптимального варіанту, але дозволяє отримати варіант кращий, ніж розрахований по принципу вибору коротшого рейсу на кожному етапі обробки одного контейнера. У 80-х роках ВНДІЖТом була розроблена програма розрахунку плану роботи крана на ЕОМ. Вона складається з чотирьох зв'язаних між собою блоків. Перший – розрахунок маршруту крана при зніманні контейнера по одному з кожного вагону до початку сортування; другий (основний) – розрахунок оптимального маршруту при сортуванні контейнерів усієї подачі; третій (контрольний) – перевірка правильності розрахунку та при зупинці необроблених контейнерів розрахунок маршруту для їх обробки; четвертий – друк результатів (координат контейнерів та контейнеро – місць у послідовності, відповідно до переміщення крану та його вантажозахватного механізму). Під час розрахунку відбувається корекція, а по закінченню розрахунку кожного варіанту – ре корекція ситуації на контейнерній площадці. При корекції признак «Зайнято» (1) вноситься до списку раніше вільних місць на площадці, «Оброблено» (1) – у список контейнерів у вагоні та на площадці, «Зайнято» (1) або «Вільно» (0) – до списку вільних контейнеро – місць у вагоні.

На основі цієї програми та алгоритму були виконані дослідницькі розрахунки роботи кранів на контейнерному пункті станції Знаменка Північно-Західної дороги, оснащеної козловим електричним краном з прольотом 11,3 м. Пробіг крану скоротився приблизно на 11,5 %.

Розглянуті методи не можна впровадити в умовах ПАТ «ЗАЗ», оскільки в них є спільна умова, що кількість вивантажених контейнерів повинна дорівнюватися завантаженим. Але ця умова далеко не завжди виконується на контейнерному терміналі ПАТ «ЗАЗ».

### 1.3 Аналіз досвіду роботи контейнерних терміналів

Товариством з обмеженою відповідальністю «Модуль» розроблено засіб завантаження та розвантаження контейнерів, що перевозяться залізничними платформами. [2] Цей винахід відноситься до залізничних перевезень як складової частини мультимодальних перевезень. Технічним результатом винаходу є отримання технології перевезення дрібних вантажів на експорт у 40-футових контейнерах міжнародного стандарту зі складів підприємств, що не мають обладнання для перевантаження навантажених контейнерів. При реалізації способу встановлюють зйомку апарель, зйомник металевий настил, два мостика перехідних металевих (полегшених), контейнерний трап для формування траси руху автонавантажувача з вантажем із використанням нової технології руху автонавантажувача у оброблювальний контейнер, де виконується розвантаження.

Засіб завантаження та розвантаження контейнерів, які перевозяться на залізничних платформах, складається у тому, що завантаження та розвантаження контейнерів здійснюють безпосередньо на залізничних платформах, з'єднаних між собою вздовж естакади, виконуючи транспортні та перевантажувальні операції автонавантажувачем, причому для переміщення автонавантажувача до оброблювального контейнера використовують апарель для його в'їзду з естакади на площадку розвороту навантажувача на  $90^0$  та переміщення його в бік оброблювального контейнеру та площадки для в'їзду автонавантажувача у контейнер, що оброблюється. Особливість цього способу є те, що у якості апарелі використовують відокремлену з'ємну площадку та з'єднують за її допомогою естакаду та вільну зону робочої поверхні залізничної платформи, яка несе оброблювальний контейнер, у якості площадки для розвороту автонавантажувача на  $90^0$  використовують настил, що знімається, який встановлюють у вказаній вільній зоні робочої поверхні залізничної

платформи, яка несе необроблений контейнер, потім між двома суміжними залізничними платформами встановлюють перехідний місток для переїзду автонавантажувача зі залізничної платформи, що несе необроблений контейнер, на платформу, що несе оброблювальний контейнер, причому останню встановлюють перед оброблювальним контейнером контейнерний трап, який знімається та утворює площадку для в'їзду автонавантажувача у оброблювальний контейнер.

Використання цього методу дозволяє отримати наступний комплекс переваг: усі учасники перевезень отримують прямий економічний ефект. Доходи залізниці збільшуються на 4-5 доларів за тону, оскільки тарифи на перевезення контейнерів вищі, ніж при вагонних відправках. Витрати вантажовідправника знижуються 1-1,5 долари за тону завдяки виключенню витрат на перетарювання вантажів у порту; скорочуються простой залізничних складів у пункті завантаження, особливо у морському порту, оскільки зняття контейнерів з платформ відбувається на порядок скоріше, ніж перетарювання вантажу з вагону до контейнера; об'єм мультимодальних контейнерних перевезень експортних вантажів залізничним транспортом збільшується у 2,5 рази.

Цей винахід не може бути втілений в умовах ПАТ «ЗАЗ». По-перше, цей метод розроблено для розвантаження з контейнерів дрібних вантажів до яких не відносяться машино комплекти; по-друге, в умовах ПАТ «ЗАЗ» при проведенні вантажно-розвантажувальних робіт з контейнерами використовується козловий кран, який менш мобільний та має більший коефіцієнт використання площини контейнерного терміналу, ніж автонавантажувач.

Закритим акціонерним товариством «Енергет і Ко» розроблена та впроваджена автоматизована система позиціювання вантажопідйомного крану та контейнерів на контейнерній площадці, яка включає ідентифікацію контейнерів та облік їх переміщення.

Винахід може бути використано на контейнерних площадках залізниці, вантажних терміналів у морському порту, на контейнерних площадках складів і т.д. По осям X та Y між основними датчиками місцезнаходження встановлені додаткові датчики місцезнаходження для забезпечення плавного виходу крана та його вантажозахватного пристрою на задану координату. На вантажозахватному органі встановлено датчик наявності вантажу, який підключено до бортового комп'ютера для розрахунку кривою розгону та гальмування крана при умові забезпечення мінімального розхитування контейнера. Зчитувальний пристрій виконані з можливістю зчитування інформації з кодових бортових датчиків та пломб, якими оснащені контейнери, та передачі цієї інформації у бортовий комп'ютер, звідки ця інформація при необхідності постачається до Центру управління. Кожен датчик місцезнаходження включає послідовно з'єднані генератор, кодер, модулятор. Кожен зчитувальний пристрій виконано з можливістю випромінювання високочастотного сигналу через радіо модем або по проводам у бортовому комп'ютері. Технічним результатом винаходу є підвищення зручності в експлуатації, а також розширення функціональних можливостей. [3]

Ця система дозволяє при навантаженні-розвантаженні одночасно виконувати ідентифікацію контейнера (вантаж), а також дає можливість розрахунку кривої розгону та гальмування крану із умов мінімально розхитування контейнера при наявності вантажу на вантажозахватному пристрої та без нього.

Автоматизована система позиціонування вантажопідйомного крану та контейнерів на контейнерній площадці, що включає ідентифікацію контейнерів та облік їх переміщення, умовне розбиття горизонтальної площини контейнерної площадці та окремі посадкові місця з допомогою позначок у вигляді умовних ліній, паралельних осям X та Y, при цьому ось X визначається як умовна лінія, що проходить вздовж крайньої кромки контейнерної площадки, а ось Y визначається як умовна лінія., що проходить

поперек крайньої кромки контейнерної площадки, при цьому вздовж осі  $X$  встановлені датчики місцезнаходження, показання яких використовують для переміщення вантажозахватного крана, вздовж осі  $Y$  встановлені датчики місцезнаходження, показання яких використовуються для переміщення вантажозахватного органу вантажозахватного крану, причому датчики місцезнаходження встановлені вздовж осей  $X$  та  $Y$  таким чином, що центр кожного посадочного місця визначається як точка, отримана від перехрестя умовних ліній, проведених від координат  $X$ ,  $Y$  кожного датчика місцезнаходження, крім того, вздовж осі  $Z$ , направленої відповідно вертикально вгору відносно горизонтальної площини контейнерної площадки, встановлені датчики місцезнаходження, показання яких використовуються для визначення висоти встановлення контейнерів. Для зчитування інформації з датчиків місцезнаходження у системі передбачені зчитувальні пристрої, відповідно зчитувальний пристрій  $CV_Y$  встановлене на тельфері крану та зчитувальний пристрій  $CV_Z$  встановлене на вантажозахватному органі крану, причому усі зчитувальні пристрої з'єднані провідним або радіоканалом через пристрій з'єднання з бортовим комп'ютером, який підключено до панелі вводу інформації та до табло крана. Бортний комп'ютер також має зв'язок з центром управління та крізь блок управління керує роботою відповідних двигунів  $\ddot{A}_X, \ddot{A}_Y, \ddot{A}_Z$  вантажозахватного органу крана. Крім того, по осям  $X$  та  $Y$  між основними датчиками місцезнаходження встановлені додаткові датчики місцезнаходження для забезпечення плавного виходу крана та його вантажозахватного органу на задану координату. Вантажозахватний орган обладнано датчиком наявності вантажу, який підключений до бортового комп'ютера для розрахунку кривої розгону та гальмування крана при умові забезпечення мінімального розхитування контейнера. Кожен датчик місцезнаходження вміщує послідовно з'єднані генератор, який формує задану тактову частоту, та кодер, який має інформацію, що заноситься

одноразово зовні, модулятор, який передає отриману інформацію у випромінювальну антену. Кожний зчитувальний пристрій складається з приймаючий та передаючий антени, СВЧ – приймача, блоку обробки інформації та виконано з можливістю отримання високочастотного сигналу по радіозв'язку.

Зчитування інформації з усіх датчиків місцезнаходження виконується дистанційно з відстані до 3 м, що не потребує значних площин самого контейнерного терміналу. Вони працюють на чистоті  $f = 850 - 300$  МГц або  $f = 2400 - 2450$  МГц.

Ця система може бути впроваджена в умовах ПАТ «ЗАЗ», оскільки не потребує значних площин для устаткування датчиків місцезнаходження та потребує відносно не великих інвестицій.

Закритим акціонерним товариством «Саттеліт-СПб» впроваджена та запатентована комп'ютерна система управління портовим контейнерним терміналом. Ця комп'ютерна система відноситься до автоматизованих систем для впорядкованого транспортування та складування контейнерів різного призначення та може бути використана для прийняття оперативних рішень на всіх рівнях управління та контролю за навантажувально-розвантажувальними та транспортно-складськими процесами з використанням комп'ютерної техніки та машино зчитувальних штрихових кодів. Технічний результат полягає у підвищенні оперативності та точності визначення місцезнаходження контейнерів у процесі їх транспортування та складування. Ця система містить систему прийому та передачі інформації, диспетчерський геодезичний пункт, на якому встановлено приймач GPS з антеною, дуплексна та передаюча радіостанції, на кожному навантажувачі та трейлері встановлено два приймача та дуплексна радіостанція. [4]

Комп'ютерна система управління портовим контейнерним терміналом, яка містить диспетчерський геодезичний пункт, на якому встановлені приймач GPS з антеною, що призначена для прийому навігаційного сигналу, який використовується для обчислення диференційних виправлень на

навантажувачі та трейлери. На кожному навантажувачі на трейлері встановлені перший приймач з антеною, який приймає диференційні виправлення з диспетчерського геодезичного пункту, та другий приймач з антеною, призначений для прийому навігаційного сигналу, що використовується для обчислення диференційних виправлень. Дуплексні радіостанції розміщені на диспетчерському геодезичному пункті та на кожному навантажувачі та трейлері. Між цими пунктами встановлені пейджингова та двостороння радіо зв'язки безпосередньо і/або крізь систему прийому та передачі інформації.

Перший приймач розміщений на навантажувачі та трейлері є підсилювачем другого. А другий приймач містить обладнання, що з'єднується з усією системою управління.

У якості прийому та передачі інформації використовується радіотелефонна система загального користування із сотовою структурою та супутникова система зв'язку.

Ця система забезпечує підвищення оперативності та точності визначення місцезнаходження контейнерів у процесі їх транспортування (точність 20-100 м) та складування (точність 1-5 м).

Це дозволяє автоматизувати оперативне управління всіма операціями з контейнерами на вантажем, знизити вартість їх обробки на території контейнерного терміналу та отримати точну оперативну інформацію о поточній обстановці. Крім того вона дозволяє: оперативно планувати роботу, використовуючи поточну інформацію про стан на контейнерному терміналі; звести до мінімуму ручні операції при плануванні робіт (складання планів навантаження, карго-планів, видача завдань на радіо термінали та електронне табло); оптимізувати роботу навантажувальної техніки за рахунок використання діалогового режиму при видачі команд, точній інформації о місцезнаходженні навантажувачів, оптимізації розміщення контейнерів та мінімізації переміщень порожніх трейлерів; скорочення часу простою трейлерів, автомашин, суден, залізничних складів завдяки плануванню

роботи персоналу та навантажувальної техніці та інформації о поточному знаходженні контейнерів; протоколювати час початку, закінчення та виконання операції кожним робітником терміналу; фіксувати та повідомляти менеджера об відхиленні руху навантажувачів від запланованої траєкторії, тобто фактів виходу навантажувачів за границі робочої зони, невиправдано довгих простоїв навантажувача у будь-якій зоні; фіксувати досягнення трейлером визначеної зони терміналу, та отже, скорочувати простої трейлерів у чергах.

Цей метод не підходить до умов контейнерного терміналу ПАТ «ЗАЗ», оскільки розрахований на доволі великий за обсягом переробки портовий термінал. Також для впровадження цієї системи та встановлення всього обладнання потрібні дуже великі капітальні вкладення.

#### 1.4 Програмне рішення Solvo.СТMS

На російському ринку автоматизоване управління контейнерним терміналом представлено програмним рішенням Solvo.СТMS (Китай). Solvo.СТMS.- рішення, яке автоматизує усі операції з контейнерами та вантажем на території контейнерного терміналу. Основною задачею системи є автоматизація оперативного управління усіма операціями з контейнерами, що дозволяє знизити вартість та строки їх обробки та території контейнерного терміналу та яка надає можливість отримання точної інформації о поточній обстановці з метою оперативного планування роботи контейнерного терміналу. [5]

Система Solvo.СТMS складається з 5 підсистем, кожна з яких направлена на рішення своїх конкретних задач. Підсистема управління контейнерною площадкою виконує автоматичне визначення оптимального місцезнаходження прибуваючих на термінал контейнерів перед їх завантаженням на відповідний транспортний засіб. У результаті відбувається мінімізація переміщень контейнерів за рахунок їх раціонального розміщення

на території контейнерного терміналу. Підсистема планування навантаження/розвантаження суден забезпечує їх завантаження з використанням найбільш економічного, швидкого та ефективного засобу завантаження з урахуванням необхідних факторів (типу контейнерів, його ваги, пункту доставці, статусу и т.д.). Введення вихідних даних відбувається із різних джерел (центральної системи управління, карго-планів и т.д.).

Підсистема позиціонування висліджує рух навантажувачів та контейнерів по території терміналу та представляє інформацію про їх місцезнаходження на визначених момент часу. У результаті виключаються втрата контейнерів.

Підсистема електронної ідентифікації визначає момент досягнення трейлером певної зони терміналу. У результаті скорочуються простой трейлерів у чергах, Скорочення ручного введення з клавіатури радіо терміналу при перевірці змісту трейлера тальманом.

Підсистема радіообладнання підтримує діалоговий режим між системою управління та персоналом. Як результат отримуємо оперативну інформацію о початку та завершенні виконання завдань або о проблемах, які перешкоджають його виконанню. Також протоколюється час початку, закінчення та виконання операції кожним робітником терміналу.

У рішенні Solvo.CTMS реалізовано набір графічних інтерфейсів настройки параметрів, які призначені для адаптації системи під специфіку діяльності заказчика. За допомогою даного інтерфейсу заказник може не тільки отримувати візуальну інформацію про топологію складу та його наповненості, але й самостійно редагувати топологію: створювати нову або замінити існуючу, не звертаючись за допомогою до розробника системи.

Система оперативного управління контейнерним терміналом працює у взаємодії з корпоративною системою. Основні документи поступають до корпоративної інформаційної системи, та після їх обробки передаються до системи управління контейнерним терміналом. На їх основі виконуються технологічні операції на терміналі. При виконанні проектів компанія

розробила методи інтегрування автоматизованих систем з такими корпоративними системами управління, як SAP R/3, Ахарта, 1С, Монолит, Галактика та ін.

Система Solvo.СТMS інтегрується також з системою супутникової навігації GPS для контролю за переміщенням контейнерів та запобігання їх втрати. Набір графічних інтерфейсів диспетчера дозволяє слідкувати за обстановкою на терміналі та своєчасно усувати виникаючі проблеми. Диспетчер отримує повну інформацію о поточних роботах та етапі їх виконання. Ця система веде протоколювання усіх подій, що відбуваються на терміналі, що дозволяє у будь-який момент часу отримувати історію по заданому об'єкту: контейнеру, робітнику, трейлеру, контейнеровозу.

