

**Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»**

Факультет інформаційних технологій  
(факультет)

Кафедра системного аналізу та управління  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
кваліфікаційної роботи ступеня «бакалавр»**

студентки Савченко Руслана Сергіївна  
(ПІБ)

академічної групи 124- 20 ск-1  
(шифр)

спеціальності 124 – Системний аналіз  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Системний аналіз»  
(офіційна назва)

на тему «Аналіз діяльності та розвиток компанія"R3" в умовах циклічної  
економіки ринку втор сировини України»  
(наказ 350-с від 16.05.2023)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка		Підпис
		рейтингова	інституційна	
проекту	Доц. Малієнко А.В.			
розділів:				
Інформаційно-теоретичний розділ	Доц. Малієнко А.В.			
Спеціальний розділ	Доц. Малієнко А.В.			
Рецензент	Доц.			
Нормоконтроль	Доц. Хом'як Т.В.			

Дніпро  
2023

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри

Системного аналізу та управління

(повна назва)

доц. Т.А. Желдак

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу

ступеня бакалавра

(бакалавра, магістра)

студентці Савченко Р.С. академічної групи 124-20ск-1Спеціальності 124 - Системний аналізза освітньо-професійною програмою Системний аналізна тему «Аналіз діяльності та розвиток компанія "R3" в умовах циклічної економіки ринку втор сировини України», затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 16.05.2023 р. № \_\_\_350-с\_\_\_

Розділ	Зміст завдання	Термін виконання
<i>Інформаційно-теоретичний розділ</i>	<i>Розглянути класифікацію підприємства за сучасними методами аналізу, визначити актуальні задачі, розглянути бази розвитку підприємства. Обрати методи розв'язання обраної задачі.</i>	20.02.2023
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>Провести структурний аналіз та аналіз діяльності підприємства, визначити напрямок та метод вирішення задачі.</i>	10.05.2023

Завдання видано \_\_\_\_\_

(підпис керівника)

Малієнко А.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 03.01.2023Дата подання до екзаменаційної комісії 20.06.2022

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

(підпис студента)

Савченко Р.С.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи складається з: 74 сторінки, 9 малюнків, 14 таблиць, 5 додатків, 15 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: ЗАТ «Компанія «R3»».

Предмет дослідження: є функціонування підприємства, теоретичні, методичні та практичні питання, які пов'язані з компанією «R3», процес збору та утилізації ПЕТ-пакування.

Мета : підвищення ефективності процесу збору та транспортування ПЕТ пляшок та мінімізація витрат, пов'язаних з цим процесом за допомогою сучасних методів математичного розрахунку.

Метод дослідження: метод аналізу ієрархій, мурашиний алгоритм.

*В інформаційно - аналітичному розділі представлений опис підприємства, його структура, а також розглянуті основні задачі, що вирішує ЗАТ "Компанія «R3»". Також описані такі теми, як вплив компанії на навколишнє середовище, переробка ПЕТ-пакування, процес переробки, економічні вигоди та виконана постановка задачі.*

*У спеціальному розділі наведено перелік, аналіз та описані алгоритми та існуючі методи рішення відповідно до поставлених задач, а також наведені теоретичні відомості про використані методи. Наведено існуючі методи вирішення задач вибору раціонального типу автомату для збору ПЕТ-пакування та складання оптимального маршруту збору ПЕТ-пакування з автоматів. Був проведений аналіз сучасних методів і моделей транспортного обслуговування логістичних систем, а також знайдений оптимальний план перевезень зібраної вторсировини.*

*Практична цінність* отриманих у роботі результатів полягає у визначенні та оптимізації шляху транспортування вторсировини транспортними засобами відділу логістики підприємства, кваліфікаційна робота може бути використана як методологічний аспект для підприємств логістичного напрямку або відділу логістики для сучасного підприємства.

*Робота є актуальною*, оскільки пов'язано з сучасними питаннями покращення екологічного становища міст та підвищити ефективність роботи підприємства в умовах ринкових відносин.

**Ключові слова:** ПЕТ, МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ, МАТРИЦІ ПАРНИХ ПОРІВНЯНЬ.

## ABSTRACT

The explanatory note to the qualification work consists of: 74 pages, 9 figures, 14 tables, 5 appendices, 15 literary sources.

Object of research: CJSC "Company "R3"".

The subject of the research: there is the functioning of the enterprise, theoretical, methodological and practical issues related to the company "R3", the process of collecting and disposing of PET packaging.

Goal: increasing the efficiency of the process of collecting and transporting PET bottles and minimizing the costs associated with this process using modern methods of mathematical calculation.

Research method: method of analysis of hierarchies, ant algorithm.

*In the informational and analytical section*, a description of the enterprise, its structure, as well as the main tasks solved by CJSC "Company "R3"" are considered. Topics such as the company's environmental impact, recycling of PET packaging, the recycling process, economic benefits and the completed task statement are also described.

*In a special section*, there is a list, analysis and description of algorithms and existing solution methods in accordance with the set tasks, as well as theoretical information about the used methods. The existing methods of solving the problems of choosing a rational type of machine for collecting PET packaging and drawing up an optimal route for collecting PET packaging from machines are presented. An analysis of modern methods and models of transport service of logistics systems was carried out, and an optimal plan for the transportation of collected recyclables was also found.

*The practical value* of the results obtained in the work lies in the determination and optimization of the route of transportation of recyclable materials by the means of transport of the logistics department of the enterprise, the qualification work can be used as a methodological aspect for enterprises in the field of logistics line or logistics department for a modern enterprise.

*The work is relevant* because it helps to improve the environmental situation in the city and increase the efficiency of the enterprise.

**Keywords:** PET, METHOD OF ANALYSIS OF HIERARCHIES, MATRICES OF PAIRED COMPARISONS.

## ЗМІСТ

ВСТУП		6
1	91.1	91.2
	<b>Ошибка! Закладка не определена.1.3</b>	131.4
	15пакування в умовах підприємства «R3»	14
	1.4.1 Процес переробки ПЕТ-пакування	15
	1.4.2 Актуальність вторинної переробки ПЕТ-пакування з точки зору екології	18
	1.4.3 Економічні вигоди переробки ПЕТ-пакування	20
	1.4.4 Характеристика методів збору ПЕТ – пакування	22
1.5		242
	242 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	25
	2.1 Огляд методів вибору транспортного засобу	25
	2.1.1 Обґрунтування вибору методу розв’язання	32
	2.2 Розв’язання задачі вибору транспортного засобу для перевезення ПЕТ – пакування	34
	2.2.1 Вибір критеріїв	34
	2.2.2 Побудова ієрархії	36
	2.2.3 Розрахунок матриць парних порівнянь	36
	2.3 Методи складання оптимального маршруту	42
	2.3.1 Обґрунтування вибору методу розв’язання	52
	2.4 Рішення задачі	53
	2.4.1 Розрахунок тижневої інтенсивності утворення ПЕТ відходів.	53
	2.4.2 Розрахунок щоденного навантаження на обслуговуючий транспорт.	54
	2.4.3 Знаходження оптимального маршруту транспортування ПЕТ відходів	55
	2.5 Аналіз результатів	59
	ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	61
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63
	Додаток А	65
	Додаток Б	66
	Додаток В	67
	Додаток Г	68
	Додаток Г	72

## ВСТУП

Сучасний світ продовжує забруднювати навколишнє середовище побутовими та твердими відходами. До таких відходів належать: ПЕТ-пляшки, кришки та алюмінієві банки. Для покращення ситуації та вирішення цієї проблеми більшість провідних країн світу створюють системи утилізації таких відходів, сортують та відокремлюють відходи по певних критеріях. До прикладу у Польщі сміття сортується за такими категоріями :

- папір;
- скло;
- метал і штучні матеріали;
- біо відходи;
- змішані відходи.

Для переробки відходів існують різноманітні заводи, машини, що після отримання сміття перетворюють його у менш габаритні відходи, або ж дають їм друге життя. Тобто, відходи такі як пляшки переробляються у новий пластик та виготовляється нова пляшка. Таким чином, створюється майже безвідходне виробництво, за допомогою переробки сміття.