Розглянута система може бути втілена в умовах ПАТ «ЗАЗ», тому що може пристосовуватися до усіх умов роботи контейнерного терміналу. Але на її впровадження потрібні інвестиції, які на сьогодні не може виділити підприємство.

### 1.5 Постановка задачі магістерської роботи

Транспортна підсистема ПАТ «ЗАЗ» є складовою структурою функціонування якої залежить від багатьох факторів, таких як невизначеність більшості вхідних даних, випадковість зовнішнього та внутрішнього впливів, складність застосованого обладнання та механізмів, важкість у організації надійного обліку і оперативного керування виробничого процесу.

Внаслідок неефективної організації обслуговування залізничного транспорту та обробки контейнерів у даній момент на підприємстві спостерігається досить великий час простою рухомого складу на під'їзних коліях, що прямолінійно відображається на простой контейнерів. Також значний час знаходження контейнерів під обробкою на контейнерних терміналах говорить про погану організаційну роботу контейнерних площадок.

Існуючі недоліки в організації роботи контейнерного терміналу ПАТ «ЗАЗ» вимагають пошуку ефективних методів та технологій управління. Одним із резервів підвищення продуктивності роботи крану та зменшення тривалості обробки вагонів на терміналі є скорочення непродуктивних пробігів крану. В даній роботі для цього пропонується використання методів математичного моделювання.

## 2 РОЗРОБКА МЕТОДИК ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ КРАНУ НА КОНТЕЙНЕРНОМУ ТЕРМІНАЛІ

### 2.1 Регресійний аналіз часу технологічних переміщень крану

Якщо між випадковими величинами існує така залежність, що одна з них реагує на зміну іншої зміною свого закону розподілення, то такий зв'язок називають стохастичним (імовірним). Стохастичний зв'язок між випадковими величинами проявляється тоді, коли мають загальні випадкові фактори, які впливають як на одну, так і на другу величину разом з іншими неоднаковими для загальних величин випадковими факторами.

Подобними зв'язками між випадковими величинами займається теорія кореляції. Теорія кореляції дає обґрунтований прогноз того, у яких межах змінюється показник, що нас цікавить (залежна змінна), якщо інші зв'язані з нею параметри (незалежні змінні) отримають певні значення. Разом з тим слід дуже обережно користуватися результатами кореляційного аналізу. Кореляційні залежності, отримані від якого-небудь об'єкту, неможна розповсюдити на інші, хоча і аналогічні за своєю фізичною природою об'єкти без додаткового статистичного та змістового аналізу. Кореляційні залежності повинні відповідати фізичному змісту явища. При парній кореляції зв'язок між  $x$  та  $y$  полягає у тому, що при даному значенні  $y$  неможна ще визначити відповідне значення  $x$ , але можна визначити змінну  $y$  залежності від  $x$  середню величину  $\bar{y}$ . При парній кореляції  $\bar{y}$  залежить лише від якогось одного фактора  $x$ .

Тому співвідношення між  $x$  та  $y$ , визначене їх розподіленням, як правило, істотно відрізняється від функціонального зв'язку між вказаними змінними. Відомо, що при функціональній залежності кожному значенню  $x$  відповідає лише одне значення  $y$ .

Простішою характеристикою зв'язку між випадковими величинами  $x$  та  $y$  є математичне очікування добутку відхилень  $x$  та  $y$  від їх центрів, тобто

$$\text{cov}(x, y) = \mu_{xy} = M[(x - v_x)(y - v_y)] = M(x, y) - M(x)M(y). \quad (2.1)$$

Тут  $v_x = \bar{x}, v_y = \bar{y}$  є Величину  $\mu_{xy}$  називають коваріацією або моментом зв'язку. Якщо  $x$  та  $y$  незалежні (не корелюють між собою), то  $\mu_{xy} = 0$ .

У якості міри тісноти залежності між випадковими величинами  $x$  та  $y$  приймають коефіцієнт кореляції, який представляє собою наступне співвідношення:

$$R = \sqrt{\sigma^2(\bar{y}_x) / \sigma^2(y)}, \quad (2.2)$$

де  $\sigma^2(\bar{y}_x)$  - дисперсія випадкових середніх;

$\sigma^2(y)$  - дисперсія, або середній квадрат відхилення випадкової величини.

Коефіцієнт кореляції для двох величин виражають також через коваріацію за допомогою співвідношення:

$$R = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma(x)\sigma(y)} = \frac{\mu_{xy}}{\sigma(x)\sigma(y)}, \quad (2.3)$$

де  $\sigma(x)$  та  $\sigma(y)$  - середні квадратичні відхилення випадкових величин  $x$  та  $y$ .

У теорії випадкових процесів вивчають закономірності зміни випадкових величин  $x(t)$  в залежності від зміни не випадкового параметру  $t$ . Окрім дисперсії та математичного очікування важливою характеристикою випадкового процесу є коваріаційна або автоковаріаційна функція:

$$K_x(t_1, t_2) = \text{cov}[x(t_1)x(t_2)] = M\{[x(t_1) - Mx(t_1)][x(t_2) - Mx(t_2)]\}, \quad (2.4)$$

де  $x(t_1)$  та  $x(t_2)$  - два значення випадкових величин, які відповідають двом значенням  $t_1$  та  $t_2$  параметру  $t$  випадкового процесу  $x(t)$ .

У даній магістерській роботі використаємо регресійний аналіз для отримання рівняння залежності часу переміщення козлового крану від шляху його проходження між всіма контейнеро – місцями. Для проведення регресійного аналізу, побудови графіка залежності, визначення самої залежності та отримання її рівняння скористаємося програмою *CURVE.EXPERT 1.3*.

Із відстаней, який проходить кран між всіма контейнеро - місцями (X) та часу за який він їх проходить (Y) складаємо статичний ряд (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Статистичний ряд

№	X	Y	№	X	Y	№	X	Y	№	X	Y
1	19,5	36	22	13,5	25	43	19,5	36	64	6	11
2	16,5	30	23	7,5	12	44	17,5	28	65	18	33
3	16	26	24	19,5	36	45	17,5	28	66	20,5	38
4	29	47	25	13,5	25	46	37	60	67	3	6
5	29	47	26	10,5	19	47	37	60	68	12	22
6	29	47	27	10	16	48	40,5	65	69	13,5	22
7	29	47	28	23	37	49	40,5	65	70	26,5	43
8	29	47	29	36,5	59	50	27,5	44	71	26,5	43
9	29	47	30	36,5	39	51	27,5	44	72	22	36
10	42	68	31	56,5	91	52	27,5	44	73	3	6
11	42	68	32	56,5	91	53	27,5	44	74	6	11
12	42	68	33	22	36	54	27,5	44	75	13,5	22
13	42	68	34	22	36	55	27,5	44	76	13,5	22
14	55,5	90	35	22,5	41	56	14	23	77	13,5	22
15	55,5	90	36	19,5	36	57	25	46	78	13,5	22
16	75	121	37	16,5	30	58	22,5	41	79	26,5	43
17	75	121	38	13,5	25	59	16,5	30	80	39,5	64
18	75	121	39	10,5	19	60	13,5	25	81	18,5	34
19	75	121	40	9	15	61	10,5	19	82	26,5	43
20	19,5	36	41	25	46	62	24	44	83	16	26
21	16,5	30	42	25	46	63	19	31	84	13,5	22

Продовження таблиці 2.1

№	X	Y	№	X	Y	№	X	Y	№	X	Y
85	18	33	101	32,5	52	117	19,5	32	133	21,5	35
86	22	36	102	42	68	118	19,5	32	134	21	38
87	46	74	103	32,5	52	119	7	13	135	19,5	32
88	46	74	104	42	68	120	81	131	136	19,5	32
89	46	74	105	33	53	121	32,5	52	137	19,5	32
90	46	74	106	19,5	32	122	7	11	138	19,5	36
91	46	74	107	21	38	123	57,5	93	139	19,5	36
92	22,5	41	108	19,5	32	124	54	87	140	19,5	36
93	10	18	109	18,5	34	125	51	82	141	19,5	36
94	26	47	110	55,5	90	126	51	82	142	19,5	36
95	26	47	111	19,5	32	127	47,5	77	143	19,5	36
96	12	19	112	19,5	32	128	44	71	144	19,5	36
97	46	74	113	19,5	32	129	7	11	145	19,5	36
98	46	74	114	19,5	32	130	35,5	65	146	19,5	36
99	4	7	115	9,5	17	131	32,5	59	147	19,5	36
100	46	74	116	18	33	132	10	16	148	17,5	28

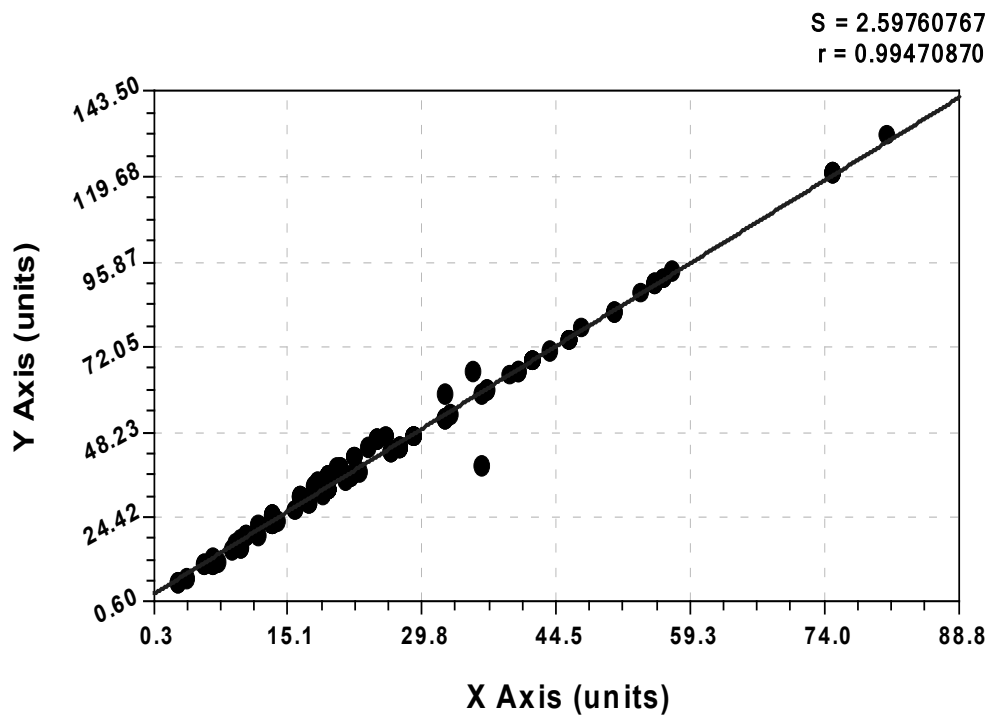


Рисунок 2.1 – Результат регресійного аналізу (лінійний розподіл)

Отримане рівняння регресії має вигляд:

$$y = 2,51 + 1,57x \quad (2.5)$$

Отриманий лінійний розподіл має стандартну похибку  $S = 2,6$  та коефіцієнт кореляції  $r = 0,99$ , що свідчить про тісний характер зв'язку між досліджуваними факторами.

## 2.2 Розробка алгоритмів оптимізації роботи крана

### 2.2.1 Метод «відгалужень і меж»

Метод «відгалужень і меж» використовують для отримання оптимальної послідовності об'їзду пунктів на маршруті. Це має рацію, якщо кількість пунктів на маршруті перевищує 5 (враховуючи пункт відправлення). Інакше оптимальну послідовність об'їзду пунктів на маршруті можна отримати повним перебором варіантів.

Сформулюємо задачу математично. Маємо  $n$  пунктів, які пронумеровані у будь-якому порядку –  $1, 2, \dots, n$ , та матрицю найкоротших відстаней  $D = [d_{ij}]_n$  між кожною парою пунктів. Маршрутом вважається така послідовність  $R = \{i_1, i_2, \dots, i_n, i_1\}$  з  $n$  даних номерів. Відстань  $d(R)$  маршруту  $R$  визначається виразом

$$d(R) = \sum_{k=1}^{n-1} d(i_k, i_{k+1}) + d(i_n, i_1). \quad (2.6)$$

Із усіх можливих маршрутів обираємо маршрут  $R$ , який має мінімальну довжину.

$$d(R) = \min_{\{R\}} d(R), \quad (2.7)$$

де  $\{R\}$  - множина усіх  $(n - 1) !$  маршрутів.

У вихідних умовах до задачі потрібна матриця найкоротших відстаней. У реальності ми завжди маємо транспортні мережі, а матриці найкоротших відстаней отримуємо наступним чином. Якщо вершина  $k$  може бути досягнена з вершини  $i$ , то існує хоча б один шлях з вершини  $i$  у вершину  $k$ . У загальному випадку таких шляхів може бути багато. Обираємо шлях з найменшою довжиною – найкоротший шлях  $r_{ik}$ . Тобто, це відстань від  $i$  до  $k$ , а не між  $i$  та  $k$ . Сукупність цих найкоротших відстаней і утворює матрицю найкоротших відстаней  $R = \|r_{ik}\|$ .

Загальна ідея методу «гілок та границь» доволі проста. Спочатку для всієї множини допустимих рішень задачі визначається нижня границя довжини всього маршруту. Потім усю множину допустимих рішень розбиваємо на декілька непустих підмножин, для кожної із яких знов визначаємо нижню границю довжини маршрутів. Із усіх підмножин обираємо підмножину з найменшим значенням нижньої границі та знову розбиваємо на не порожні підмножини, для яких знову визначаються нижні границі і т.д.

Оскільки множина допустимих рішень задачі кінцева, такий процес кінцевого розбиття приводить до підмножини із одного єдиного рішення, нижня границя для якого просто співпадає зі значенням цільової функції для цього рішення. Якщо це значення не вище нижніх границь усіх не розбитих підмножин, то маємо одне з кращих рішень, а якщо значення цільової функції для знайденого рішення строго менше нижніх границь не розбитих підмножин, то маємо єдине оптимальне рішення. Покажемо та пояснимо роботу методу на задачі з наступними вихідними даними.

Нехай необхідно побудувати найкоротший маршрут обходу дев'яти міст, матриця найкоротший відстаней, між якими задана у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Матриця найкоротший відстаней

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	∞	3	5	6	7	8	11	10	5
2	3	∞	2	3	4	5	8	7	5
3	4	1	∞	4	2	4	6	5	3
4	6	3	5	∞	4	2	8	7	8
5	10	7	9	4	∞	2	4	3	8
6	8	5	7	2	2	∞	6	5	10
7	9	6	8	3	4	1	∞	4	9
8	10	9	8	7	3	5	4	∞	5
9	5	4	3	7	5	7	9	6	∞

Нагадаємо, що елемент  $i$ -й строки та  $j$ -го стовпчика цієї матриці дає продовження найкоротшого маршруту при русі із  $i$  в  $j$ . Оскільки вихід із будь-якого пункту та миттєве повернення в нього безглузде, то усі діагональні елементи матриці дорівнюють великому числу ( $\infty$ ).

Хід рішення ілюструється «деревом», яке показано на рис. 2.2, на «гілках» якого будимо розміщувати множину допустимих рішень. Кожну множину назвемо вершиною (дерева) та позначати колом, в середині якого записується ознака, що об'єднує всі рішення даної множини. Поряд з колом будимо ставити число – значення нижньої границі для рішення даної множини. Суттєвість нижньої границі для рішення деякої множини складається у тому, що вона показує мінімально можливу тривалість маршруту руху при його виборі з даної множини.

Нижче наведено порядок знаходження рішення.