Утилізація відходів ПЕТ-пакування є однією з головних проблем у всьому світі. Сьогодні відходи полімерів складають понад 10-15% побутового сміття або до 20 кілограм на рік на людину. Світове виробництво ПЕТ вже перевищило 10 млн. тонн на рік. Враховуючи, що щорічний приріст виробництва та використання пластику в останнє десятиліття досягає 10-12%, то надалі ситуація буде тільки посилюватися.

За своїми властивостями предмети з пластику настільки добрі, що увійшли буквально в усі сфери нашого життя, вони стали незамінними і необхідними в нашому повсякденному житті.

Однак поряд з видатними якостями у полімерів, як, власне, й інших синтетичних матеріалів, є один суттєвий недолік: вони, виконавши своє функціональне призначення, не знищуються під впливом природних чинників. Поховання ПЕТ - відходів неможливо. Вони можуть зберігатися в землі

мільйони років, при цьому в ґрунті поступово накопичуються токсичні речовини, які перетворюють її на безплідну пустелю.

Найбільш перспективним способом утилізації ПЕТ - відходів, на сьогоднішній день, є його вторинна переробка. Така переробка пропонує оригінальну технологію отримання цінного вторинного продукту, який є на сьогодні в Україні дефіцитною імпортною сировиною.

Компанія «R3», усвідомлюючи свою відповідальність перед суспільством, власноруч займається переробкою ПЕТ-пакування з 2020 року.

Першим кроком стало впровадження автоматів для збору та переробки ПЕТ-пакування. Польський вендинговий автомат SMART - це сучасний пристрій для збору, ущільнення та розділення одноразової упаковки від напоїв. Він дозволяє збирати три види сировини: ПЕТ-пляшки, кришки та алюмінієві банки в три окремі контейнери. Відновлення чистої відокремленої сировини є основою для реалізації моделі циркулярної економіки (CE). Resomat має визначену базу даних кодів EAN для напоїв в ПЕТ та в алюмінієвій упаковці, відповідно до яких проводиться ідентифікація та реєстрація упаковки.

Зараз система компанії «R3» підтримує припущення циклічної економіки та готова до співпраці з інтегрованим модулем BDO(база даних про продукти, упаковку та поводження з відходами). У майбутньому можливий перехід на систему депозит-повернення, а створені звіти про зібрану тару допоможуть у впровадженні директиви про розширену відповідальність виробника.

З цією метою компанією організовується збір ПЕТ - пляшок, кришок та алюмінієвих банок в місті Київ, де встановлено спеціальні контейнери для збору виключно цих відходів.

Транспортне обслуговування чинить значний вплив на ефективність процесу поводження з ПЕТ і на витратну частину бюджету.

Головною задачею, перед керівництвом компанії, стоїть процес оптимізації транспортування та збору ПЕТ- пакування.

В роботі поставлені і вирішуються наступні задачі:

- вибір раціонального типу транспортного засобу для перевезення ПЕТ,
- складання оптимального маршруту збору ПЕТ.

Таким чином, даний проект не тільки допомагає вирішити проблему утилізації ПЕТ-відходів на території міста, а й пропонує оптимальний план вивезення ПЕТ, що в свою чергу допомагає мінімізувати витрати, пов'язані з цим процесом, на переробному підприємстві компанія “R3”.



# 1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Загальні відомості про підприємство

Компанія «R3»— це польська компанія, заснована для реалізації головної місії компанії, яка полягає в розбудові системи Smart RVM, підтримки процесу переробки упаковки напоїв, мотивації до її повернення та формування про екологічної свідомості суспільства (рис. 1.1.).



Рис. 1.1 - Логотип компанії “R3”

Компанія виробляє автомати для повернення алюмінієвих банок і ПЕТ-упаковки - Smart Reverse Vending Machine (RVM).

Smart RVM - це еко інноваційна система стимулювання повернення упаковки з ПЕТ-пляшок та алюмінієвих банок, основним вузлом якої є автомат.

Через відновлення чистої і відсортованої сировини, система допомагає реалізувати циклічну економіку.

У 2020 року конструкторські роботи та виготовлення прототипу нової моделі машини Smart RVM були завершені.

Компанія зосередилася на захисті навколишнього середовища, створюючи продукти, які покращують якість нашого життя та майбутніх поколінь.

Системи компанії «R3»по поверненню пляшок і банок Smart RVM є хорошими технологіями, економічними та екологічними інструментами для більш ефективного управління відходами.

Компанія постійно шукає нові рішення, які можуть вплинути на наше майбутнє.

Переробники компанії є чудовою пропозицією для роздрібних мереж, компаній, шкіл, міст і муніципалітетів, зацікавлених в екологічних інноваціях.

Бачення та місія компанії “Міста майбутнього 21 століття - це екосистеми, які ми хочемо формувати та підтримувати, впроваджуючи еко інноваційні та економічно виправдані системи Smart RVM.



Рис. 1.2. Бачення та місія компанії “R3”

У партнерських стосунках компанія «R3» декларує принцип надійності, порядності і прозорості. Для клієнтів і партнерів компанія «R3» намагається бути експертом у своїй галузі. Компанія зацікавлена в довгій і стабільній спільній роботі з існуючими партнерами і створенні нових контактів.

Запорукою такої співпраці є постачання товарів і послуг найвищої якості. Течія і розвиток стосунків забезпечується на основі взаємної вигоди і поваги.

Розробляючи проекти на національному і міжнародному рівнях, компанія набула досвіду конструктивної співпраці з різними фінансовими організаціями, компаніями які займаються виробничою діяльністю, збутовою і діяльністю у сфері послуг.

### *Продукція компанії*

Використовуючи досягнення сучасної методології контролю і обліку якості продукції, компанія «R3» високо тримає планку рівня якості своєї продукції.

Компанія «R3» виробляє наступні види продукції :

- Smart RVM/I - цей автомат адаптований для роботи в внутрішніх умовах;
- Smart RVM/O - цей автомат адаптований для роботи в зовнішніх умовах.

Система Smart RVM – це ефект синергії всіх елементів

Мережа автоматів - це основа для впровадження моделі економіки кругового циклу (CE) шляхом відновлення чистої, відокремленої сировини.

Система управління та звітності - відповідає за контроль стану машин і забезпечення безперебійності роботи системи. База даних прийнятої упаковки (відповідно до кодів EAN) дозволяє формувати звіти відповідно до положень директиви про розширену відповідальність виробника (ROP).

Система мотивації - заохочує споживачів використовувати автомати повернення в обмін на узгоджені вигоди.

Мультимедійний модуль - завдяки вбудованому світлодіодному екрану та динамікам він дозволяє доставляти цифровий контент, такий як повідомлення, рекламні та освітні матеріали та рекламні ролики, одержувачам у сучасний та динамічний спосіб.

Система Smart RVM є ідеальним рішенням для міст і муніципалітетів, портів і причалів, роздрібних мереж, виробників води та напоїв і організацій, зацікавлених в екологічних інноваціях.

## 1.2 Організаційна структура підприємства

Компанія «R3» має розгалужену структуру, в яку входить одне дочірнє і п'ять підприємств з корпоративними правами.

Чисельність працюючих на підприємствах компанії - понад 6 тис.чол.

Організаційна структура підприємства - це сукупність взаємозв'язаних підрозділів підприємства, що забезпечують його розвиток і реалізацію його цілей.

Організаційна структура компанії «R3» в Києві складається з чотирьох основних підрозділів, в яких працюють в цілому 334 людини. Нижче вона представлена у вигляді схеми (рис.1.3).