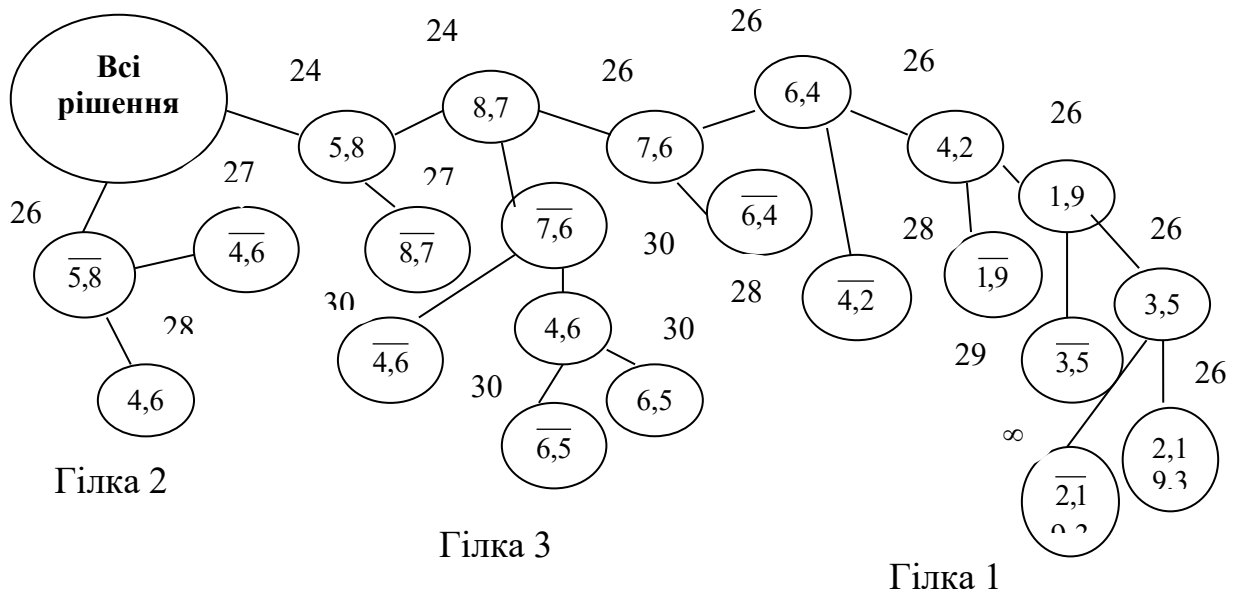


Рисунок 2.2 – «Дерево» пошуку рішень задачі

1. Робота починається з зображення множини усіх маршрутів – «кореня дерева» рішень (верхнє коло на рисунку 2.2). Для підрахунку нижньої границі тривалості усіх рішень використаємо наступне міркування.

Оскільки маршрут повинен пройти крізь усі пункти, то у кожен пункт ввійдемо та з кожного вийдемо як найменше 1 раз (маршрут кільцевий). У матричній інтерпретації це ствердження означає, що з кожної строки та з кожного стовпчика матриці буде обрано точно один елемент. Звідси ясно, що будь-який маршрут не може бути менше, ніж сума найменших елементів в усіх строках та стовпчиках матриці найкоротших відстаней. При цьому важливо не врахувати деякі елементи двічі. Для визначення такої суми виконаємо приведені матриці найкоротших відстаней.

2. У кожній строчці відшукуємо мінімальні елементи та віднімаємо їх з усіх елементів цієї строки.. Результат цієї операції, застосований до вихідної матриці, показано у таблиці 2.3. З правого боку у кожній строки стоїть величина константи, що віднімається.

Таблиця 2.3 – Зведення матриці по рядках

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Константи зведення
1		0	2	3	4	5	8	7	2	3
2	1		0	1	2	3	6	5	3	2
3	3	0		3	1	3	5	4	2	1
4	4	1	3		2	0	6	5	6	2
5	8	5	7	2		0	2	1	6	2
6	6	3	5	0	0		4	3	8	2
7	8	5	7	2	3	0		3	8	1
8	7	6	5	4	0	2	1		2	3
9	2	1	0	4	2	4	6	3		3

Після цього зведення по строках робимо аналогічне зведення матриці по стовпцях. Результат цієї операції показано у таблиці 2.3. З правого боку та знизу відповідних строках та стовпцях стоять константи приведення – елементи, деякі ми віднімали спочатку зі строк, а потім із стовпчиків матриці.

Знайшовши суму цих елементів (24), можна стверджувати, що ніякий циклічний маршрут не може бути меншим по тривалості 24 од. Дійсно оскільки маршрут повинен вийти із кожного пункту, то у нього увійдуть елементи мінімальної тривалості з кожної строки, а оскільки маршрут повинен увійти 1 раз у кожен пункт, до нього увійдуть елементи мінімальної тривалості із кожного стовпчика. При цьому треба враховувати, що кожен вихід будь-якого пункту є входом у другий пункт та не підраховувати тривалість входів та виходів двічі. Операція зведення забезпечує ці умови, оскільки, зменшивши елементи будь-якої  $i$ -й строки матриці на константу, ми зменшили на цю константу виходи від  $i$ -го пункту в усі інші. Однак після зведення по строках можуть знайтись пункти, усі входи до яких

залишаться додатними по тривалості. Тоді знову маємо можливість провести зведення по стовпчикам.

Таблиця 2.4 – Зведення матриці по стовпчикам та оцінки нульових елементів

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		0 <sup>0</sup>	2	3	4	7	7	6	0 <sup>0</sup>
2	0 <sup>1</sup>		0 <sup>0</sup>	1	2	3	5	4	1
3	2	0 <sup>0</sup>		3	1	3	4	3	0 <sup>0</sup>
4	3	1	3		2	0 <sup>1</sup>	5	4	4
5	7	5	7	2		0 <sup>0</sup>	1	0 <sup>2</sup>	4
6	5	3	5	0 <sup>1</sup>	0 <sup>1</sup>		3	2	6
7	7	5	7	2	3	0 <sup>2</sup>		2	6
8	6	6	5	4		2	0 <sup>3</sup>		0
9	1	1	0 <sup>0</sup>	4	2	4	5	2	
Константи зведення	1	0	0	0	0	0	1	1	2

Сума констант зведення (24) є нижня границя тривалості для усіх маршрутів, що і зафіксуємо на рис. 2.2. («всі рішення»).

Після зведення матриці маємо хоча б один нуль у кожній строчці і кожному стовпчику. Можна показати, що зведення матриці означає віднімання із довжин усіх маршрутів деякої константи (нижньої границі), що залишає усі довжини маршрутів невід'ємними. Тому маршрут мінімальної довжини у вихідному стані залишається мінімальним по тривалості і для зведеної матриці. Таким чином, далі будемо маршрут по матриці, яка приведена у таблиці 2.4.

Вочевидь, що треба включити у маршрут пари (елементи), яким відповідають нульові тривалості у зведеній матриці. Таким елементів багато, і доцільно тому обрати якимось кращий з них.

Для цього розглянемо елемент (7;6). Якщо не включимо цей елемент до маршруту, то у строчці 7 обов'язково повинні будемо обрати якийсь інший елемент, у кращому випадку (7;4) тривалістю 2.

Також відказавшись від вибору елемента (7;6), повинні будемо включати до маршруту якийсь інший елемент із стовпчика 6, в кращому випадку елемент (4;6) тривалістю 0.

Таким чином, відказ від вибору елемента (7;6) призведе до збільшення маршруту на (2+0) од. Назвемо цю суму оцінкою нульового елемента (7;6) та виконаємо наступну операцію.

3. Визначимо оцінки для усіх нульових елементів зведеної матриці. У таблиці 2.3 ці оцінки представлені у правому верхньому кутку кожної клітинки, де є нульовий елемент.

Вочевидь, що з усіх таких елементів треба обрати той, якому відповідає максимальна оцінка, тому що в цьому випадку ми уникаємо найбільших втрат від не обрання цього елемента.

У наведеному прикладі максимальну оцінку у 2 од. має пара (5;8) і її першою включаємо до шуканого маршруту. Якщо максимальну оцінку має декілька пар, обираємо одну з них. У прикладі обраний елемент завжди буде виділятися рамкою в матриці.

Поділимо зараз множину усіх маршрутів на два: маршрути першої множини обов'язково будуть включати пару (5;8), а маршрути другої множини обов'язково не включають цю пару. Сума першої та другої множини дає множину усіх маршрутів, а перехрещення цих множин пусто.

Позначимо першу множину колом з позначенням першої пари (5;8) у середині, а друга множина позначимо колом з записом  $\overline{(5;8)}$ , що буде означати відсутність пари (5;8) у маршрутах цієї підмножини.

Нижня границя для маршрутів другої множини визначиться складанням нижньої границі для множини «усі рішення», яка розділяється, з величиною оцінки пари (5;8), рівної 26 (24+2). Так як після вибору пари (5;8) використали виїзд з п.5 та в'їзд у п.8, то строку 5 та стовпчик 8 можна виключити із подальшого розгляду.

4. Оскільки треба побудувати циклічний маршрут обходу усіх дев'яти пунктів з заходом у кожний лише по одному разу вибір пари (8;5) після пари (5;8) призвів би до порушенню умов задачі. Тому блокуємо вибір пари (8;5) заміною значення відповідного елемента матриці на  $\infty$ . Це є найбільш відповідний момент у роботі по методу.

5. Після блокування матриця знову зводиться, і сума нових констант зведення, складена з нижньою границею для роз'єднувальної вершини «усі рішення», дає нижню границю (див. рисунок 2.) для множини, позначеної (5;8). Матриця після цієї операції показана у таблиці 2.5.

6. Тепер найменшу нижню границю 24 має вершина (5;8). Відповідну множину рішень знову поділимо аналогічним прийомом. Для цього визначимо оцінки нульових елементів у зведеній матриці. Результат показано у табл. 1.4. Максимальну оцінку 3 тепер має елемент у строчці 8 та у стовпчику 7. Організуємо знову дві підмножини маршрутів: перша, яке включає пару (5;8) та не включає пару (8;7), друга, включає пару (5;8) та пару (8;7).

Перша множина буде мати нижню границю 27 (24+3). Для визначення нижньої границі другої виключимо строку 8 та стовпчик 7 матриці, заблокуємо вибір пари (7;5) заміною відповідного елемента матриці на  $\infty$  та зведемо отриману матрицю. Результат показано у табл. 2.5. Сума констант зведення дорівнює 0, и тому нижня границя для підмножини (8;7) залишається рівною 24.

Після вибору пар (5;8) та (8;7) небезпека передчасного зациклення маршруту реалізується при виборі пари (7;5), тому блокуванням забороняємо вибір цієї пари.

Таблиця 2.5 – Другий крок розрахунків

	1	2	3	4	5	6	7	9
1	X	0	2	3	4	7	7	0
2	0	X	0	1	2	3	5	1
3	2	0	X	3	1	3	4	0
4	3	1	3	X	2	0	5	4
6	5	3	5	0	0	X	3	6
7	7	5	7	2	3	0	X	6
8	6	6	5	4	X	2	0	0
9	1	1	0	4	2	4	5	X

Таблиця 2.6 – Третій крок розрахунків

	1	2	3	4	5	6	9
1	X	0	2	3	4	5	0
2	0	X	0	1	2	3	1
3	2	0	X	3	1	3	0
4	3	1	3	X	2	0	4
6	5	3	5	0	0	X	6
7	7	5	7	2	X	0	6
9	1	1	0	4	2	4	X

7. У подальшому описаними прийомами обираємо пари (7;6) та після блокування вибору пари (6;5) та приведення отриманої матриці виявляємо,

що нижня границя для множин, позначених  $(7;6)$ , збільшується до 26. Відповідна цьому етапу обчислень матриця приведена у таблиці 2.7.

Знов отримана нижня границя для правих підмножин (див. рисунок 1.1) не перевищує нижніх границь нерозділених підмножин  $(\overline{5;8})$ ,  $(\overline{8;7})$  та  $(\overline{7;6})$ , тому продовжуємо розподіл підмножини  $(7;6)$ . На цьому шляху послідовно включаємо у рішення пари  $(6;4)$  із блокуванням пари  $(4;5)$ ;  $(4;2)$  із блокуванням  $(9;1)$ ;  $(3;5)$  із блокуванням пари  $(2;3)$ . Після чергового зведення приходимо до матриці розміром  $2 \times 2$ , по якій знаходимо дві недостатні у рішенні пари  $(2;1)$  та  $(9;3)$ . Матриці усіх проміжних результатів показані у таблиці 2.7 – 2.11 .

К цьому моменту одержуємо циклічний маршрут  $R = \{1;9;3;5;8;7;6;4;2;1\}$ , який має тривалість 26 од.

Оскільки тривалість цього маршруту не більше нижньої границі будь-якої з лівих нерозділених вершин дерева рішень (див. рисунок 2.2), то маємо маршрут мінімальної тривалості, тобто рішення задачі.

Таблиця 2.8 – Четвертий крок розрахунків

	1	2	3	4	5	9
1	X	0	2	3	5	0
2	0	X	0	1	1	1
3	2	0	X	3	0	0
4	2	0	2	X	0	3
6	5	3	5	0	X	6
9	1	1	0	4	1	X

Таблиця 2.9 – П'ятий крок розрахунків

	1	2	3	5	9
1	X	0	2	3	0
2	0	X	0	1	1
3	2	0	X	0	0
4	2	0	2	X	3
9	1	1	0	1	X

Таблиця 2.10 – Шостий крок розрахунків

	1	3	5	9
1	X	2	3	0
2	0	0	X	1
3	2	X	0	0
9	1	0	1	X

Таблиця 2.11 – Сьомий крок розрахунків

	1	3	5
2	0	0	X
3	2	X	0
9	X	0	1

Таблиця 2.12 – Матриця 2 × 2

	1	3
2	0	X
9	X	0

В прикладі рішення задачі було знайдено доволі швидко. Щоб продемонструвати інші аспекти роботи алгоритму, ускладнимо задачу вимогою знайти усі оптимальні рішення. У такому випадку ці рішення треба шукати тільки серед підмножин  $(\overline{7;6})$  та  $(\overline{5;8})$ , оскільки тільки ці підмножини мають нижні границі, які не перевищують довжини оптимального рішення.

Почнемо з підмножини  $(\overline{5;8})$ . За змістом у цій підмножині містяться усі маршрути, які не включають пару  $(\overline{5;8})$ , тому відповідна цій підмножині матриця найкоротших відстаней (таблиця 2.13) може бути отримана із вихідної матриці, приведеної у таблиці 2.2, одним блокуванням елемента у строчці 5 та стовпчику 8.

Таблиця 2.13 – Зведення матриці по рядках

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1		0 <sup>0</sup>	2	3	4	5	7	4	0 <sup>0</sup>	3
2	0 <sup>1</sup>		0 <sup>0</sup>	1	2	3	5	2	0	2
3	2	0 <sup>0</sup>		3	1	3	4	1	0 <sup>0</sup>	1
4	3	1	3		2	0 <sup>1</sup>	5	2	4	2
5	7	5	7	2		0 <sup>1</sup>	1		4	2
6	5	3	5	0 <sup>1</sup>	0 <sup>0</sup>		3	0 <sup>0</sup>	6	2
7	7	5	7	2	3	0 <sup>0</sup>		0 <sup>0</sup>	6	1
8	6	6	5	4	0 <sup>0</sup>	2	0 <sup>0</sup>		0 <sup>0</sup>	3
9	1	1	0 <sup>0</sup>	4	2	4	5	0 <sup>0</sup>		3
	1	0	0	0	0	0	1	3	2	

У подальшому, користуючись вже знайомими процедурами зведення матриці, визначення оцінок, вибору пари для продовження «дерева»,

викреслювання строк та стовпчиків, блокування та знов зведення, отримуємо, що розбиття підмножини  $(5;8)$  дає дві підмножини  $(4;6)$  та  $(\overline{4;6})$ , нижні границі яких (27 та 28) віщі за довжину оптимального маршруту. Звідси робимо висновок, що серед рішень підмножини  $(\overline{5;8})$  оптимальних нема.

Тепер перевіримо підмножину  $(\overline{7;6})$ . Ця підмножина була отримана послідовним виділенням із множини усіх рішень спочатку підмножини  $(\overline{5;8})$ , потім із останньої – підмножини  $(8;7)$  та з підмножини  $(8;7)$  була виділена підмножина  $(\overline{7;6})$ . Таким чином матрицю найкоротших відстаней для підмножини  $(\overline{7;6})$  можна отримати з вихідної матриці (див. таблицю 2.2) для усіх рішень викреслюванням строк 5 та 8, стовпчиків 8 та 7 та блокуванням елементів  $(7;5)$  та  $(7;6)$ .

Отримана після цього матриця приведена у таблиці 2.14. Її зведення дає суму констант зведення 19. Для перевірки нижньої границі підмножини  $(\overline{7;6})$  додаємо до цієї суми значення елементів  $(5;8)$  та  $(8;7)$  у вихідній матриці для всієї задачі. У результаті отримуємо 26, що підтверджує нижню границю для підмножини  $(7;6)$ . Це буває не завжди і нижня границя при такому розрахунку може збільшуватися. В цьому випадку залишаємо для роботи найбільшу границю.

Таблиця 2.14 – Вихідна матриця з заблокованими елементами

	1	2	3	4	5	6	9
1	X	3	5	6	7	8	5
2	3	X	2	3	4	5	5
3	4	1	X	4	2	4	3
4	6	3	5	X	4	2	8
6	8	5	7	2	2	X	10
7	9	6	8	3	X	X	9
9	5	4	3	7	5	7	X

Далі застосовуємо ту ж сесію процедур, що і раніше, та отримуємо дві підмножини  $(\overline{4;6})$  та  $(4;6)$  з нижніми границями 30 та 26 (див. рисунок 2.2).

Тепер пробуємо відшукати оптимальне рішення серед маршрутів підмножини  $(4;6)$ . Розбиття цієї підмножини дає підмножини  $(\overline{6;5})$  та  $(6;5)$  з однаковими нижніми границями по 30 од. Таким чином не залишається ні єдиної вершини з границею, меншою або рівною довжині відомого оптимального рішення.

Відмічаємо, що припущення на початку обчислень о довжині оптимального маршруту не менше 25 од. підтвердилось; це свідчить о логічності обчислень.

Припустимо тепер формальний запис алгоритму на мові блок-схеми (рисунок 2.3). Розділяємо усі етапи обчислень по блоках, а зв'язки між блоками позначимо стрілками (лист 2 графічної частини).

Матрицю найкоротших відстаней між пунктами, яка змінюється впродовж процесу обчислень, будемо позначати через  $D'$ .

Блок 1. Робота алгоритму починається з формування плану переміщення контейнерів. Потім розраховується приведені відстані непродуктивного руху крану між всіма парами завантажених ланок. Також блокуються заздалегідь неможливі за технологічними ознаками послідовності вантажних ланок.

Блок 2. Робота блоку починається зі зведення вихідної матриці та отримання нижньої границі  $W(v)$  для усіх маршрутів:

$$W(v) = \sum_{i=1}^n h_i + \sum_{j=1}^n h_j, \quad (2.8)$$

де константи зведення  $h_i$  та  $h_j$  визначаються наступним чином:

$$h_i = \min_j d_{i,j}; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (2.9)$$

$$d_{i,j} = d_{ij} - h_i; \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (2.10)$$

$$h_j = \min_i d_{i,j}; \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2.11)$$

У кінці роботи блоку 1 матриця  $D$  перетворюється на матрицю  $D'$  з початку операцією (2.6-2.9), а потім операцією:

$$d'_{i,j} = d_{ij} - h_i; \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2.12)$$

Вводиться поняття «вільних» вершин дерева рішень. Це вершини, яким відповідають нерозбиті підмножини рішень. У блоку 1 множина «вільних» вершин включає лише вершину «усі рішення».

Блок 3. Визначає оцінки  $\theta_{i,j}$  для усіх нульових елементів матриці  $D'$ , тобто якщо  $d_{i,j} = 0$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ),

$$\text{то } \theta_{i,j} = \min_k d_{i,k} + \min_l d_{l,j}; \quad (2.13)$$

$$k \neq j; \quad l \neq i; \quad k, l = 1, 2, \dots, n.$$

Потім шукаємо пару  $(k, l)$  з мінімальною оцінкою

$$\theta_{k,l} = \max_{i,j} \theta_{i,j}; \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.14)$$

Організується вершина  $\overline{(k, l)}$  дерева з нижньою границею

$$W(\overline{(k, l)}) = W(V) + D_{k,l}. \quad (2.15)$$

Блок 4 обирає із матриці строку  $k$  та стовпчик  $l$  та проводить блокування вибору пари  $(p, q)$  заміною у матриці  $D'$  елементу  $d'_{p,q}$  на  $\infty$ .

Призначення пари  $(p, q)$  для блокування визначається наступним чином.

Вибір пари  $(k, l)$  у попередньому випадку логічно може привести до чотирьох можливостей: пара  $(k, l)$  така, що серед усіх вже обраних пар у маршрутах вершини  $V$  жодний фрагмент маршруту не має з парою  $(k, l)$  спільних пунктів. У такому випадку:  $p = l; q = k$ ;

зафіксовані для рішення вершини  $V$  пари дають фрагмент маршруту  $I$ , який починається пунктом  $q$  та закінчується пунктом  $k$  у цьому випадку пара  $(k, l)$  продовжує цей фрагмент маршруту до  $l$  и треба заблокувати  $p = l$ ;

пара  $(k, l)$  ставиться у початок якогось вже обраного фрагменту  $II$ , який починається пунктом  $l$  та закінчується у пункті  $p$ . У цьому випадку  $q = k$  та блокується передчасне замикання знов утвореного фрагменту;

пара  $(k, l)$  з'єднує два вже створених раніше фрагмента  $I$  та  $II$ . У даному випадку забороняється замикання фрагменту  $II$  на фрагмент  $I$ .

Після блокування проводиться зведення отриманої матриці та сума констант зведення, складена з  $W(V)$ , дає нижню границю для вершини  $(k, l)$ .

Формально операція зведення визначається формулами (2.9) – (2.12), але з тими виправленнями, що матриця  $D$  замінюється матрицею  $D'$  з викресленою  $k$ -й строчкою та  $l$ -м стовпчиком та заблокованим елементом  $d_{pq}$ . Вершини  $(\overline{k, l})$  та  $(k, l)$  вважаються "вільними" у дереві рішень, а вершина  $V$  виключається з множини «висячих» та більше не розглядається.

Блок 5 із кількості «вільних» вершин обирає ту, яка має мінімальну нижню границю. Нехай це вершина  $V$ . Якщо  $V$  співпадає з вершиною  $(k, l)$ , то працює блок 5, якщо ні – блок 7.

Блок 6 перевіряє умову: розмір матриці  $D'$  рівний 2. Якщо він не рівний 2, то знов спрацьовує блок 2, причому за  $D$  приймається вже перетворена попередніми обчисленнями матриця  $D'$ . Якщо розмір матриці рівний 2, то працює блок 6.



Рисунок 2.3 – Блок –схема алгоритму розрахунку методу «відгалужень і меж»

Блок 7 закінчує розбиття вершини  $(k, l)$  однозначним вибором пар  $(i_1, j_1)$  та  $(i_2, j_2)$ , для котрих відповідні елементи у матриці  $D'$  дорівнюють 0, та отримують відповідний маршрут.

Блок 8 починає обчислення по «відгалуженням» дерева рішень. Розглядається вершина  $V$  дерева рішень. Ця вершина означає деяку множину маршрутів, які обов'язково включають деякі пари  $(i_1, j_1); (i_2, j_2); \dots; (i_a, j_a)$  та не включають  $(t_1, f_1); (t_2, f_2); \dots; (t_\beta, f_\beta)$ .

Позначимо лише для цього блоку множину прийнятих пар через  $M_1$ , а множину неприйнятих пар – через  $M_2$ .

Із матриці  $D$  викреслюємо строки  $i_1, i_2, \dots, i_a$ , а потім стовпчики  $j_1, j_2, \dots, j_a$ . Для  $(t, f) \in M_2$  вважаємо  $d_{tf} = \infty$ .

Із усіх пар множини  $M_1$  утворюємо фрагменти маршруту та блокуємо вибір тих пар, які можуть привести до попереднього зациклення маршруту.

Зводимо отриману матрицю та продовжуємо обчислення вже у блоку 2.

### 2.2.2 Метод динамічного програмування

Загальну задачу оптимізації можна описати моделлю динамічного програмування при задовільненні наступних умов.

1. Задача може інтерпретуватись як  $n$  - кроковий процес управління, а загальний показник ефективності може бути поданий як сума показників ефективності на кожному кроці.

2. Структура задачі повинна бути визначена для будь-якого числа кроків  $n$  і не залежати від цього числа.

3. На кожному кроці стан системи визначається скінченим числом  $m$  параметрів стану системи та управляється скінченим числом  $r$  змінних, причому  $m$  та  $r$  не залежать від числа кроків  $n$ .

Вибір управління на  $k$ -му кроці не має впливу на попередні кроки, а стан на початку цього кроку є функція тільки попереднього кроку та обраного на нього управління.

Побудова моделі ДП виконується у такій послідовності:

- 1) вибирають спосіб поділу процесу на кроки;
- 2) вводять параметри стану  $S_k = \{S_k^{(1)}, S_k^{(2)}, \dots, S_k^{(m)}\}$  та змінні управління  $U_k = \{U_k^{(1)}, U_k^{(2)}, \dots, U_k^{(m)}\}$  на кожному кроці процесу;
- 3) записують рівняння стану

$$S_k = F(S_{k-1}, U_k), \quad (2.16)$$

де  $S_{k-1}$  – стан процесу на попередньому  $(k - 1)$ -му кроці;

$U_k$  – управління на даному  $k$ -му кроці;

4) вводять показники ефективності на  $k$ -му кроці  $f_k(S_{k-1}, U_k)$  та сумарний показник – цільову функцію в одній із форм в залежності від умов задачі;

а) в адаптивній формі у вигляді суми показників ефективності  $f_k(U_k)$  на окремих кроках

$$Z = \sum_{k=1}^n f_k(S_{k-1}, U_k); \quad (2.17)$$

б) в мультиплікативній формі у вигляді добутку показників ефективності  $f_k(U_k)$  на окремих кроках

$$Z = \prod_{k=1}^n f_k(S_{k-1}, U_k); \quad (2.18)$$

5) вводять у розгляд умовні максимуми (мінімуми)  $Z_k^*(S_{k-1})$  показника ефективності від  $k$ -го кроку (включно) до кінця процесу та умовні оптимальні управління на  $k$ -му кроці  $U_k^*(S_{k-1})$ ;

6) із обмежень задачі визначають для кожного кроку множини  $D_k$  припустимих управлінь на цьому кроці;

7) записують основні для обчислювальної схеми функціональні рівняння Белмана:

а) для адитивної цільової функції

$$Z_k^*(S_{k-1}) = \max(\min)_{U_k \in D_k} \{f_k(S_{k-1}, U_k) + Z_{k+1}^*(S_k)\} \quad (2.19)$$

та

$$Z_n^*(S_{n-1}) = \max(\min)_{U_n \in D_n} \{f_n(S_{n-1}, U_n)\}; \quad (2.20)$$

б) для мультиплікативної цільової функції

$$Z_k^*(S_{k-1}) = \max(\min)_{U_k \in D_k} \{f_k(S_{k-1}, U_k) * Z_{k+1}^*(S_k)\} \quad (2.21)$$

та

$$Z_n^*(S_{n-1}) = \max(\min)_{U_n \in D_n} \{f_n(S_{n-1}, U_n)\}; \quad (2.22)$$

Зараз представимо формальний запис алгоритму на мові блок – схеми (рисунок 2.4). Розділимо усі етапи обчислення по блокам, які для наочності зобразимо нумерованими прямокутниками на схемі, а зв'язок між блоками позначимо стрілками.

Блок 1. Робота алгоритму починається з формування множини ланок переміщення контейнерів:

$$(p, q) \rightarrow p \in M; q \in M; p \neq q. \quad (2.23)$$

Блок 2 розраховує приведені пробіги крану між всіма ланками переміщення контейнерів:

$$l(p, q) \rightarrow p, q \in M; p \neq q. \quad (2.24)$$

Блок 3 обирає можливі варіанти кінцевого стану крана  $S_m$

Блок 4.  $k = m$ , починаємо з останнього кроку.

Блок 5 формує підмножину варіантів переміщення крану з урахуванням технологічних переміщень  $V_0$ .

Блок 6 Визначає відстані між всіма ланками переміщення контейнерів:

$$L_0(V_0) = l(p, q); \{p, q \in V_0\} \quad (2.25)$$

Блок 7 обирає мінімальне з відстаней між всіма ланками переміщення контейнерів:

$$L_0^*(V_0) = \min\{l(p, q)\} \quad (2.26)$$

Блок 8. Цикл по  $i$ :

$$i = \overline{k, 1} \quad (2.27)$$

Блок 9 формує підмножину варіантів переміщення крану  $V_i$  на  $i$ -му кроці.

Блок 10 визначає відстані переміщення крану між ланками переміщення контейнерів на  $i$ -му кроці:

$$L_i(V_i) = l(p, q); \{p, q \in V_i\} \quad (2.28)$$

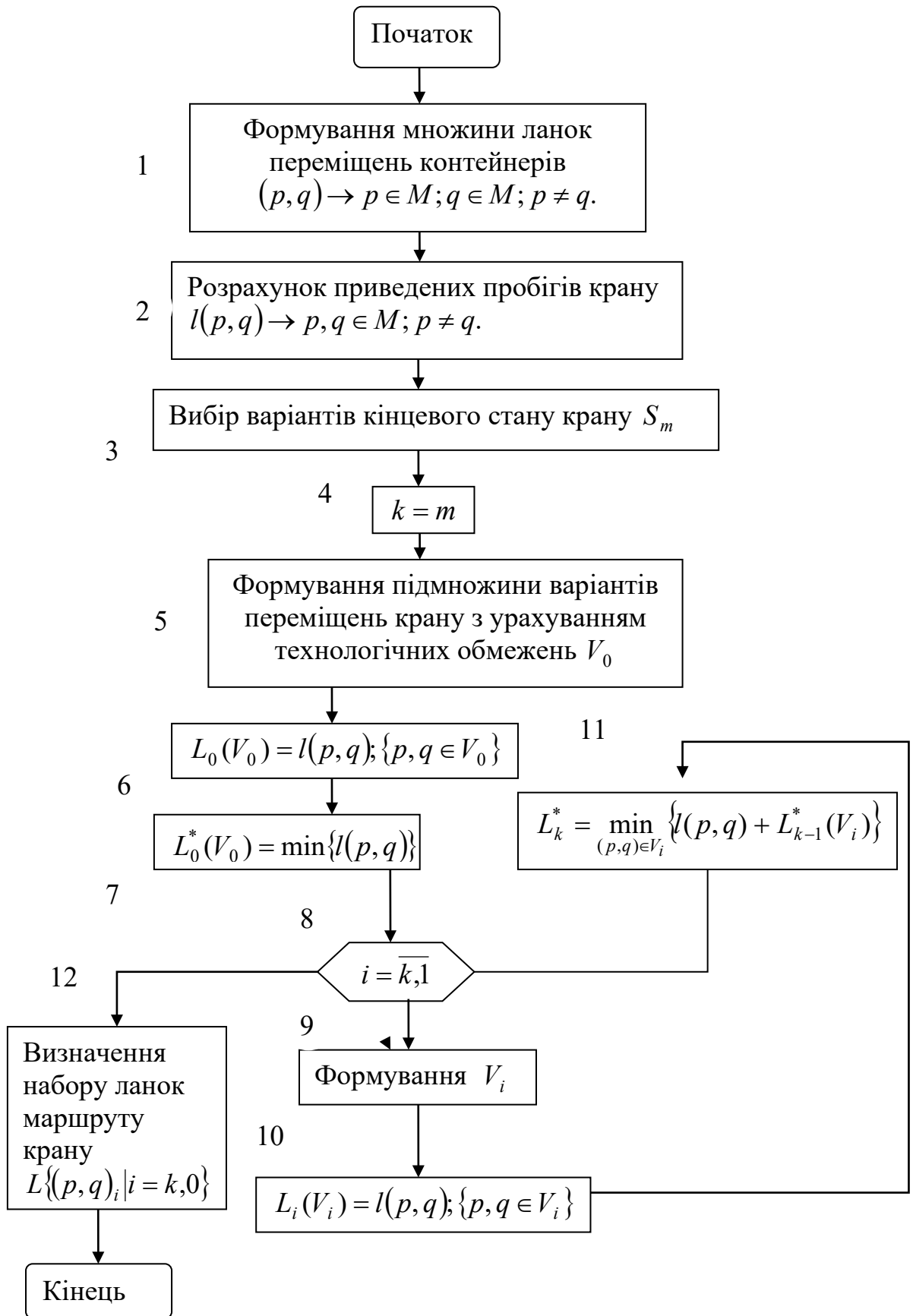


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму розрахунку методом динамічного програмування

Блок 11 обирає мінімальне з відстаней між всіма ланками переміщення контейнерів на  $i$ -му кроці:

$$L_i^*(V_i) = \min_{(p,q) \in V_i} \{l(p,q) + L_{k-1}^*(V_i)\} \quad (2.29)$$

Блок 12 визначає набір ланок маршруту крана:

$$L\{(p,q)_i | i = k, 0\} \quad (2.30)$$

## 2.3 Апробація розроблених методик для умов контейнерного терміналу ПАТ «ЗАЗ»

### 2.3.1 Метод «відгалужень і меж»

Знайдемо найкоротший маршрут крану між ланками контейнерних переміщень (таблиця 2.15). Матриця найкоротший відстаней, між ланками контейнерних переміщень, які здійснювалися краном за одну подачу локомотива задана у таблиці 2.16. Рішення задачі почнемо з зображення множини всіх маршрутів – кореня «дерева» рішень (рисунок 2.5).

Для розрахунку нижньої границі тривалості всіх маршрутів виконаємо зведення початкової матриці найкоротших тривалостей руху. При цьому константи зведення рядків будемо показувати у крайньому правому стовпчику, а константи зведення стовпчиків – у нижньому рядку. Процес зведення початкової матриці показаний у таблицях 2. 17 та 2.18.