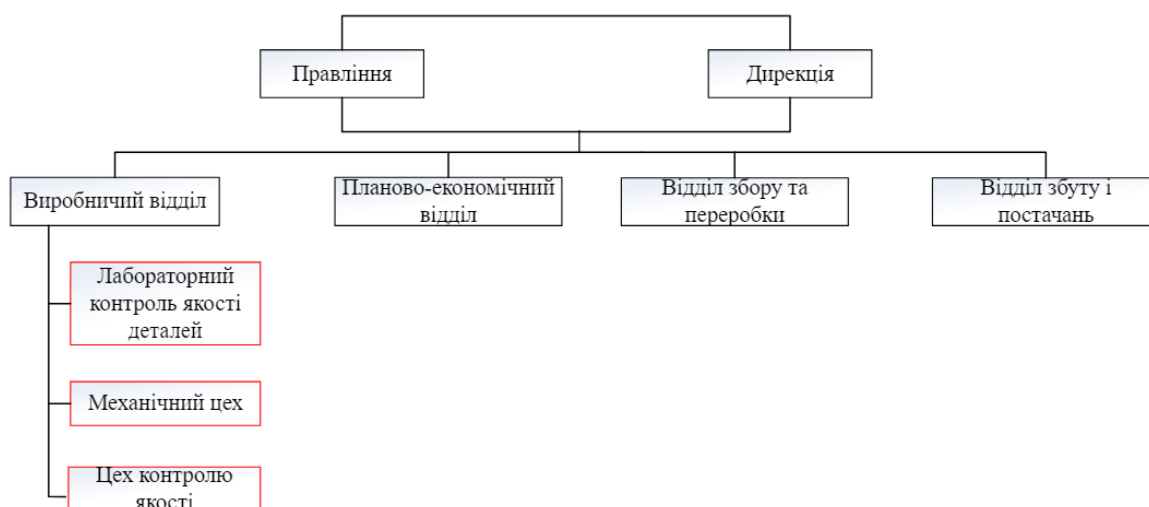


Рис. 1.3. Організаційна структура компанії «R3»

Структура компанії складається з:

1. Органу управління, який складається з правління, що здійснює контроль, стратегічне планування і управління, і дирекції, що займається оперативним управлінням компанією.

2. Планово-економічного відділу, поєданого з бухгалтерією, який займається економічними розрахунками і плануванням, бухгалтерською діяльністю, а також несе відповідальність за проведення будь-яких проектів компанії.
3. Виробничого відділу, що виконує виробництво автоматів, її механічний збір і перевірку якості виготовленого апарату.
4. Відділ збору та переробки, що відповідає за збір та переробку ПЕТ-упакування.
5. Відділу збуту і постачань, що відповідає за збут виробленої продукції, і здійснення її постачань замовникам.

### 1.3 Вплив компанії на навколишнє середовище

Вплив компанії на навколишнє середовище постійно контролюється, документується й аналізується. Можливі вдосконалення реалізуються з використанням найбільш досконалих технологій, беручи до уваги екологічні аспекти.

Проявляючи увагу до захисту навколишнього середовища компанія «R3» виявляє турботу про утилізацію відходів, пов'язаних із власною продукцією.

Сьогодні, встановлене обладнання, дозволяє переробляти за 1 годину до 500 кг ПЕТ, а це більш ніж 15 тис. пляшок.

Компанія виробляє автомати для переробки алюмінієвих банок і ПЕТ-упаковки - Smart Reverse Vending Machine (RVM).

Компанія часто проводить різні заходи з демонстрації автоматів, розповідають про актуальність даної систему у сучасному світі та показують скільки пляшок поміщається у автомат за день. Один з таких заходів зображено на рисунках 1.4.

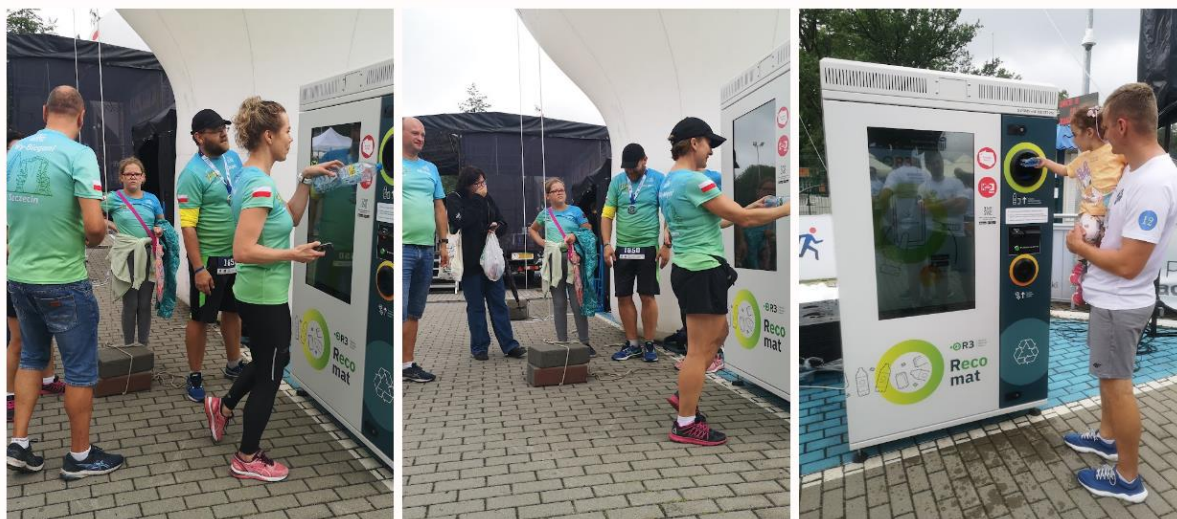


Рис. 1.4. Демонстрація автомату компанії на заході “43rd PKO Szczecin Half Marathon”

Як вже було згадано у попередньому пункті, компанія створює автомати для збору використаних алюмінієвих банок, пластмасових пляшок та кришок. Для розвитку даної сфери та збільшення популярності автоматів компанія створила додаток, за допомогою якого користувачі автоматів можуть отримувати бали за пляшки та кришки, а потім обмінювати їх на призи. У програмі діє система 1 пляшка=1 бал. Програмний продукт компанії зображено на рисунку 1.5.

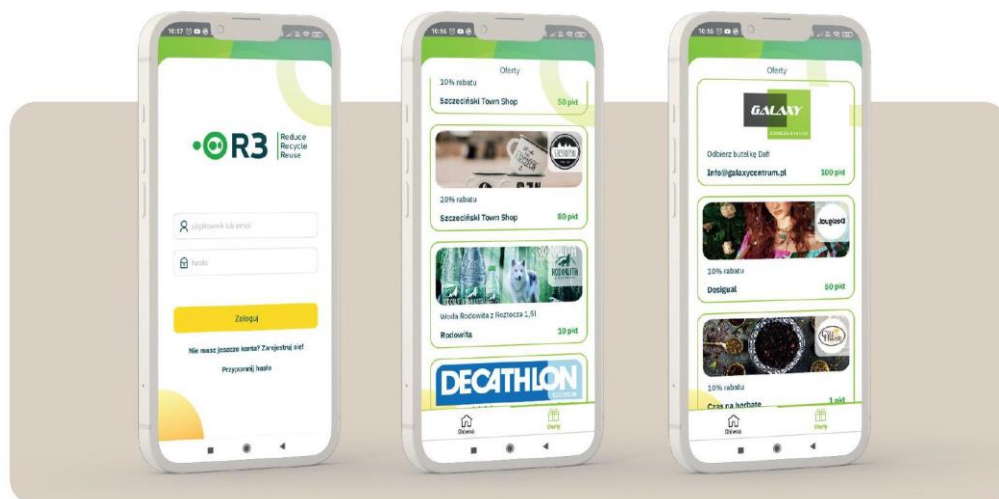


Рис. 1.5. Додаток підприємства

Ще однією перевагою для залучення клієнтів є яскравий та приємний інтерфейс автомату, який легкий у використанні. Приклад зовнішнього оформлення автомату зображено на рисунку 1.6.



Рис. 1.6. Зовнішній інтерфейс автомата

Такі автомати використовуються у багатьох містах Польщі, вони розташовуються біля супермаркетів, у торгових центрах та у інших закладах де часто використовуються пляшки.