Таблиця 2.15 – Ланки переміщень контейнерів

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ланки переміщень	9-7	10-6	8-19	16-2	16-1	1-56	57-26	58-57	2-54

Таблиця 2.16 – Матриця найкоротших відстаней між ланками

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	X	12,5	12,5	13,5	13,5	19,5	72	52	19,5
2	9	X	6	13,5	13,5	22,5	72	52	22,5
3	26,5	26,5	X	13,5	13,5	42	32,5	21,5	25
4	13,5	10,5	16,5	X	13,5	13,5	56,5	36,5	X
5	16	16	16,5	29	X	X	75	55,5	19
6	59,5	59,5	59,5	46	46	X	3	19,5	56,5
7	39,5	39,5	26,5	26,5	26,5	55,5	X	21,5	37
8	59,5	59,5	59,5	46	46	75	X	X	56,5
9	59,5	59,5	59,5	46	46	75	16	20	X

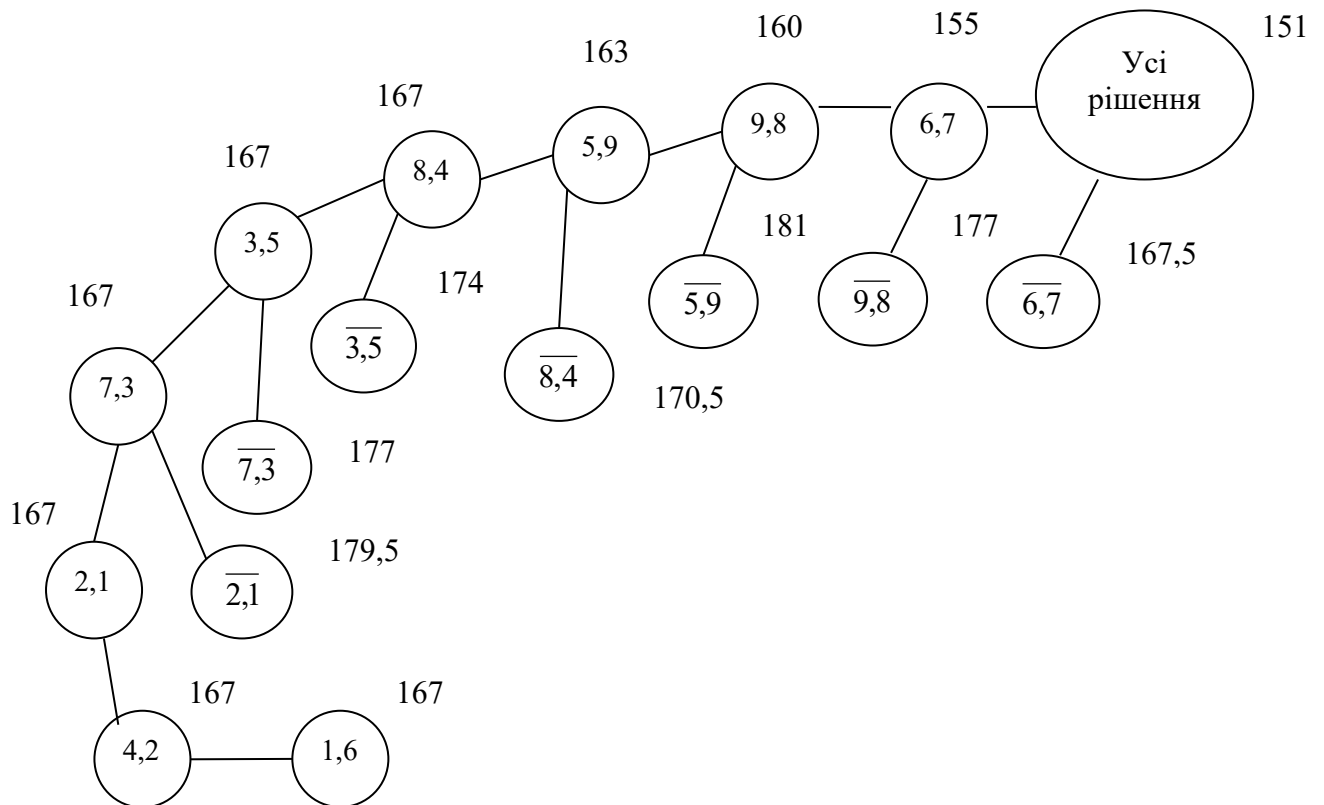


Рисунок 2.5 – «Дерево» пошуку рішень

Таблиця 2.17 – Зведення матриці за рядками

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Константи зведення
1		12,5	12,5	13,5	13,5	19,5	72	52	19,5	12,5
2	9		6	13,5	13,5	22,5	72	52	22,5	6
3	26,5	26,5		13,5	13,5	42	32,5	21,5	25	13,5
4	13,5	10,5	16,5		13,5	13,5	56,5	36,5		10,5
5	16	16	16,5	29			75	55,5	19	16
6	59,5	59,5	59,5	46	46		3	19,5	56,5	3
7	39,5	39,5	26,5	26,5	26,5	55,5		21,5	37	21,5
8	59,5	59,5	59,5	46	46	75			56,5	46
9	59,5	59,5	59,5	46	46	75	16	20		16

Таблиця 2.18 – Зведення матриці за стовпцями

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		0	0	1	1	7	59,5	39,5	7
2	3		0	7,5	7,5	16,5	66	46	16,5
3	13	13		0	0	28,5	19	8	11,5
4	3	0	6		3	3	46	26	
5	0	0	0,5	13			59	39,5	3
6	56,5	56,5	56,5	43	43		0	16,5	53,5
7	18	18	5	5	5	34		0	15,5
8	13,5	13,5	13,5	0	0	29			10,5
9	43,5	43,5	43,5	30	30	59	0	4	
Константи зведення	0	0	0	0	0	3	0	0	3

Сума констант зведення  $145+6=151$  і буде нижньою границею для множини всіх рішень, що й зафіксуємо, поставивши це число біля кола «всі

рішення». Далі продовжуємо працювати зі зведеною матрицею (таблиця 2.19).

Таблиця 2.19 – Зведена матриця

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		0	0	1	1	4	59,5	39,5	4
2	3		0	7,5	7,5	13,5	66	46	13,5
3	13	13		0	0	25,5	19	8	8,5
4	3	0	6		3	0	46	26	
5	0	0	0,5	13		0	59	39,5	0
6	56,5	56,5	56,5	43	43		0	16,5	50,5
7	18	18	5	5	5	31		0	15,5
8	13,5	13,5	13,5	0	0	26			7,5
9	43,5	43,5	43,5	30	30	56	0	4	

Знайдемо оцінки всіх її елементів, що дорівнюють нулю та запишемо їх у правому верхньому куті відповідних клітинок матриці. Оцінка, наприклад, елемента (6,7) отримана таким чином: переглядаємо рядок 6; в ньому мінімальний елемент (за виключенням клітинки (6,7)) стоїть у клітинці (6,8) та дорівнює 16,5; далі переглядаємо стовпчик 7: у ньому мінімальний елемент стоїть у клітинці (9,7) та дорівнює 0; додаємо  $16,5+0=16,5$ . Таким чином оцінка елемента (6,7) дорівнює 16,5.

Далі вводимо в рішення пару ланок з мінімальною оцінкою. В нашому випадку це пара (6,7) з оцінкою 16,5. Після введення у рішення пари (6,7) множина всіх маршрутів ділиться на дві підмножини: маршрути першої підмножини обов'язково будуть включати пару (6,7), а маршрути другої

підмножини обов'язково не включати цієї пари. Позначимо на дереві рішень першу підмножину колом з записом прийнятої пари (6,7), а другу підмножину – колом з записом  $\overline{6,7}$ , що буде позначати відсутність пари (6,7) в маршруті цієї підмножини.

Нижня границя для маршрутів другої підмножини знаходиться як сума нижньої границі множини «всі рішення» та величини оцінки пари (6,7), тобто  $151+16,5=167,5$  м.

Після цього рядок 6 та стовпчик 7 з подальшого розгляду виключаємо. Далі необхідно визначити елемент, який необхідно заблокувати. Це, очевидно, елемент (7,6). Отримана після цього матриця наведена у таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 – Зведення матриці по рядках

	1	2	3	4	5	6	8	9	Константи зведення
1	X	0	0	1	1	4	39,5	4	0
2	3	X	0	7,5	7,5	13,5	46	13,5	0
3	13	13	X	0	0	25,5	8	8,5	0
4	3	0	6	X	3	0	26	X	0
5	0	0	6,5	13	X	0	39,5	0	0
7	18	18	5	5	5	X	0	12,5	0
8	13,5	13,5	13,5	0	0	26	X	7,5	0
9	43,5	43,5	43,5	30	30	56	4	X	4

Тепер отриману, після блокування, матрицю знову зводимо. Сума констант зведення дорівнює 4. Складаємо її з попередньою нижньою границею  $151+4=155$  і отримуємо нову нижню границю для підмножини позначеної (6,7). Матриця після цієї операції показана в таблиці 2.21.

Таблиця 2.21 – Зведена матриця

	1	2	3	4	5	6	8	9
1	X	<sup>0</sup> 0	<sup>0</sup> 0	1	1	4	39,5	4
2	3	X	<sup>3</sup> 0	7,5	7,5	13,5	46	13,5
3	13	13	X	<sup>0</sup> 0	<sup>0</sup> 0	25,5	8	8,5
4	3	<sup>0</sup> 0	6	X	3	<sup>0</sup> 0	26	X
5	<sup>3</sup> 0	<sup>0</sup> 0	6,5	13	X	<sup>0</sup> 0	39,5	<sup>4</sup> 0
7	18	18	5	5	5	X	<sup>5</sup> 0	12,5
8	13,5	13,5	13,5	<sup>0</sup> 0	<sup>0</sup> 0	26	X	7,5
9	39,5	39,5	39,5	26	26	52	<sup>26</sup> 0	X

Таким чином, вершина (6,7) підлягає поділенню. Для цього знов визначаємо оцінки нульових елементів (табл. 2.19). Тепер максимальну оцінку має елемент (9,8). Знов організуємо дві підмножини маршрутів: першу, що включає пару (6,7) та не включає пару (9,8) та другу, що включає пару (6,7) та пару (9,8). Перша підмножина буде мати нижню границю  $155+26=181$ . Для визначення нижньої границі другої підмножини виключаємо рядок 9 та стовпчик 8 матриці, блокуємо елемент (8,9) та отримуємо матрицю (табл. 2.22).

Сума констант цієї матриці дорівнює 5. Нова нижня границя для підмножини (9,8) складатиме  $155+5=160$ .

Надалі з множини «вільних» вершин, тобто вершин, що ще не були поділені обираємо вершину з найменшою нижньою границею. Це вершина (9,8) з оцінкою 160. Таким чином, вона підлягає поділенню. Для цього знов визначаємо оцінки нульових елементів (табл. 2.23). На цьому етапі максимальну оцінку 4 має елемент у строчці 5 та стовпчику 9. Знов

організуємо дві підмножини: перша, включає пари (6,7), (9,8) та не включає пару (5,9), друга, включає пари (6,7), (9,8) та (5,9).

Таблиця 2.22 – Зведення матриці по рядках

	1	2	3	4	5	6	9	Константи зведення
1	X	0	0	1	1	4	4	0
2	3	X	0	7,5	7,5	13,5	13,5	0
3	13	13	X	0	0	25,5	8,5	0
4	3	0	6	X	3	0	X	0
5	0	0	0,5	13	X	0	0	0
7	18	18	5	5	5	X	12,5	5
8	13,5	13,5	13,5	0	0	26	X	0

Таблиця 2.23 – Зведена матриця

	1	2	3	4	5	6	9
1	X	0	0	1	1	4	4
2	3	X	0	7,5	7,5	13,5	13,5
3	13	13	X	0	0	25,5	8,5
4	3	0	6	X	3	0	X
5	0	0	0,5	13	X	0	0
7	18	18	0	0	0	X	12,5
8	13,5	13,5	13,5	0	0	26	X

На цьому етапі максимальну оцінку 4 має елемент у строчці 5 та стовпчику 9. Знов організуємо дві підмножини: перша, включає пари (6,7), (9,8) та не включає пару (5,9), друга, включає пари (6,7), (9,8) та (5,9). Перша підмножина буде мати нижню границю 164 (160+4). Для визначення нижньої

границі другої виключаємо строчку 5 та стовпчик 9, блокуємо вибір пари (8,5), яка може привести до зациклювання маршруту.

Таблиця 2.24 – Зведення матриці по стовпчиках

	1	2	3	4	5	6
1	X	0	0	1	1	4
2	3	X	0	7,5	7,5	13,5
3	13	13	X	0	0	25,5
4	6	0	6	X	3	0
7	13	13	0	0	0	X
8	13,5	13,5	13,5	0	X	26
Константи зведення	3	0	0	0	0	0

Після блокування у матриці знов з'являється константа зведення (таблиця 2.24).

Зараз найменшу нижню границю має вершина (5,9), яка складає 163 (160+3). Відповідну підмножину знов розділяємо та знаходимо оцінки нульових елементів у зведеній матриці (таблиці 2.25).

Таблиця 2.25 – Оцінки нульових елементів

	1	2	3	4	5	6
1	X	0	0	1	1	4
2	0	X	0	7,5	7,5	13,5
3	10	13	X	0	0	25,5
4	3	0	6	X	3	6
7	10	13	0	0	0	X
8	13,5	13,5	13,5	0	X	26

У подальшому описаними прийомами обираємо пару (8,4) та після блокування вибору пари (4,5) та приведення отриманої матриці отримуємо, що нижня границя для множини, позначеної (8,4), збільшується до 167. Відповідна цьому етапу обчислень матриця приведена у табл. 2. 26.

Знов отримана нижня границя для верхніх підмножин (рисунок 2.5) не перевищує нижніх границь нерозділених підмножин  $(\overline{6,7})$ ,  $(\overline{9,8})$ ,  $(\overline{5,9})$ ,  $(\overline{8,4})$ , тому продовжуємо поділ підмножини (8,4). На цьому шляху послідовно включаємо до рішення пари: (3,5) з блокуванням пари (4,3); (7,3) з блокуванням (4,6); (2,1) з блокуванням (1,2). Після чергового зведення приходимо до матриці розміром  $2 \times 2$ , по якій однозначно обираємо дві недостатні у рішенні пари (1,6) та (4,2). Матриці усіх проміжних результатів показані у табл. 2.27-2.30.

До цього моменту отримуємо найкоротший маршрут крану, який має довжину 167 м та включає наступні ланки контейнерних переміщень:

(9-7) – (1-56) – (57-26) – (8-19) – (16-1) – (2-54) – (58-57) – (16-2) – (10-6).

Дійсний маршрут, який виконувався краном мав наступну послідовність:

(1-56) - (10-6) - (16-1) - (2-54) - (57-26) - (58-57) - (8-19) - (9-7) - (16-2).

Довжина цього маршруту складає 230 м.

Таблиця 2.27 – Матриця на сьомому кроці

	1	2	3	5	6
1		0	0	1	0
2	0		0	7,5	9,5
3	10	13		0	25,5
4	3	0	6		2
7	10	13	0	0	

Таблиця 2. 28 – Матриця на восьмому етапі

	1	2	3	6
1		0	0	0
2	0		0	9,5
4	3	0		2
7	10	13	0	

Таблиця 2.29 – Матриця на дев'ятому кроці

	1	2	6
1		0	0
2	0		9,5
4	3	0	

Таблиця 2.30 – Матриця 2 × 2

	2	6
1		0
4	0	

Отримана послідовність переміщення крану менше на 63 м, що становить 27%. При цьому економія часу складатиме теж близько 27 %.

*Приклад 2.* Знайдемо найкоротший маршрут переміщення крану між ланками контейнерних переміщень (таблиця 2.31), матриця найкоротший відстаней, між якими задана таблиці 2.32. Рішення задачі почнемо з зображення множини всіх маршрутів – кореня «дерева» рішень (рисунок 2.6).

Таблиця 2. 31 – Ланки переміщень контейнерів

№	1	2	3	4	5	6	7
Ланки переміщень	7-14	12-7	12-18	2-54	54-21	4-30	29-4

Таблиця 2.32 – Матриця найкоротших відстаней між ланками

	1	2	3	4	5	6	7
1		6	6	19,5	46	28	26,5
2			26	17,5	72	53,5	52
3	26	21		13,5	46	28	26,5
4	72	46	46			19,5	20
5	39	13,5	13,5	23,5		19,5	13,5
6	52	26	26	36,5	20		3
7	53,5	28	28	38	19,5		

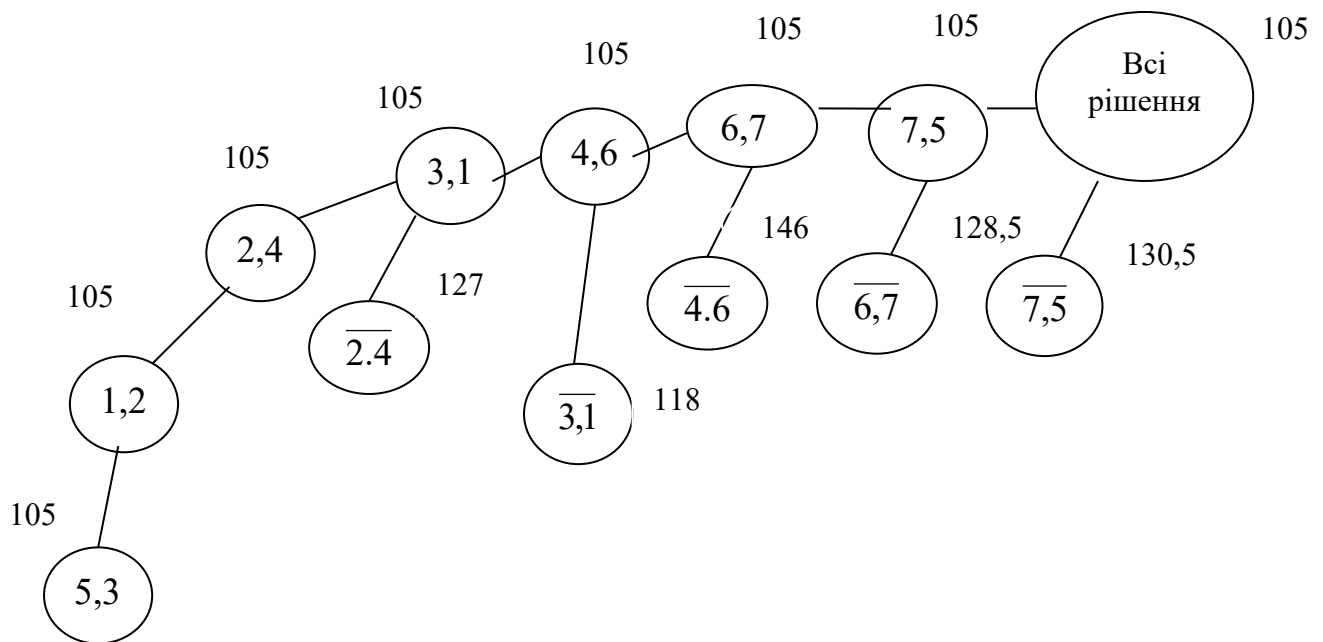


Рисунок 2.6 – «Дерево» пошуку рішень

Для розрахунку нижньої границі тривалості всіх маршрутів виконаємо зведення початкової матриці найкоротших тривалостей руху. При цьому константи зведення рядків будемо показувати у крайньому правому

стовпчику, а константи зведення стовпчиків – у нижньому рядку. Процес зведення початкової матриці показаний у таблицях 2.33 та 2.34.

Таблиця 2.33 – Зведення матриці за рядками

	1	2	3	4	5	6	7	Константи зведення
1	X	6	6	19,5	46	28	26,5	6
2	X	X	26	17,5	72	53,5	52	17,5
3	26	21	X	13,5	46	28	26,5	13,5
4	72	46	46	X	X	19,5	20	19,5
5	39	13,5	13,5	23,5	X	19,5	13,5	13,5
6	52	26	26	36,5	20	X	3	3
7	53,5	28	28	38	19,5	X	X	19,8

Таблиця 2.34 – Зведення матриці за стовпцями

	1	2	3	4	5	6	7
1	X	0	0	13,5	40	22	20,5
2	X	X	8,5	0	54,5	36	34,5
3	12,5	7,5	X	0	32,5	14,5	13
4	52,5	26,5	26,5	X	X	0	0,5
5	25,5	0	0	10	X	6	0
6	46	23	23	33,5	17	X	0
7	34	8,5	8,5	18,5	0	X	X
Константи зведення	12,5	0	0	0	0	0	0

Сума констант зведення  $92,5 + 12,5 = 105$  і буде нижньою границею для множини всіх рішень, що й зафіксуємо, поставивши це число біля кола «всі

рішення». Далі продовжуємо працювати зі зведеною матрицею (таблиця 2.35).

Таблиця 2.35 – Зведена матриця

	1	2	3	4	5	6	7
1		0	0	13,5	40	22	20,5
2			8,5	8,5	54,5	36	34,5
3	13	7,5		0	32,5	14,5	13
4	40	26,5	26,5			6,5	0,5
5	13	0	0	10		6	0
6	36,5	23	23	33,5	17		17
7	21,5	8,5	8,5	18,5	25,5		

Знайдемо оцінки всіх її елементів, що дорівнюють нулю та запишемо їх у правому верхньому куті відповідних клітинок матриці. Оцінка, наприклад, елемента (7,5) отримана таким чином: переглядаємо рядок 7; в ньому мінімальний елемент (за виключенням клітинки (7,5)) стоїть у клітинці (7,2) та дорівнює 8,5; далі переглядаємо стовпчик 5: у ньому мінімальний елемент стоїть у клітинці (6,5) та дорівнює 17; додаємо  $8,5+17=25,5$ . Таким чином оцінка елемента (7,5) дорівнює 25,5.

Далі вводимо в рішення пару ланок з мінімальною оцінкою. В нашому випадку це пара (7,5) з оцінкою 25,5. Після введення у рішення пари (7,5) множина всіх маршрутів ділиться на дві підмножини: маршрути першої підмножини обов'язково будуть включати пару (7,5), а маршрути другої підмножини обов'язково не включати цієї пари. Позначимо на дереві рішень першу підмножину колом з записом прийнятої пари (7,5), а другу

підмножину – колом з записом  $\overline{7,5}$ , що буде позначати відсутність пари (7,5) в маршруті цієї підмножини.

Нижня границя для маршрутів другої підмножини знаходиться як сума нижньої границі множини «всі рішення» та величини оцінки пари (7,5), тобто  $105+25,5=130,5$  м.

Після цього рядок 7 та стовпчик 5 з подальшого розгляду виключаємо. Далі необхідно визначити елемент, який необхідно заблокувати. Це, очевидно, елемент (5,7). Отримана після цього матриця наведена у таблиці 2.36.

Таблиця 2.36 – Оцінки нульових елементів

	1	2	3	4	6	7
1						
		0	0			
1		0	0	13,5	22	20,5
2				8,5		
2			8,5	0	36	34,5
3	13			0		
3	0	7,5		0	14,5	13
4	40	26,5	26,5		6,5	
4		0	0		0	0,5
5	13	0	0	10	6	
5		0	0			23,5
6	36,5	23	23	33,5		0

Тепер отриману, після блокування, матрицю знов слід звести (в нашому випадку всі константи зведення дорівнюють нулю). Сума констант зведення, додана до нижньої границі множини «всі рішення» буде нижньою оцінкою для першої підмножини (коло (7,5)). Для цього приклада  $105+0=151$ .

Надалі з множини «вільних» вершин, тобто вершин, що ще не були поділені на дві підмножини, вибираємо вершину з найменшою нижньою границею. Це вершина (7,5) з оцінкою 105. Таким чином, вона підлягає поділенню. У новій матриці найбільшу оцінку має елемент (6,7). Знов

організуємо дві підмножини маршрутів: першу, що включає пару (7,5) та не включає пару (6,7) та другу, що включає пару (7,5) та пару (6,7). Перша підмножина буде мати нижню границю  $105+23,5=128,5$ . Для визначення нижньої границі другої підмножини виключаємо рядок 6 та стовпчик 7 матриці, блокуємо елемент (5,6) та отримуємо матрицю (табл. 2.37).

Таблиця 2.37 – Матриця на п'ятому кроці

	1	2	3	4	6
			0	0	
1		0	0	13,5	22
				8,5	
2			8,5	0	36
	13			0	
3	0	7,5		0	14,5
					41
4	40	26,5	26,5		0
5	13	0	0	10	

Після блокування матриця знову зводиться, и сума констант зведення, додана до нижньої границі (7,5), дає нижню границю для множини (6,7), яка не змінюється та дорівнює 105. Найбільшу оцінку у цій матриці має елемент (4,6), тобто виключаємо рядок 4 та стовпчик 6, та блокуємо (5,4). Після цього отримуємо матрицю (таблиця 2.38).

Після зведення матриці нижня границя не змінюється, тому продовжуємо поділ підмножини (4,6). На цьому шляху послідовно включаємо у рішення пари: (3,1) з блокуванням пари (1,3); (2,4) з блокуванням (5,2). Після чергового зведення приходимо до матриці розміром  $2 \times 2$ , по якій однозначно обираємо дві недостатні у рішенні пари (1,2) та (5,3). Матриці усіх проміжних результатів показані у табл. 2.39-2.40.

Таблиця 2.38 – Матриця на шостому кроці

	1	2	3	4
1		0	0	13,5
2			8,5	0
3	0	7,5		0
5	13	0	0	

Таблиця 2.39 – Матриця на сьомому кроці

	2	3	4
1	0		13,5
2		8,5	0
5	0	0	

Таблиця 2.40 – Матриця 2 × 2

	2	3
1	0	
5		0

До цього моменту отримуємо найкоротший маршрут крану, який має довжину 105 м та включає наступні ланки контейнерних переміщень:

(54-21) - (12-18) - (7-14) - (12-7) - (2-54) - (4-30) - (29-4).

Фактичний маршрут, який виконувався краном мав наступну послідовність:

(4-30) - (29-4) - (12-18) - (7-14) - (12-7) - (54-21) - (2-54).

Довжина цього маршруту складає 158,5 м. Тобто, отримана після розрахунків послідовність переміщення крану менше на 53 м, що становить 33,5 %.

### 2.3.2 Метод динамічного програмування

*Приклад 1.* Оптимізуємо роботу крану використовуючи метод динамічного програмування на прикладі контейнерного терміналу ПАТ «ЗАЗ».

Маємо 10 ланок контейнерних переміщень (таблиця 2.41) між якими кран виконує порожні пробіги, мінімум яких і буде критерієм оптимальності. У якості порожніх пробігів візьмемо так званий приведений пробіг крану – найбільшу з двох величин відстань переміщення візка та переміщення моста. У відповідності до цих критеріїв будуюмо матрицю пробігів крану між всіма ланками переміщень контейнерів (таблиця 2.42) та одразу у ній блокуємо заздалегідь неможливі переміщення.

Таблиця 2.41 – Ланки переміщень контейнерів

№	Ланки переміщень контейнерів	№	Ланки переміщень контейнерів
1	6-12	6	54-44
2	1-24	7	56-31
3	19-1	8	30-56
4	4-7	9	30-57
5	58-53	10	57-29

Таблиця 2.42 – Матриця відстаней між ланками

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	X	29	13,5	28	26,5	46	46	26,5	26,5	46
2	15	X	15	14,5	13	33	33	13,5	13,5	33
3	22	X	X	57	55,5	75	75	55,5	55,5	75
4	10	19,5	39	X	52	72	72	52	52	72
5	59	75	33	24,5	X	4,5	20	20	20	23,5

Продовження таблиці 2.42

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	14	36,5	18	36,5	36,5		51	31,5	31,5	51
7	42	55,5	13,5	10,5	7	20		3	3	20
8	61,5	75	33	18	20	15			20	4
9	61,5	75	33	18	20	18,5	4	20		
10	42	55,5	13,5	16,5	12,5	20	20	3	3	

Розраховуємо цю задачу, використовуючи алгоритм розрахунку (рисунок 2.4). Порядок рішення представимо у вигляді таблиці (таблиця 2.43)

Таблиця 2.43 – Пошук оптимального набору ланок переміщення крану

		1	2	3	4	5	6
Кінцева ланка		4-7	58-53	54-44	30-57	19-1	6-12
1-й крок	ланка	6-12 54-44 58-53 19-1 <b>30-57</b>	6-12 54-44 4-7 19-1 <b>30-57</b>	6-12 4-7 <b>58-53</b> 19-1 30-57	6-12 54-44 58-53 19-1 30-56 4-7 <b>57-29</b>	<b>6-12</b> 54-44 58-53 4-7 30-57 1-24	<b>4-7</b> 54-44 58-53 19-1 30-57
	$L_{Ko}$	24 36,5 28 57 <b>18,5</b>	26,5 33 52 55,5 <b>20</b>	46 72 <b>4</b> 75 18,5	26,5 31,5 20 55,5 20 52 <b>3</b>	<b>13,5</b> 18 33 39 33 15	<b>10</b> 14 59 22 42
	$L_{Ki}^* = \min\{L_{Ki}\}$	18,5	20	4	3	13,5	10
2-й крок	ланка	<b>57-29</b> 30-56 58-53 6-12 54-44 19-1	6-12 4-7 54-44 19-1 30-57 <b>57-29</b>	4-7 <b>30-57</b> 19-1 6-12	<b>30-56</b> 58-53 4-7 6-12 54-44 19-1	<b>4-7</b> 1-24 58-53 54-44 30-57	58-53 54-44 19-1 <b>30-57</b>
	$L_{K1}$	<b>3</b> 20 20 26,5 31,5 55,5	52 26,5 31,5 55,5 20 <b>3</b>	52 <b>20</b> 55,5 26,5	<b>4</b> 23,5 72 46 51 75	<b>10</b> 15 59 14 61,5 15	24,5 36,5 57 <b>18</b>

Продовження таблиці 2.43

		1	2	3	4	5	6
	$L_K^*$	21,5	23	24	7	23,5	28
3-й крок	ланки	<b>30-57</b> 58-53 54-44 6-12 19-1	<b>30-57</b> 54-44 4-7 6-12 19-1	<b>57-29</b> 4-7 6-12 19-1 30-57	<b>56-31</b> 58-53 54-44 19-1 6-12 4-7	54-44 58-53 <b>30-57</b> 1-24	58-53 54-44 <b>57-29</b> 30-57 19-1
	$L_{K2}$	<b>4</b> 23,5 51 46 75	<b>4</b> 51 72 46 75	<b>3</b> 52 26,5 55,5 20	<b>3</b> 20 31,5 55,5 26,5 52	36,5 24,5 <b>18</b> 36,5	20 31,5 <b>3</b> 20 55,5
	$L_K^*$	25,5	27	27	10	41,5	31
4-й крок	ланки	<b>56-31</b> 58-53 54-44 19-1 6-12	<b>56-31</b> 54-44 19-1 6-12 4-7	<b>30-56</b> 4-7 19-1 6-12 56-31	<b>58-53</b> 54-44 6-12 19-1 4-7	58-53 54-44 1-24 <b>57-29</b>	<b>30-56</b> 58-57 54-44 19-1
	$L_{K3}$	<b>3</b> 20 31,5 55,5 26,5	<b>3</b> 72 55,5 26,5 52	<b>4</b> 72 75 46 20	<b>20</b> 51 46 75 72	20 31,5 13,5 <b>3</b>	<b>4</b> 24 51 75
	$L_K^*$	28,5	30	31	30	44,5	35
5-й крок	ланки	<b>58-53</b> 54-44 6-12 19-1	54-44 19-1 4-7 <b>6-12</b>	<b>56-31</b> 4-7 19-1 6-12	54-44 <b>6-12</b> 19-1 4-7	58-53 54-44 1-26 <b>30-56</b>	58-53 54-44 19-1 <b>56-34</b>
	$L_{K4}$	<b>20</b> 51 46 75	51 75 72 <b>46</b>	<b>3</b> 52 55,5 26,5	36,5 <b>26,5</b> 55,5 52	23,5 51 3 <b>4</b>	20 31,5 55,5 <b>3</b>
	$L_K^*$	48,5	76	34	56,5	48,5	38
6-й крок	ланки	<b>54-44</b> 6-12 19-1	54-44 19-1 <b>4-7</b>	4-7 19-1 <b>6-12</b>	54-44 19-1 <b>4-7</b>	<b>56-31</b> 58-53 54-44	54-44 19-1 <b>58-53</b>
	$L_{K5}$	<b>36,5</b> 46 55,5	14 22 <b>10</b>	72 75 <b>46</b>	14 22 <b>10</b>	<b>3</b> 20 31,5	36,5 55,5 <b>20</b>

Кінець таблиці 2.43

		1	2	3	4	5	6
	$L_K^*$	85	86	80	66,5	51,5	58
7-й крок	ланки	<b>6-12</b> 19-1	<b>54-44</b> 19-1	<b>4-7</b> 19-1	<b>54-44</b> 19-1	<b>58-53</b> 54-44 1-24	19-1 <b>54-44</b>
	$L_{K6}$	<b>46</b> 75	<b>36,5</b> 57	<b>10</b> 22	<b>36,5</b> 57	<b>20</b> 36,5 33	55,5 <b>36,5</b>
	$L_K^*$	131	122,5	90	103	71,5	94,5
8-й крок	ланки	19-1	19-1	19-1	19-1	54-44 <b>1-24</b>	19-1
	$L_{K7}$	22	75	57	75	36,5 <b>13,5</b>	75
	$L_K^*$	153	197,5	147	178	85	169,5
9-й крок	ланки	1-24	1-24	1-24	1-24	54-44	1-24
	$L_{K8}$	15	15	15	15	<b>36,5</b>	15
	$L_K^*$	168	212,5	162	193	<b>121,5</b>	184,5

Найкоротший маршрут має довжину 121,5 м та складається із послідовності наступних пунктів:

$$(54 - 44) \rightarrow (1 - 24) \rightarrow (58 - 53) \rightarrow (56 - 31) \rightarrow (30 - 56) \rightarrow (57 - 29) \rightarrow (30 - 57) \rightarrow (4 - 7) \rightarrow (6 - 12) \rightarrow (19 - 1)$$

Дійсним маршрут, який виконував кран має наступну послідовність:

$$(56 - 31) \rightarrow (30 - 56) \rightarrow (57 - 29) \rightarrow (30 - 57) \rightarrow (4 - 7) \rightarrow (1 - 24) \rightarrow (19 - 1) \rightarrow (54 - 44) \rightarrow (6 - 12) \rightarrow (58 - 53)$$

Його довжина складає 178 м. Отже, отримавши маршрут методом динамічного програмування, маємо зменшення довжини на 56,5 м. Тобто, скорочуємо довжину переміщення крана на 32%.