#### 1.4 Переробка ПЕТ в умовах компанії «R3»

А Автомати для приймання пляшок досить популярні за кордоном, саме тому у підприємства «R3» є чимало конкурентів. До них відноситься компанія яка створила фандомат – автомат, що приймає пластикові пляшки та за отриману тару видає грошову винагороду або купони на продукти, які потім можна використати у магазинах міста. Така система була розроблена у Швеції. Приклад використання такої машини зображено на рисунку 1.7.



Рис. 1.7. Фандомат для переробки пляшок

Мінусом такого автомату є те, що він приймає пляшки разом з кришками, тобто, немає окремого отвору для утилізації кожної складової пляшки. Проте перевагою є грошова винагорода.

В автоматах компанії «R3» виглядає все по іншому він має отвори для утилізації ПЕТ-пляшок і кришок і вони є відокремлені один від одного.

#### 1.4.1 Процес переробки ПЕТ

ПЕТ - поліетилентерефталат - сировина для виробництва упаковок, пластикової тари для рідких продуктів. Поліетилентерефталат з'явився в 1978 році і швидко захопив майже 100% світового ринку пляшкової тари. ПЕТ - пляшки використовують для упаковки прохолодних напоїв, пива, рослинних олій, соків, води і інших рідин.

Компанія випускає два автомати перший Smart RVM/I - цей автомат адаптований для роботи в внутрішніх умовах та другий Smart RVM/O - цей автомат адаптований для роботи в зовнішніх умовах (рис. 1.8.).



1. Специфікація (модель SMART RVM/I) -цей автомат адаптований для роботи в внутрішніх умовах.

Автомат має 3 фракції для відходів:

- пляшки для напоїв ПЕТ ємністю від 0,25 л. до 3,0 л.,
- банки для напоїв алюмінієві від 0,25 л. до 0,5 л.,
- пластикові кришки.

Місткість контейнерів для розділених відходів:

- для ПЕТ пляшок ємністю 400 л.,
- для банок місткістю 145 л.,
- для пластикових кришок 14 л.;

Автомат оснащений:

- дробарка (одночасно робить отвори в упаковці) зменшує об'єм ПЕТ пляшок та алюмінієвих банок,
- висувні кошики на напрямних з піддоном для крапель,
- сканер штрих-коду та QR-коду,
- система контролю ваги та ідентифікації відходів за кодами EAN,
- сміттєзбірник із заслінкою та ручкою закриття,
- LED екран з діагоналлю 43 ", роздільною здатністю: 1920x1080 і яскравістю 1500 кд / м<sup>2</sup>,
- 4 мм загартоване скло, стійке до механічних пошкоджень, безпечне для користувача,
- динаміки для голосових повідомлень,
- система знезараження відходів за допомогою УФ-С світла,
- система вентиляції,
- система моніторингу,
- джерело живлення напругою 230 В (підключення через стандартну вилку),
- гарантія 24 місяці.

2. Специфікація (модель Smart RVM/O) - цей автомат адаптований для роботи в зовнішніх умовах.

Автомат має 3 фракції для відходів:

- ПЕТ пляшки для напоїв ємністю від 0,25 л. до 3,0 л.,
- алюмінієві банки для напоїв від 0,25 л. до 0,5 л.,
- пластикові кришки.

Місткість контейнерів для розділених відходів:

- для ПЕТ пляшок ємністю 400 л.,
- для банок місткістю 145 л.,
- для пластикових ковпачків 14 л.;

Автомат оснащений:

- дробарка (одночасно робить отвори в упаковці) зменшує об'єм ПЕТ пляшок та алюмінієвих банок,
- висувні кошики на напрямних з піддоном для крапель,
- сканер штрих-коду та QR,
- система контролю ваги та ідентифікації відходів за кодами EAN,
- сміттєзбірник із заслінкою та ручкою закриття,
- LED екран з діагоналлю 43 ", роздільною здатністю: 1920x1080 і яскравістю 1500 кд / м<sup>2</sup>,
- 4 мм загартоване скло, стійке до механічних пошкоджень, безпечне для користувача,
- динаміки для голосових повідомлень,
- система знезараження відходів за допомогою УФ-С світла,
- система вентиляції,
- система моніторингу,
- джерело живлення напругою 230 В (підключення через стандартну вилку),
- модуль зовнішнього керування (нагрівач),
- гарантія 24 місяці.



Рис. 1.8. Вигляд автоматів компанії “R3”

#### 1.4.2 Актуальність вторинної переробки ПЕТ з точки зору екології

У 2017 році Рада Міністрів ухвалила Національну стратегію поводження з відходами до 2030 року, розроблену Міністерством екології та природних ресурсів України спільно з міжнародними експертами. Він має боротися із забрудненням та знизити економічну залежність від природних ресурсів. На жаль, за статистикою, сьогодні лише 6% відходів переробляється. Національна стратегія передбачає, що до 2030 року переробка сміття буде становити 70 відсотків.

Станом на сьогодні пластикові відходи становлять понад 10% всіх відходів життєдіяльності людини, у тому числі трохи більше 80% підлягають подальшій переробки.

На жаль, реалії України такі, що понад 90% вторинного пластику ніколи не переробляється і потрапляє на звалища або спалюється, завдаючи непоправної шкоди навколишньому середовищу. Із загальної кількості вторинного пластику 45% складають використані ПЕТ-пляшки, з яких лише 3% переробляються у Європі.

Переробка пластику в Україні — єдиний спосіб захистити довкілля, адже час розкладання ПЕТ-пляшки становить щонайменше 400 років.

Сама переробка вторинного ПЕТ-пластика є досить трудомістким і технологічно складним процесом, що включає кілька стадій (стадій):

- Прямий збір пластику.
- Сортування за видами залежно від вимог до сировини перед обробкою, т.к. якісний матеріал можна виготовити тільки із сировини, що не містить різних домішок.
- Підготовка відібраної та розсортованої сировини проходить процедуру очищення від різних домішок та подальшу сушіння;
- Завершальним етапом перед безпосередньою переробкою є підготовка вже розсортованої пластикової сировини: все залежить від того, яким буде готовий продукт переробки (як правило, він має бути подрібнений у дрібну фракцію та розплавлений до консистенції, необхідної для обробки на устаткуванні промисловість).

Переробка пластику в Україні у місті Харків, працює завод із переробки ПЕТ пластику “Greenstep”, який має більш ніж 10-річний досвід роботи у цій сфері. Завод оснащений сучасним обладнанням, що забезпечує переробку вторинного ПЕТ-упакування обсягом понад 500 т/міс.

З переробленої вторинної сировини завод виробляє багато важливих і популярних продуктів у виробництві одягу, постільної білизни, меблів і т.д. До таких продуктів належать:

- поліефіри,
- синтепон,
- мікропух,
- холлофайбер,
- синтепух,
- вторинні ПЕТ-гранули.

### 1.4.3 Економічні вигоди переробки ПЕТ

За десятиліття, що минули з моменту виникнення індустрії пластмас, людство виробило близько 9 мільярдів тон цього матеріалу.

З них 9% було перероблено, а 12% спалено. Решта досі лежить на поверхні планети і плаває в морях і океанах. Але це сировина, яка може бути частково повернута у виробництво, має вартість і може приносити прибуток інвесторам.

Загалом у світі переробляється 20% пластику, в Європейському Союзі – 42%, а в Україні – лише 12,5%.

У 2019 році Рада ЄС прийняла Директиву, яка вводить низку обмежень і заборон на використання певних пластикових виробів на території Європейського Союзу, зокрема пластикового кухонного посуду, ватних паличок, полістирольних стаканчиків тощо, починаючи з 2019 року. 2021 рік.

До 2029 року країни-члени ЄС повинні будуть збирати 90% пластикових пляшок для переробки, крім того, до 2025 року вони будуть вироблятися з використанням вторинної сировини на 25%, а до 2030 року – на 30%.

Проте все більше європейських країн вимагають від виробників упаковки використовувати до однієї третини перероблених полімерів у своїй продукції.