*Приклад 2.* Оптимізуємо роботу крану використовуючи метод динамічного програмування на прикладі контейнерного терміналу ПАТ«ЗАЗ».

Маємо 7 ланок контейнерних переміщень (таблиця 2.44) між якими кран виконує порожні пробіги, мінімум яких і буде критерієм оптимальності. Матриця пробігів крану між всіма ланками переміщень контейнерів із

заздалегідь заблокованими неможливими переміщеннями представлена у таблиці 2.45.

Таблиця 2.44 – Ланки переміщень контейнерів

№	1	2	3	4	5	6	7
Ланки переміщень	7-4	3-7	31-1	30-2	2-57	57-31	56-3

Таблиця 2.45 – Матриця відстаней між ланками

	1	2	3	4	5	6	7
1		19	10,5	13,5	38	18,5	18,5
2			52	52	17,5	72	72
3	19,5	38		55,5	19	75	75
4	17,5	19	36,5			56,5	56,5
5	72	37	20	20			4
6	52	17,5		3	36,5		20
7	52	17,5		3	36,5	20	

Розраховуємо цю задачу, використовуючи алгоритм розрахунку (рисунок 2.4). Порядок рішення представимо у вигляді таблиці (таблиця 2.46)

Таблиця 2.46 – Пошук оптимального набору ланок переміщення крану

		1	2	3	4
Кінцева ланка		56-31	30-2	7-3	57-31
1-й крок	ланка	<b>57-31</b>	56-31	56-31	<b>56-31</b>
		30-2	<b>57-31</b>	57-31	31-2
		7-3	7-3	<b>30-2</b>	7-3

Продовження таблиці 2.46

		1	2	3	4
1-й крок	$L_{K0}$	<b>20</b> 56,5 37	3 <b>3</b> 17,5	52 52 <b>17,5</b>	<b>20</b> 56,5 37
	$L_{Ki}^* = \min\{L_{Ki}\}$	20	3	17,5	20
2-й крок	ланка	30-2 7-3 31-1	<b>56-31</b> 7-3	56-31 <b>57-31</b>	31-1 30-2 <b>7-3</b>
	$L_{K1}$	56,5 37 55	<b>20</b> 37	3 <b>3</b>	55 55 <b>37</b>
	$L_K^*$	57	23	20,5	57
3-й крок	ланки	<b>30-2</b> 31-1 2-57	7-3 31-1 <b>2-57</b>	<b>56-31</b> 3-7	2-57 31-1 <b>30-2</b>
	$L_{K2}$	17,5 19,5 72	37 75 <b>4</b>	<b>20</b> 72	72 19,5 <b>17,5</b>
	$L_K^*$	74,5	27	40,5	74,5
4-й крок	ланки	31-1 <b>2-57</b>	<b>7-3</b> 31-1	<b>2-57</b> 3-7 31-1	31-1 <b>2-57</b> 3-7
	$L_{K3}$	55,5 <b>20</b>	<b>19</b> 19	<b>4</b> 72 75	55,5 <b>20</b> 52
	$L_K^*$	94,5	46	44,5	94,5
5-й крок	ланки	<b>3-7</b> 31-1	<b>31-1</b> 7-4	<b>3-7</b> 31-1	<b>3-7</b> 31-1
	$L_{K4}$	<b>17,5</b> 19	<b>19,5</b> 53,5	<b>17,5</b> 19	<b>17,5</b> 19
	$L_K^*$	112	65,5	62	112
6-й крок	ланки	31-1 <b>7-4</b>	<b>3-7</b>	31-1 <b>7-4</b>	31-1 <b>7-4</b>
	$L_{K5}$	38 <b>19</b>	<b>52</b>	38 <b>19</b>	38 <b>19</b>
	$L_K^*$	131	117,5	81	131
7-й крок	ланки	31-1	7-4	31-1	31-1
	$L_{K6}$	19,5	19	<b>19,5</b>	19,5
	$L_K^*$	150,5	136,5	<b>100,5</b>	150,5

Найкоротший маршрут складається із послідовності наступних пунктів:  
 $(31 - 1) \rightarrow (7 - 4) \rightarrow (3 - 7) \rightarrow (2 - 57) \rightarrow (56 - 31) \rightarrow (57 - 31) \rightarrow (30 - 2) \rightarrow$   
 $\rightarrow (7 - 3)$ .

Цей маршрут має довжину 100,5 м.

Фактичний маршрут, який виконував кран має наступну послідовність:

$(31 - 1) \rightarrow (7 - 4) \rightarrow (3 - 7) \rightarrow (2 - 57) \rightarrow (30 - 2) \rightarrow (7 - 3) \rightarrow (57 - 31) \rightarrow$   
 $\rightarrow (56 - 31)$ .

У нього довжина складає 150,5 м. Отже, отримавши маршрут методом динамічного програмування, маємо зменшення довжини на 50 м. Тобто, скорочуємо довжину переміщення крана на 33 %.

### 3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

Головними задачами розвитку економіки на сучасному етапі є підвищення ефективності виробництва, а також заняття підприємствами стійких позицій на внутрішньому і міжнародному ринках. Щоб витримати гостру конкуренцію і завоювати довіру покупців підприємство повинно вигідно виділятися на фоні підприємств того ж типу. Однією з основних умов підвищення ефективності промислового виробництва є систематичне зниження собівартості промислової продукції.

У даній магістерській роботі розроблені та представлені методи по оптимізації роботи крану на контейнерній площадці ПАТ «ЗАЗ», Після використання яких, скорочується непродуктивний рух крану до 35%, а час обробки контейнерів у середньому на 10 %.

Тобто, можна говорити про середньозважену економію від скорочення простою 1 контейнера під навантажувально-розвантажувальними операціями на території ПАТ «ЗАЗ» до 10 %.

Однією із складових за якими розраховується економія є підвищення технічного рівня виробництва. Це впровадження нової прогресивної технології, механізація та автоматизація виробничих процесів, поліпшення використання і вживання нових видів сировини і матеріалів; зміна конструкції і технологічних характеристик виробів; інші фактори, що підвищують технічний рівень виробництва.

За даною групою аналізується вплив на собівартість науково-технічних досягнень і передового досвіду. За кожним заходом розраховується економічний ефект, який виражається у зниженні витрат на виробництво. Економія від здійснення заходів визначається порівнянням величини витрат на одиницю продукції до і після впровадження заходів і множенням одержаної різниці на обсяг виробництва у плановому році:

$$E = (B_C - B_H) \cdot ОП_H, \quad (3.1)$$

де  $E$  – економія прямих поточних витрат;

$B_C$  – прямі поточні витрати на одиницю продукції до впровадження заходу;

$B_H$  – прямі поточні витрати після впровадження заходу;

$ОП_H$  – обсяг продукції в натуральних одиницях від початку впровадження заходу до кінця планового року.

Розрахуємо річну економію на скорочення простою 1 контейнера на під'їзних коліях ПАТ «ЗАЗ» після впровадження методів, представлених у даній магістерській роботі.

На підставі статистичних даних прибуття й відправлення контейнерів за п'ять місяців 2014 року, коли підприємство працювало, та діючих тарифів за простий контейнерів на під'їзних коліях підприємств, знайдемо середньомісячні витрати на 1 контейнер за кожен з п'яти місяців. Розрахунки проводимо за допомогою формули 3.2:

$$\bar{B}_{Mi} = \frac{Пл}{K}, \quad (3.2)$$

де  $\bar{B}_M$  – середньомісячні витрати за простою на 1 контейнер;

$i$  – відповідний місяць;

$Пл$  – плата за простий контейнерами на залізничній колії ПАТ «ЗАЗ», грн;

$K$  – кількість оброблених контейнерів за місяць, од.

Перший місяць:

$$\bar{B}_{M1} = \frac{776975,2}{368} = 2111,35 \text{ грн/конт.}$$

Ця сума відповідає 329 годинам простою.

У другому місяці середньомісячна плата склала:

$$\bar{B}_{M2} = \frac{1068797}{487} = 2194,66 \text{ грн./конт.}$$

Що відповідає 422 годинам простою.

На третій місяць завод за 1 контейнер у середньому сплатив:

$$\bar{B}_{M3} = \frac{749221}{391} = 1916,17 \text{ грн./конт.}$$

Що становить 382 годину простою.

У четвертому місяці:

$$\bar{B}_{M4} = \frac{885983}{417} = 2124,66 \text{ грн./конт.}$$

Що відповідає 397 годинам простою.

І на п'ятий місяць середньомісячна плата на 1 контейнер становила:

$$\bar{B}_{M5} = \frac{522422}{418} = 1249,81 \text{ грн./конт.}$$

Що становить 281 годин простою.

Маючи середньомісячні плати за простій 1 контейнера знайдемо середньорічну за формулою 3.3:

$$\bar{B}_{РІЧ} = \frac{\sum \bar{B}_{Mi}}{\sum i} \cdot 12. \quad (3.3)$$

Підставивши значення у формулу отримаємо:

$$\overline{B}_{PIЧ} = \frac{2111,35 + 2194,66 + 1916,17 + 2124,66 + 1249,81}{5} \cdot 12 = 23032 \text{ грн.}$$

Аналогічно знайдемо значення середньорічного простою 1 контейнера за формулою 3.4:

$$\overline{PP}_{PIЧ} = \frac{\sum \overline{PP}_M}{\sum i} \cdot 12 \quad (3.4)$$

Підставивши дані у формулу маємо:

$$\overline{PP}_{PIЧ} = \frac{329 + 422 + 382 + 397 + 281}{5} \cdot 12 \approx 4346 \text{ год.}$$

Тобто, прямі поточні витрати на зберігання 1 контейнера на території ПАТ «ЗАЗ» до використання методів складають:

$$B_C = 23032 \cdot 4346 = 100097072 \text{ грн.}$$

А прямі поточні витрати після впровадження розроблених методів становлять:

$$B_H = (23032 \cdot 4346) \cdot 0,9 = 90087365 \text{ грн.}$$

Отже, річна середньозважена економія заводу на скорочення простою 1 контейнеру становить:

$$E = (100097072 - 90087365) \times 1 = 10009707 \text{ грн.}$$

Економічні розрахунки підтвердили, що впровадження математичних методів дасть значний економічний ефект за рахунок скорочення часу простою контейнерів. В після воєнний час при відновленні виробництва та зростанні програми випуску автомобілів ця економія дасть можливість впровадити автоматизовану систему управління контейнерним терміналом Solvo.CTMS.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НЕБЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі магістерської роботи «Моделювання роботи контейнерного терміналу в умовах машинобудівного підприємства» розглянуті питання безпеки дослідника та робітників. Розроблені заходи по їх усуненню.

Найважливішою умовою для рішення виробничих завдань є правильно організована, безпечна й високопродуктивна праця. Забезпечення здоровіших і безпечних умов праці є однією їх головних передумов підвищення продуктивності праці на виробництві.

Кожен рік відбуваються нещасні випадки, які зв'язані з транспортуванням та вантажно-розвантажувальними операціями, які є причиною нанесення пошкоджень людям та обходиться підприємствам багатомільйонними збитками, обумовленими пошкодженням вантажу, пошкодженням транспортного засобу, пошкодженою репутацією та загубленим робочим часом.

Тому необхідно розглянути аналіз потенційних небезпек при вантажопереробці контейнерів на контейнерному терміналі, який розглянутий в **Додатку А**.

В **Додатку Б** розроблені заходи по усуненню загальних небезпек та небезпек виробничої санітарії та гігієни праці

В **Додатку В** виконані дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, напруженості праці, значення яких були заміряні в лабораторії дослідника.

В підрозділі з Охорони праці розглянуті питання з цивільного захисту.

#### 4.1 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

При організації проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт (далі – АРІНР), на транспортні служби покладається забезпечення таких завдань як:

- виїзд і переміщення сил до місця виникнення надзвичайних ситуацій (далі – НС);
- забезпечення дій у зоні НС та евакуації в безпечні райони (місця);
- збір і повернення сил і засобів до місця постійної дислокації.

Виїзд і рух до місця виклику (НС) слід здійснювати в найкоротший час, що досягається:

- швидким збором і виїздом особового складу підрозділу (протягом часу, що не перевищує нормативний) та знанням особовим складом функціональних обов'язків;
- рухом спеціальної техніки найкоротшим маршрутом із гранично можливою швидкістю, що забезпечує безпеку, у тому числі з використанням спеціальних сигналів і відступом (за потреби), в установленому порядку від вимог Правил дорожнього руху, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2001 року № 1306;
- знанням особливостей району виїзду.

Під час пересування до зони НС залізничним, водним або повітряним транспортом на шляху проходження керівник підрозділу зобов'язаний:

- організувати розміщення, харчування, медичне забезпечення та відпочинок особового складу;
- забезпечити збереження спеціальної техніки та обладнання;
- за наявності часу організувати вивчення особовим складом обстановки в зоні НС і уточнити його дії під час проведення АРІНР.

Розгортання сил і засобів, призначених для ліквідації наслідків НС, розміщення особового складу, спеціальної техніки та обладнання в зоні НС

здійснюються за рішенням Керівника робіт із НС.

Рятування людей під час НС є першочерговим завданням АРІНР і становить сукупність заходів щодо переміщення людей із зони впливу небезпечних факторів НС та їх вторинних проявів або захисту людей від впливу цих факторів, у тому числі з використанням засобів індивідуального захисту та захисних споруд (укриттів).

Рятування людей під час НС слід проводити з використанням усіх можливих форм, способів і методів, а також технічних засобів, що забезпечують найбільшу безпеку як постраждалих, так і особового складу, залученого до проведення АРІНР.

Основними способами рятування людей і майна є:

- евакуація із зони НС, у тому числі з використанням спеціальних технічних засобів та авіації;

- захист від впливу небезпечних факторів НС.

## ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі для оптимізації роботи крану на контейнерному терміналі пропонується два методи математичного моделювання: метод «відгалужень і меж» та метод динамічного програмування. Завдяки впровадженню та використанню цих методів організується робота контейнерної площадки, скорочуються непродуктивний рух крану та прискорюється процес обробки контейнерів, що у кінцевому результаті зменшує час простою контейнерів під навантажувально-розвантажувальними операціями та загальний час їх знаходження на під'їзних коліях підприємства. По кожному методу були розроблені блок – схеми алгоритму розрахунку.

Розроблені методики доведені до числових розрахунків. Пошук оптимальних маршрутів відбувався на основі матриці найкоротших відстаней між ланками контейнерних переміщень, що відбувались за одну подачу фітінгових платформ з контейнерами до контейнерного майданчика.

Розрахунки для представленої моделі показали, що при застосуванні математичних методів для отримання оптимальних маршрутів роботи крану його непродуктивний рух в середньому зменшився на 30 %, а час переробки контейнерів, що підлягають завантаженню та розвантаженню з однієї подачі фітінгових платформ на контейнерний термінал на 10 %.