Зважаючи на це, варто очікувати, що незабаром ринок вторинної переробки пластмас в Європі почне динамічно розвиватися.

Більшість типів пластику можна переробити у вторинні гранули, які в майбутньому будуть використовуватися для виробництва широкого спектру продуктів.

Виробництво вторинних пелет не тільки вимагає менше грошей і часу, ніж виробництво пелет проїні, але й економить невідновлювані первинні викопні ресурси.

Ця нова економіка повторного використання пластику вже є пріоритетом для 20 урядів, 250 компаній і понад 200 некомерційних організацій, які

підтримали глобальну ініціативу Фонду Еллен Макартур у 2018 році. «Нова економіка пластмас».

Нещодавно було опубліковано другий звіт про досягнення цілей до 2025 року.

Дві цілі були найбільш успішними: додавання перероблених матеріалів до пластикової упаковки та поступове припинення найпроблемніших категорій пластикових виробів: ПС, ПВХ, одноразових пакетів і соломинок.

Незначний прогрес був досягнутий у збільшенні кількості переробки та повторного використання двох продуктів. Досягнення рушійної мети вимагає активної діяльності всіх учасників: як на рівні бізнесу, так і на рівні країн і міжнародних організацій.

Глобальні тенденції показують, що ринок переробки пластику зросте на 6,6% від валового доходу та 8,8% від обсягу протягом наступних 7-8 років. Це означає, що позитивні перспективи мають зокрема українські переробні підприємства.

Україна, окрім світових трендів, має свої умови для розвитку такого бізнесу. Наша країна шукає відповідні механізми поводження з побутовими відходами, зокрема впровадження розширеної відповідальності виробника.

Якщо ця ініціатива буде реалізована на практиці, виробники відповідатимуть за утилізацію виготовленої продукції після закінчення її життєвого циклу.

Також поступово зростає рівень вибіркового збору побутових відходів серед населення.

У свою чергу, на кінець 2019 року в Україні працювало менше чотирьох десятків переробних підприємств. На мою думку, середовище залишається неконкурентоспроможним.

Проекти, які спочатку переробляють усі термопластики в готову продукцію або проміжну сировину, таку як флекс, пелети, волокно, можуть отримати інвестиції від 2 мільйонів доларів.

По-друге, вони вже функціонують, коли отримують фінансування, тобто вони мають EBITDA щонайменше 2 мільйони доларів США та капітальні інвестиції у розмірі 2 мільйонів доларів США на рік.

#### 1.4.4 Характеристика методів збору ПЕТ – тари

Компанія «R3» займається збором та переробкою ПЕТ-пляшок, алюмінієвих банок і кришок.

Невелике місто, в межах 100 000 населення, щомісячно викидає близько 20 тонн пластикових ПЕТ-пляшок . З кожним роком, об'єм відходів з ПЕТ пластикової пляшки росте на 20%. І коли б не вторинна переробка - країну чекала б екологічна катастрофа. Після кожного міського свята вивозиться на звалище тони пластмасових ПЕТ пляшок.

У розвинених країнах світу механізм збору і сортування побутових відходів налагодженим процесом на протязі десятиліть. У Європі вторинна переробка ПЕТ - пляшок поставлена на державну основу. Результат: в Англії на сьогодні переробляється 70 відсотків ПЕТ - пляшок, в Німеччині - 80 - 85 відсотків, в Швеції - 90 - 95.

Переробні підприємства, які зацікавлені в отриманні готових пресованих в брикети пластикових пляшок, вимушені з досить великою натугою знаходити постачальників втор сировини. В результаті, часто не в змозі завантажити виробництво по переробці пластикової пляшки на повну потужність.

На сьогодні найбільш відомі наступні методи збору ПЕТ - тари:

##### 1. Депозитна схема збору.

Автомати для збору тари широко поширені на заході. Там же їх і роблять. Але у вітчизняній дійсності стати оператором мережі автоматів, що приймають вторсировину і побудувати на цьому рентабельний бізнес не так просто. Автомати, що приймають пластикові пляшки і алюмінієві банки за гроші, називаються автоматами. Розумний" приймальний контейнер визначає вагу і об'єм тари, а сканер здатний розпізнавати 30 тисяч штрих-кодів і дозволяє точно

ідентифікувати об'єкт. На жаль, бізнес цей не дуже привабливий для інвесторів. Первинні інвестиції на придбання автоматів можуть окупитися при сприятливому результаті тільки через 5-6 років. І це без урахування витрат на амортизацію, логістику, адміністративних і технічних витрат.

## 2. Збір ПЕТ - пляшки в місцях збору сміття, на звалищах.

На жаль, існуючі механізми для збору і переробці пластикових ПЕТ-пляшок в місцях збору сміття і на міських звалищах далекі від досконалості. Ручна праця для збору і обробки пластикової пляшки має низький заробіток, і нерентабельна - занадто дорого виходить, а зібрана тара виходить дуже забрудненою, що вимагає додаткового очищення.

## 3. Роздільний збір в контейнерах.

Зважаючи, що в загальному об'ємі відходів значну частину ( до 30 -40 %) складають ПЕТ пляшки, доцільно їх збирати окремо. У ситуації, що склалася, необхідно звернутися до досвіду розвинених країн, де давно вже практикується сортування побутових відходів безпосередньо мешканцями. Для цієї мети в містах встановлюються спеціальні контейнери для збору виключно ПЕТ - тари. При цьому матеріального стимулювання практично не проводиться - громадяни цих країн проявляють високу свідомість, розуміючи важливість заходів по сортуванню побутових відходів для поліпшення екологічної ситуації в країні. Роздільний збір відходів ПЕТ забезпечує високу якість початкової сировини, оскільки призначені для переробки пластикові пляшки поступають вже без непотрібного забруднення.

## 1.5 Постановка задачі

Підприємство постійно знаходиться на стадії пошуку та впровадження сучасних технологій, займається питаннями технічного переозброєння і модернізації існуючої схеми збору ПЕТ з метою покращення економічних показників підприємства.



З метою зменшення перевантаження на навколишнє середовище компанія організувала збір ПЕТ пляшки в Україні.

Компанія «R3» має витрати на приготування автоматів, займається їхнім встановленням й забезпечує збір і сортування ПЕТ-пляшок, алюмінієвих банок та кришок. Зібрана сировина буде орієнтована на вторинну переробку на підприємство Компанія «R3» в місті Київ.

Транспортне обслуговування чинить значний вплив на ефективність процесу поводження з ПЕТ і на витратну частину бюджету. Саме тому вважається доцільним знаходження найбільш економного засобу для перевезення ПЕТ.

Головною задачею, перед керівництвом планово-економічного відділу, стоїть процес оптимізації транспортування та збору ПЕТ- пляшок.

Розіб'ємо процес оптимізації збору та транспортування ПЕТ пляшок на два етапи:

1. Вибір раціонального типу транспортного засобу. Задача полягає у впровадженні нового автомату для збору ПЕТ, який обирається серед п'яти основних видів автоматів цих цілей.

2. Складання оптимального збору ПЕТ. Полягає в знаходженні найкоротшого шляху для обходу пунктів збору ПЕТ.

## 2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Огляд методів вибору автоматів для переробки вторсировини

Задача прийняття рішень (ЗПР) - одна з найпоширеніших в будь-якій предметній галузі . Її рішення зводиться до вибору однієї або декількох кращих альтернатив з деякого набору. Для того, щоб зробити такий вибір, необхідно чітко визначити мету і критерії (показники якості), по яким проводитиметься оцінка деякого набору альтернативних варіантів. Вибір методу рішення такої задачі залежить від кількості і якості доступної інформації. Для вирішення даної задачі можуть бути застосовані різні методи. Розглянемо найбільш розповсюджені з них.

Вибір однієї з декількох альтернатив робить особа, що приймає рішення (ОПР). Такою особою можуть бути окремі люди або групи людей, що володіють правом вибору й несуть відповідальність за його наслідки.

#### *Метод аналізу ієрархій.*

Ієрархія є певним типом системи, заснованим на припущенні, що елементи системи можуть групуватися в окрему множину. Елементи кожної групи знаходяться під впливом елементів деякої цілком визначеної групи і, у свою чергу, впливають на елементи іншої групи, але елементи в кожній групі незалежні.

У найбільш елементарному вигляді ієрархія будується з вершини (цілей – з погляду управління), через проміжні рівні(критерії, від яких залежать наступні рівні) до найнижчого рівня (який зазвичай є переліком альтернатив).

Побудова ієрархії виходить з природної здібності людей думати логічно і творчо, визначати події і встановлювати відношення і спиратися, таким чином,

на принцип ідентичності і декомпозиції. На практиці не існує встановленої процедури генерування цілей, критеріїв і видів діяльності для включення в ієрархію.

У вершині ієрархії встановлюється єдиний елемент – фокус – формулювання досліджуваної проблеми.

В другий (не обов'язковий) рівень слід включати різні економічні, політичні і соціальні сили, що впливають на результат.

Третій рівень – актори, які реально впливають на ситуацію шляхом маніпулювання цими силами.

Четвертий рівень – переслідувані цілі кожного актора.

П'ятий рівень (не обов'язковий) включає політики акторів, за допомогою яких вони намагаються досягти своїх цілей.

Шостий рівень – альтернативні можливі сценарії або результати, за які береться кожен актор заради досягнення своїх цілей.

Сьомий рівень – узагальнений результат, як результат реалізації і взаємодії можливих альтернативних сценаріїв розвитку проблеми.

При побудові ієрархії слід пам'ятати, що основні цілі встановлюються на вершині ієрархії, їх під цілі безпосередньо нижче за вершину, сили, що обмежують акторів (дійових осіб) ще нижче. Сили домінують над рівнем самих акторів, які, в свою чергу, домінують над рівнем своїх цілей, нижче за яких буде рівень їх можливих дій, і в самому низі знаходиться рівень різних можливих результатів.

Найбільш поширеними типами ієрархій є домінантні ієрархії, що підрозділяються на два типи:

- ієрархія прямого процесу, що проектує існуючий стан проблеми на найбільш вірогідне або логічне майбутнє (умови «сьогоднішнього» дня передбачають те, що буде «завтра»)

- ієрархія зворотного процесу, що визначає політики управління для досягнення бажаного майбутнього.

У МАІ елементи задачі порівнюються попарно по відношенню до їх дії («вазі» або «інтенсивності») спільну для них характеристику. Отримані парні порівняння складають масив чисел, який оформляється у вигляді матриці. Порівнюючи набір складових проблеми один з одним, отримуємо квадратну

матрицю. Це зворотно симетрична матриця, тобто 
$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

Хай  $A_1, A_2, \dots, A_n$  – множина  $n$  елементів і  $w_1, w_2, \dots, w_n$  – відповідно їх пріоритети, або інтенсивності. За допомогою МАІ порівнюється пріоритет, або інтенсивність, кожного елементу з пріоритетом, або інтенсивністю, будь-якого іншого елементу множини по відношенню до спільної для них властивості або мети. Порівняння пріоритетів можна подати у вигляді матриці. Матриця може складатися лише з одного рядка або одного стовпця, які називаються векторами.

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Оскільки,  $w_1, w_2, \dots, w_n$  наперед невідомі, то попарні порівняння елементів проводять з використанням суб'єктивних думок, що чисельно оцінюються за шкалою.

$$\begin{array}{cccccc} & A_1 & A_2 & A_3 & \dots & A_n \\ A_1 & \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ A_2 & \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ A_3 & \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_n & \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{array}$$

Коли проблема подана ієрархічно, матриця складається для порівняння відносної важливості критеріїв на другому рівні по відношенню до загальної на першому рівні.

Для здобуття результатів, відповідних дійсності в МАІ рекомендується перевіряти узгодженість заповнюваних матриць.

Під узгодженістю матриці розуміється її чисельна узгодженість і транзитивність. Досконалу узгодженість важко досягти при вимірюванні навіть найбільш точними інструментами на практиці, тому потрібний спосіб оцінки погодженості. Якщо при обчисленні відхилень від узгодженості вони перевищуватимуть допустимі межі, то судження потрібно перевірити ще раз.

Обчислення індексу узгодженості (ІС).

- 1) Підсумовується кожен стовпець суджень.
- 2) Сума першого стовпця множиться на величину першої компоненти нормалізованого вектору пріоритетів, сума другого стовпця на другу компоненту і так далі.
- 3) Отримані числа підсумовуються. Їх сума позначається  $\lambda_{\max}$ .
- 4)  $IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ , де  $n$  – число порівнюваних елементів.
- 5) Відношення узгодженості  $OC = IC / n_{\text{вип}}$ , де  $n_{\text{вип}}$  - число випадкової узгодженості.

Випадкові узгодженості для матриць різного порядку вибираються з таблиці 2.1. Величина ОС має бути порядку 10% або менш, аби бути прийнятною. В деяких випадках допускається ОС до 20%, але не більш, інакше треба перевірити судження.

Таблиця 2.1

### Випадкові узгодженості для матриць різного порядку

Порядок матриці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Випадкова узгодженість	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

### Обчислення локальних пріоритетів

По заповнених матрицях парних порівнянь критеріїв при подальшій математичному обробці формуються вектори пріоритетів, що виражають відносну силу, величину, бажаність, "цінність" кожного окремого об'єкту.

Вектор пріоритетів - нормалізований - головний власний вектор матриці. Такі вектори необхідно обчислити для кожної матриці, причому обчислення можна проводити різними способами:

1. Підсумовувати елементи кожного рядка і нормалізувати діленням кожної суми на суму всіх елементів; сума отриманих результатів дорівнюватиме одиниці. Перший елемент результуючого вектора буде пріоритетом першою об'єкту, другий - другого об'єкту і так далі

2. Підсумовувати елементи кожного стовпця і отримати зворотні величини цих сум. Нормалізувати їх так, щоб їх сума дорівнювала одиниці, розділити кожен зворотну величину на суму всіх зворотних величин.

3. Розділити елементи кожного стовпця на суму елементів цього стовпця (тобто нормалізувати стовпець), потім скласти елементи кожного отриманого рядка і розділити цю суму на число елементів рядка.

4. Помножити  $n$  елементів кожного рядка і витягувати корінь  $n$ -ого степеню. Нормалізувати отримані числа.

5. Підносити матрицю до довільно великих ступенів. Обчислювати суми елементів рядків і нормалізувати отримані суми.

Найбільш точним є останній спосіб. Проте без відповідної комп'ютерної підтримки він представляє певну трудність. На практиці використовують переважно четвертий спосіб.

Розглянемо його.

Хай дана матриця  $A(n,n)$ .

1. Компонента власного вектора  $i$ -го рядка обчислюється за формулою

$$b_i = \sqrt[n]{a_{i1} \times a_{i2} \times a_{i3} \times \dots \times a_{in}} \quad (2.1)$$

2. Після того, як отримані компоненти власного вектора для всіх

$n$  рядків  $(b_1, b_2, \dots, b_n)$  проводиться його нормалізація. Для цього обчислюється сума компонент власного вектора  $\sum_{i=1}^n b_i$ . Потім кожен елемент  $b_i$  ділиться на знайдену суму. Таким чином, отримуємо нормалізований власний вектор.

$$\bar{X} = \left( \frac{b_1}{\sum b_i}, \frac{b_2}{\sum b_i}, \dots, \frac{b_n}{\sum b_i} \right) = \overline{(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)} \quad (2.2)$$

### Синтез пріоритетів

Пріоритети синтезуються, починаючи з другого рівня вниз. Локальні пріоритети перемножуються на пріоритет відповідного критерію на вищестоящому рівні і підсумовуються по кожному елементу відповідно до критеріїв, на які впливає цей елемент. (Кожний елемент другого рівня умножається на одиницю, тобто на вагу єдиної цілі самого верхнього рівня.) Це дає складений, або глобальний пріоритет того елемента, який потім використовується для зважування локальних пріоритетів елементів, що порівнюються по відношенню до нього як до критерію і розташовані рівнем нижче. Процедура продовжується до самого нижнього рівня.