На основі спостережень були отримані фактичні маршрути руху крану. Отримані вихідні дані були покладені в основу регресивного аналізу. Отриманий, після обчислення на ЕОМ, лінійний розподіл має стандартну похибку  $S = 2,6$  та коефіцієнт кореляції  $r = 0,99$ , що свідчить про тісний характер зв'язку між досліджуваними факторами.

Після проведення економічних розрахунків була економічно обґрунтована ефективність проектних рішень та отримана річна економія, яка склала 10009707 грн.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Запорізький автомобілебудівний завод – Вікіпедія. : веб-сайт. – URL : <https://uk.wikipedia.org>.
2. Виробництво /ZAZ I ЗАЗ Офіційльний сайт. – URL:<http://www.avtozaz.com>.
3. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Основи теорії систем і управління» (основи роботи у системі Statistica® for Windows®) для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» денної та заочної форм навчання / Укл.: В.П., Юдін, С.В. Грицай, С.І. Калкасов – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 58 с.
4. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни «Вантажні перевезення» для студентів спеціальностей 7.100403 «Організація перевезень і управління на автомобільному транспорті» та 7.100401 «Організація та регулювання дорожнього руху» / Г. Ф. Бабушкін. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2006. – 46 с.
5. Коваленко В.М., Щуріхін В.К., Машика Н. Б./ В.М. Коваленко, В.К. Щуріхін, В.М. Машина Вантажні автомобільні перевезення: Підручник. - К.: Літера ЛТД, 2006. - 304 с.
6. Ізтелеуова М.С. Організація та логістика перевезень: підручник / М.С. Ізтелеуова, І.В. Грицук, П.М. Арімбекова, Л.А. Тарандушка. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2021 - 264 с.
7. Босняк М.Г. Вантажні автомобільні перевезення/Навчальний посібник/ М.Г. Босняк, К.: Видавничий Дім «Слово», 2010, 408с.
8. Комплекс з навчально-методичного забезпечення дисципліни «Вантажні автомобільні перевезення» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 275.03 Транспортні технології (на

- автомобільному транспорту)// Укл.: проф. Бабушкін Г.Ф., ст. викл. Лебідь Г.О. – Запоріжжя: ЗНТУ, - 2019.- 100 с.
9. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни «Вантажні автомобільні перевезення» для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» денної та заочної форм навчання / Укл. Г.Ф. Бабушкін, Г.О. Лебідь, Т.В. Кальченко. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021 - 47 с.
  10. Методичні вказівки до економічної частини дипломного проекту для студентів денної і заочної форми навчання спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» / Укл. Кузькін О.Ф., Харченко Т.В., Васильєва Л.О., Лебідь Г.О. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 34 с.
  11. Проектний аналіз / За ред. І.М. Москвіна. – К.: ТОВ «Видавництво Лібра», 1998. – 368 с.
  12. Кузькін О.Ф. Імовірнісні і статистико-експериментальні методи аналізу транспортних систем [Текст] : навчальний посібник / О.Ф. Кузькін, О.А. Лащених, С.М. Турпак. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 371с.
  13. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень – Введ. 1999-12-01 : Офіційний сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>.
  14. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Введ. 2014-01-01 : веб-сайт. – URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=50154](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50154).
  15. Правила експлуатації колісних транспортних засобів / Наказ міністерства інфраструктури від 26 липня 2013 р. № 550. Офіційний сайт. – URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1453-13#Text>.
  16. НАПБ Б.01.008-2018 Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників. – Введ. 2018-03-30. Офіційний сайт. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

17. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах (проектах) : зі спеціальності 275.02 – «Транспортні технології на залізничному транспорті» за освітньою програмою (спеціалізацією) – «Транспортні технології на залізничному транспорті»; «275.03 – Транспортні технології на автомобільному транспорті» за освітньою програмою (спеціалізацією) – «Транспортні технології на автомобільному транспорті» / Укл.: Лазуткін М. І., Журавель М. О. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 35 с.

## Додаток А

## Аналіз потенційних небезпек :

при навантаженні ящиків та контейнерів з вантажем електрокарами може відбутися падіння контейнерів з-за різних висот пандуса та рівня кузова автомобіля. Це може призвести до травмування як робітників так і дослідник;

при подачі автомобіля до навантаження заднім ходом можливі наїзди на робітників, що призведе до травмування.

при не задовільненому освітлені в цеху можливо порушення технологічного процесу навантаження, що призведе до травмування робітників;

під час навантаження вантажу в холодний період, робітники можуть отримати переохолодження та захворіти;

причиною виникнення пожежі - не задовільнений нагляд за електроустановками і проводами, опалювальними пристроями, що призводить до перевантажень, утворення іскор та загорання;

при перевезенні контейнерів до споживача, можливі ДТП. Це може відбутися з-за не виконання водієм правил дорожнього руху, не справного автомобіля;

при обробці статистичних даних на комп'ютері можливо виникнення шкідливих санітарно-гігієнічного характеру такі як не задовільнено освітлення, порушення норм мікроклімату, підвищений шум та інше, що може визивати важкість та напруженість праці.

## Додаток Б

## Заходи по забезпеченню безпеки

В терміналі для навантаження вантажу в контейнерах, що зберігаються на складах, повинні бути облаштовані платформи, естакади, рампи висотою, що дорівнює висоті підлоги кузова автомобіля або платформи відповідно ДБН А.5.2-2-2008 «Охорона праці і промислова безпека у будівництві».

Задній хід автомобіля у зоні робіт повинен виконуватися водієм тільки за сигналом одного з працівників, зайнятих на цих роботах та з обов'язковою подачею сигналу. «Правила охорони праці під час навантажувальних-розвантажувальних робіт» Наказ № 21 від 19.01.2015.

Для запобігання дорожньо-транспортних пригод перед виїздом водій повинен пройти інструктаж, де його знайомлять з маршрутом пересування, особливостями руху на цьому маршруті, нагадують правила дорожнього руху. Автомобіль повинен пройти технічний огляд з відміткою в шляховому листі головним механіком. Перед виїздом водій повинен пройти медичний огляд з відміткою в листі доктора. НПАОП 0.00-1.62-12 «Правила охорони праці на автомобільному транспорті».

Для попередження падіння вантажу з навантажувача, необхідно вантаж розміщувати по центру вил, витримувати центр ваги, не перевантажувати вантажник. Слідкувати за упаковкою вантажу на предмет пошкодження упаковки. Для запобігання наїздів на вантажників при розвантаженні вантажу споживачам, не обхідно розвантажуватися тільки на майданчиках для цього обладнаних. Якщо нема такої можливості, треба огородити місце розвантаження знаками. НПАОП 0-00-1.75-15 «Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт».

## Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Для запобігання переохолодження в холодний період часу, робітники повинні бути одягнуті в теплий одяг та взуття. Обов'язково повинні бути спеціальні кімнати для обігріву робітників, сушіння одягу. відповідно ДСТУ 7339:2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту».

Для забезпечення нормативного рівня освітленості на складах, при навантаженні вантажу, передбачається, відповідно ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення», застосування лампи типу ДРЛ-400, які мають високу світлову віддачу, тривалий термін служби та стійкість до коливань мережевої напруги міцністю 80 кВт. Висота підвісу буде більш 6 м

## Додаток В

Для запобігання дії шкідливих факторів на дослідника в лабораторії обладнаній ПК проведемо заміри, які вносимо до таблиці 1 «Вихідні дані». Проведемо оцінку рівня умов, важкості та напруженості праці дослідника в лабораторії обладнаній ПК за бальною шкалою .

Таблиця В1 – Вихідні данні

Фактор (показник)	Фактичне значення	Час дії год.
<b>Умови праці:</b>		
Мікроклімат за ТНС-індексом, $t, ^\circ C$	27	8
Освітленість приміщення $E, лк$	320	8
Розряд і підрозряд зорових робіт, $Z_{op}$	A-2	—
Рівень шуму $L, дБ A$	86	5
<b>Важкість праці:</b>		
Загальні енергозатрати організму, $Bm$	300	7
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	38000	6
<b>Напруженість праці:</b>		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	76	7
Тривалість робочого дня, год.	8	8

Відповідно до додатків методичних вказівок [23], за витратами енергії, визначаємо категорію робіт для дослідника лабораторії обладнаної ПК. Умови праці, за витратами енергії, не перевищують 140  $Bm$  (90-120  $ккал/год.$ ) та повинні відповідати легким фізичним роботам – категорії Іб.

З додатків [23], відповідно до категорії робіт Іб, розряду зорових робіт А-2 та виявлених показників умов та напруженості праці, визначаємо ГДК (ГДР) виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 4, таблиці В2.

Таблиця В2 – Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Вимірні показники $P_{вим}$	Час дії $год.(хв.)$	ГДК, ГДР, показники, $P_{дон}$	$X_{визн}$ , бали	Клас умов праці	$X_i$ , бали
1	2	3	4	5	6	7
Мікроклімат за ТНС-індексом, $t, ^\circ C$	27	8	22,9-25,8	3	3.3	3
Освітленість приміщення $E, лк$	320	8	400	—	3.1	1
Розряд і підрозряд зорових робіт, $Z_{ор}$	A-2	—	—	—	—	—
Рівень шуму $L, дБА$	86	5	50	—	3.1	0,63
Загальні енергозатрати організму, $Bт$	300	7	290	0,91	3.2	2
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	38000	6	40000	0,71		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	76	7	75	0,89		
Тривалість робочого дня, $год.$	8	8	8	0,15		

Для окремих факторів і показників за методикою визначеною «Гігієнічною класифікацією праці», визначаємо розрахункові коефіцієнти  $X_{визн}$  та вносять їх значення до стовпчика 5, таблиці 2:

- для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС-індекс, додаток Б [23]. Розрахунковий коефіцієнт  $X_{визн}$  при оцінка мікроклімату визначаємо в балах, за формулою 7.1 [23]:

$$X_{визн} = \frac{1 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + 3 \cdot t_3 + 4 \cdot t_4}{T} = \frac{3 \cdot 8}{8} = 3$$

- для показників важкості та напруженості праці розрахункові коефіцієнти визначаються за основними та допоміжними показниками, що є характерними для конкретного робочого місця, за формулою 7.2 [23]:

a.) загальні енергозатрати організму,  $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{300 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 290} = 0,91;$$

б.) стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук),  $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{доп}} = \frac{38000 \cdot 6 \cdot 1,0}{8 \cdot 40000} = 0,71;$$

в.) тривалість зосередження уваги (% від часу зміни),  $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{доп}} = \frac{76 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 75} = 0,89;$$

г.) тривалість робочого дня (зміни),  $K_{знач} = 0,15$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{доп}} = \frac{8 \cdot 8 \cdot 0,15}{8 \cdot 8} = 0,15;$$

Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика б, таблиці 2:

- для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта  $X_{визн} = 2$ , з таблиці 7.2 [23] – 3 клас, 2 ступінь (3.2);

- при оцінці освітленості робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до  $P_{вим} = 320$  лк, за додатком Г та табл. Г.1 [23] – 3 клас, 1 ступінь (3.1);

- для гігієнічної оцінки рівня шуму, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до виміряного значення рівня шуму  $P_{вим} = 86$  дБА, за додатком Д та табл. Д.1 [23] – 3 клас, 1 ступінь (3.1);

- клас і ступінь важкості та напруженості праці визначаємо як суму розрахованих балів усіх показників  $X_{визн}$  за формулою 7.3 [23]:

$$X_{сум} = \sum_{i=1}^n X_i = 0,91 + 0,71 + 0,89 + 0,15 = 2,66$$

З таблиці 7.3 [23] за значенням суми розрахованих балів показників  $X_{сум} = 2,66$  – 3 клас, 2 ступінь (3.2).

Оскільки загальна гігієнічна оцінка умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, з урахуванням комбінованої та сумісної дії виробничих факторів, встановлюється за найбільш високим класом та ступенем шкідливості окремих факторів і показників, тому в результаті досліджень, відповідно до розрахунків, встановлено, що умови праці на робочому місці дослідника лабораторії обладнаної ПК належать до 3 класу, 2 ступеню.

Тому що при гігієнічній оцінці виявлена наявність шкідливих та особливо шкідливих, важких та особливо важких умов праці, проводимо дослідження фактичного стану умов праці, з метою визначення розмірів доплат за ступені шкідливості факторів виробничого середовища та показників важкості та напруженості праці за бальною шкалою, та вносимо їх значення до стовпчика 7, таблиці 4.2:

- для оцінки впливу мікроклімату, виходимо з того що він відповідає 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час його дії уже врахований, тому –  $X_{cm} = X_i = 3$ ;

- при оцінці впливу освітленості, виходимо з того що вона відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 8 годин, тому коректування не потрібно –  $X_{cm} = X_i = 1$ ;

- для оцінки впливу шуму, виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 5 годин, тому значення  $X_i$  визначаємо за формулою 7.4 [23]:

$$X_i = X_{cm} \cdot \frac{T}{8} = 1 \cdot \frac{5}{8} = 0,63$$

- для оцінки впливу важкості та напруженості праці, виходимо з того що вони відповідають 3 класу, 2 ступеню умов праці, а час їх дії уже врахований, тому –  $X_{cm} = X_i = 2$ ;

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень  $X_i$ , за формулою 7.5 [23]:

$$X_{факт} = \sum_{i=1}^n X_i = 3 + 1 + 0,63 + 2 = 6,63$$

Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану –  $X_{факт} = 6,63$ , на підставі Типового положення «Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці», з таблиці 7.4 [23]. Розмір доплати до тарифної ставки (окладу) – 16 %.

На підставі результатів загальної гігієнічної оцінки умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, а також дослідження фактичного стану умов праці робимо висновки та пропозиції:

а) умови, важкості та напруженості праці на робочому місці дослідника лабораторії, згідно результатів досліджень, належать до 3 класу, 3 ступеню (особливо важкі та особливо шкідливі умови праці), що не відповідає вимогам «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» до даного робочого місця;

б) відповідно до класифікації умови, важкість та напруженість праці на робочому місці дослідника належать до категорії Іб, тому необхідно привести ці умови у відповідність до нормативних значень, які відповідають оптимальним параметрам для категорії Іб, а саме:

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища – ТНС-індексом – 20,2-22,8°C;

- освітленість приміщення для роботи з дисплеями й відеотерміналами відповідає розряду зорових робіт А-2, нормована загальна освітленість якого, на робочих столах –  $E = 400$  лк;

- рівень шуму в робочій зоні дослідника – 50 дБА;

- загальні енергозатрати організму, до 174 Вт;

- стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), до 20000;

- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни), до 50%;

- тривалість робочого дня, 6 або 7 год.

в) для приведення умов, важкості та напруженості праці до вищезазначених показників необхідно передбачити комплекс заходів які забезпечать нормалізацію умов праці:

1.3 метою забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні лабораторії обладнаному ПК з ВДТ (ЕП), згідно вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», передбачена система централізованого водяного опалення з радіаторами, а на теплий період, зважаючи на те, що площа приміщення становить  $25 \text{ м}^2$  передбачений побутовий кондиціонер типу Electrolux EACS-24 HLO/N3. Виходячи з того, що один кондиціонер розрахований на приміщення площею –  $30 \text{ м}^2$ .

З метою забезпечення необхідного повітрообміну у приміщенні лабораторії обладнаному ПК з ВДТ (ЕП), зважаючи на те, що об'єм приміщення становить  $85 \text{ м}^3$ , передбачена система механічної припливно-витяжної вентиляції – методом рекуперації, за допомогою двох рекуператорів типу Prana-200G. Які забезпечують 3-кратний обмін повітря за годину, виходячи з того, що один рекуператор забезпечує наступний повітрообмін: приплив –  $135 \text{ м}^3/\text{год}$ , витяг –  $125 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Оптимальні рівні позитивних ( $n+$ ) і негативних ( $n-$ ) іонів у повітрі приміщення лабораторії з ВДТ (ЕП) відповідають вимогам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» і становить:  $n+ = 1500-30000$  (шт. на  $1 \text{ см}^3$ );  $n-$

= 3000-5000 (шт. на  $1 \text{ см}^3$ ). Підтримку оптимального рівня легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях забезпечують за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

2. Для забезпечення нормованої освітленості приміщення яка відповідає розряду зорових робіт необхідно провести додаткові розрахунки та визначитися з потужністю ламп, типом ламп та світильників та їх раціональним розміщенням.

3. Для зниження рівня шуму в робочий зоні дослідника необхідно замість матричних принтерів застосувати лазерні; з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом.

4. Для зменшення загальних енергозатрат організму, необхідно скоротити тривалість робочого дня до 6 або 7 год.

5. Для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин, кожні 1-2 години.

6. Для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви.

г) якщо, з об'єктивних причин, вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці, відповідно до таблиці 7.4 [23], у розмірі 16 %.