Якщо отримані пріоритети  $k$ -го рівня, то пріоритети для елементів  $(k+1)$  рівня обчислюються за формулою:

$$x_j^{k+1} = \sum_{i=1}^n x_i^k b_{ij} \quad (2.3)$$

де  $x_j^{k+1}$  - глобальний пріоритет  $j$ -го критерію на  $(k+1)$  рівні,  $x_i^k$  - глобальний пріоритет  $i$ -го критерію на  $k$  рівні,  $b_{ij}$  - локальний пріоритет  $j$ -го критерію на  $(k+1)$  рівні за  $i$ -м критерієм  $k$ -го рівня.

Коли обчислені всі пріоритети для елементів нижнього рівня (тобто для альтернатив) особа, що приймає рішення обирає альтернативу, базуючись на отриманих результатах.

Прийняття рішень при нечіткому відношенні переваги на множині альтернатив

При дослідженні реальної ситуації або процесу з метою прийняття раціонального рішення природно почати з виявлення множини всіх припустимих розв'язків або альтернатив.

Залежно від інформації, яку ми маємо, цю множину вдається описати з тією чи іншою мірою чіткості. Нехай, наприклад,  $X$  - деяка універсальна множина альтернатив і  $\mu_i(x)$  нечіткий опис її підмножини припустимих альтернатив. Значення функції  $\mu_i$  описують міри припустимості відповідних альтернатив у поданій задачі.

Одним із способів визначення відношення переваги на заданій множині при побудові математичної моделі реальної ситуації або процесу є консультації з експертами.

Припустимо, що за допомогою ОПР або експертів визначене чітке відношення нестрогої переваги  $R$  на множині припустимих альтернатив  $X$ .

Це означає, що відносно будь-якої пари  $(x, y) \subset X \cdot X$ , відомо:

- 1) «  $x$  не гірше  $y$  », тобто  $x \leq y (x, y) \in R$  ;
- 2) «  $y$  не гірше  $x$  », тобто  $x \geq y (x, y) \in R$  ;
- 3) «  $x$  та  $y$  не порівнянні між собою ».

У загальній задачі, коли на множині альтернатив задано  $m$  нечітких відношень переваги  $R_j$ ,  $j=1, \dots, m$  і задано коефіцієнти  $\lambda_j$  відносної ваги цих відношень, можна діяти таким же чином.

1. Будуємо нечітке відношення  $Q_1$  (переріз вихідних відношень)

$$\mu_{Q_1}(x, y) = \min\{\mu_1(x, y), \dots, \mu_m(x, y)\} \quad (2.4)$$

та визначаємо нечітку підмножину недомінуємих альтернатив в множині



$$(2.5) \quad (x, \mu_{Q_1})$$

$$(2.6) \quad \mu_{Q_1}^{\text{н.д.}}(x) = 1 - \sup_{y \in X} [\mu_{\theta_1}(x, y) - \mu_{\theta_2}(x, y)]$$

2. Будується нечітке відношення  $Q_2$  (згортка відношень типу (5.8))

$$(2.7) \quad \mu_{Q_2}(x, y) = \sum_{j=1}^m \lambda_j \mu_j(x, y)$$

і визначаємо нечітку підмножину недомінуємих альтернатив у множині

$$(2.8) \quad (x, \mu_{Q_2})$$

$$(2.9) \quad \mu_{Q_2}^{\text{н.д.}}(x) = 1 - \sup_{y \in X} [\mu_{Q_2}(y, x) - \mu_{Q_2}(y, x)]$$

3. Знаходимо переріз множин  $\mu_{Q_1}^{\text{н.д.}}$  та  $\mu_{Q_2}^{\text{н.д.}}$

$$(2.10) \quad \mu_{Q_1}^{\text{н.д.}}(x) = \min\{\mu_{Q_1}^{\text{н.д.}}(x), \mu_{Q_2}^{\text{н.д.}}(x)\}$$

4. Раціональним вважаємо вибори альтернатив із множини

$$(2.11) \quad X^{\text{н.д.}} = \left\{ x \in X, \mu^{\text{н.д.}}(x) = \sup_{x' \in X} \mu^{\text{н.д.}}(x') \right\}$$

Тут слід зауважити, що залежно від типу задачі, раціональними можна вважати не тільки альтернативи з множини  $X^{\text{н.д.}}$ , але в тому чи іншому сенсі й слабко домінують альтернативи (або не дуже сильно домінують альтернативи), тобто альтернативи, які належать до множини  $\mu^{\text{н.д.}}$  зі ступенем не нижчим деякого поданого.

### 2.1.1 Обґрунтування вибору методу розв'язання задачі

Для розв'язання обраної задачі обираємо метод аналізу ієрархій, керуючись наступними його перевагами над іншими методами:

1. В рамках методу аналізу ієрархій немає загальних правил для формування структури моделі ухвалення рішення. Це є віддзеркаленням реальної ситуації ухвалення рішення, оскільки завжди для однієї і тієї ж проблеми є цілий спектр думок. Метод дозволяє врахувати цю обставину за допомогою побудови додаткової моделі для узгодження різних думок, за допомогою визначення їх пріоритетів. Таким чином, метод дозволяє враховувати "людський чинник" при підготовці ухвалення рішення. Це одне з важливих достоїнств цього методу перед іншими методами прийняття рішень.

2. У формування структури моделі ухвалення рішення в методі аналізу ієрархій досить трудомісткий процес. Проте у результаті вдається отримати детальне уявлення про те, як саме взаємодіють чинники, що впливають на пріоритети альтернативних рішень, і самі рішення. Як саме формуються рейтинги можливих рішень і рейтинги, що відбивають важливість чинників. Процедури розрахунків рейтингів в методі аналізу ієрархій досить прості, що вигідно відрізняє цей метод від інших методів ухвалення рішень.

3. Збір даних для підтримки ухвалення рішення здійснюється головним чином за допомогою процедури парних порівнянь. Результати парних порівнянь можуть бути суперечливими. (Метод надає великі можливості для виявлення протиріч в даних.) При цьому виникає необхідність перегляду даних для мінімізації протиріч. Процедура парних порівнянь і процес перегляду результатів порівнянь для мінімізації протиріч часто є трудомісткими. Проте у результаті особа, що приймає рішення, придбаває упевненість, що дані, що використовуються, є цілком осмисленими.

4. Робота з підготовки ухвалення рішень часто є занадто трудомісткою для однієї людини. Модель, складена за допомогою методу аналізу ієрархій, завжди має кластерну структуру. Застосування методу

дозволяє розбити велике завдання, на ряд малих самостійних завдань. Завдяки цьому для підготовки ухвалення рішення можна притягнути експертів, працюючих незалежно один від одного над локальними завданнями.

5. Метод відбиває природний хід людського мислення і дає загальний підхід, ніж інші методи. Він дає не лише спосіб виявлення найбільш прийняттого рішення, але і дозволяє кількісно виразити міру переваги за допомогою рейтингу. Це сприяє повному і адекватному виявленню переваг особи, що приймає рішення. Крім того, оцінка міри суперечності використаних даних дозволяє встановити міру довіри до отриманого результату.

## 2.2 Розв'язання задачі вибору автоматів для збору та переробки вторсировини

До вибору представлені наступні автомати для переробки вторсировини:

Автомат №1- Smart RVM/I ;

Автомат №2- Smart RVM/O ;

Автомат №3- Ecobox ;

Автомат №4- Envipco CF 1500 ;

Автомат №5- Taromatas "Lidl Lietuva".

Кожен з цих автоматів має свої вихідні значення(табл.2.2).

Таблиця 2.2

### Вихідні значення

	Ціна (грн.)	Коефіцієнт ущільненн я сміття	Витрата електроенергії кВт/міс	Місткість автомату для збору (м <sup>3</sup> )	Термін гарантії (год)	Сервіс і запчастини (від 0 до 10)
Автомат №1	347058	2	37	0,599	50 000	9
Автомат №2	636189	5	28	0,599	50 000	7

Автомат №3	455579	2.5	40	0,3	150 000	7
Автомат №4	505531	3	35	5,5	100 000	8
Автомат №5	559887	4.5	30	8	200 000	5

### 2.2.1 Вибір критеріїв

Для того щоб скористатися методом аналізу ієрархій для вирішення даної задачі, необхідно в першу чергу чітко визначити критерії, які необхідно враховувати. Критерії обирають експерти компанія «R3», роблячи висновки з власного досвіду та знань.

Існують такі основні критерії для вибору автомату:

1. Ціна;
2. Максимальна швидкість автомату ;
3. Якість ;
4. Популярність автомату на ринку ;
5. Коефіцієнт ущільнення сміття ;
6. Витрата електроенергії ;
7. Місткість автомату ;
8. Екологічний клас;
9. Термін гарантії;
10. Стан автомату ;
11. Сервіс і запчастини.

Керівництво підприємства вважає, що критерії 2, 3, 4, 8, 10 не є рішучими при виборі автомату, тому що:

- Всі наведені автомати володіють приблизно однаковою максимальною швидкістю;
- Розглянуті автомати практично не поступаються один одному за якістю;

- Критерій «Популярність автомату на ринку» керівництво підприємства вважає не важливим;
- Кожен з цих автоматів належить до класу електрозбереження A++;
- Компанія не хоче ризикувати при покупці автомату сумнівної якості, а також вживаного автомату. Справа в тому, що вимоги до надійності в даному сегменті бізнесу досить високі, оскільки автомати, що не вийшов на лінію, - вже НП, яке може привести компанію до збитку. Саме тому компанія «R3» розглядає тільки нові автомати.

З цього виходить, що розв'язання задачі вибору автомату для переробки вторсировини ми будемо робити на підставі критеріїв 1, 5, 6, 7, 9, 11.

### 2.2.2 Побудова ієрархії

Беручи до уваги всі дані критерії, ієрархія буде мати наступний вигляд (Рис.2.1.)

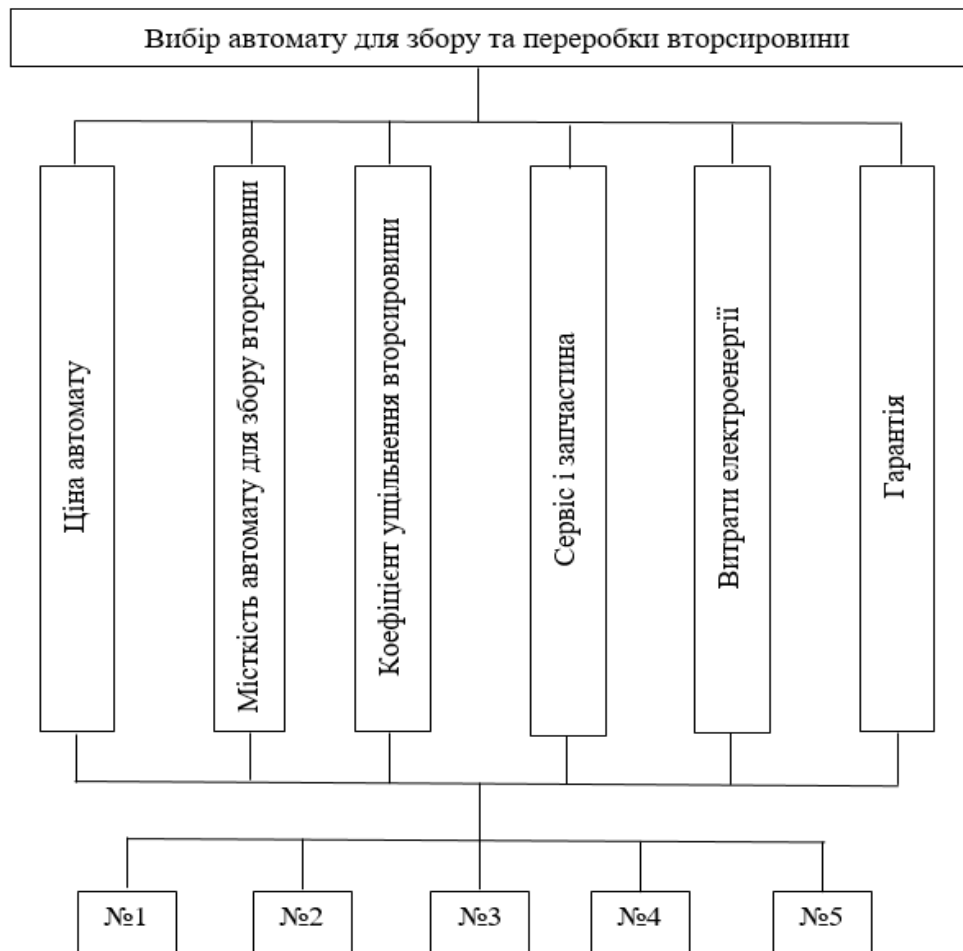


Рис. 2.1. Будова ієрархії

### 2.2.3 Розрахунок матриць парних порівнянь

Матриця парних порівнянь заповнюється виходячи з досвіду і думок експертів та його керівництва.

Оскільки матриця парних порівнянь повинна бути сумісною, ми маємо наступні правила:

- 1) всі елементи матриці  $A$  повинні бути не від'ємними;
- 2) матриця  $A$  зворотно симетрична;
- 3) число  $n$  є максимальним власним значенням матриці  $A$ .

Беручи до уваги перші дві властивості, діагональні елементи матриці парних порівнянь дорівнюють одиниці.

Експерт заповнив матриці парних порівнянь, порівнюючи вагу першого об'єкту з вагою другого об'єкту, та вказує критерії важливості, що показують наскільки вага першого об'єкту більша за вагу другого, в результаті чого вказується число  $a_{ij}$  і т.д.. Всі інші елементи знаходимо за властивістю 2. Всі критерії важливості виставляємо керуючись шкалою порівнянь (табл. 2.3). Матриця парних порівнянь матиме наступний вигляд(табл. 2.4).

Таблиця 2.3

### Шкала порівнянь

Значення	Відносна важливість
1	рівна важливість
3	помірна перевага одного над іншим
5	істотна перевага одного над іншим
7	значна перевага одного над іншим
9	дуже сильна перевага одного над іншим
2, 4, 6, 8	відповідні проміжні значення

Таблиця 2.4

### Матриця парних порівнянь

	Ціна автомат у	Місткість автомату для збору вторсировини	Коефіцієнт ущільнення вторсировини	Сервіс і запчастини	Витрата електроенергії	Гарантія
Ціна автомату	1,00	2,00	5,00	6,00	0,33	2,00
Місткість автомату для збору вторсировини	0,50	1,00	2,00	4,00	0,17	5,00
Коефіцієнт ущільнення	0,20	0,50	1,00	3,00	0,14	4,00

вторсирови ни						
Сервіс і запчастини	0,17	0,25	0,33	1,00	0,20	3,00
Витрата електроене ргії	3,00	6,00	7,00	5,00	1,00	9,00
Гарантія	0,50	0,20	0,25	0,33	0,11	1,00

З вигляду заповнення матриці виходить, що експерт при вирішенні проблеми віддає перевагу критеріям: витрати палива, ціна сміттєвозу та місткість і менше уваги приділяє таким критеріям, як коефіцієнт ущільнення сміття, сервіс і запчастини, гарантія на автомат. Після цього для даної матриці за описаної вище методикою розраховуються локальні пріоритети і перевіряється її узгодженість.

1. Компонента власного вектора  $i$ -го рядка обчислюється за формулою

$$b_i = \sqrt[n]{a_{i1} \times a_{i2} \times a_{i3} \times \dots \times a_{in}}. \text{ Для даної матриці маємо:}$$

$$b_1 = \sqrt[6]{a_{11} \times a_{12} \times a_{13} \times a_{14} \times a_{15} \times a_{16}} = \sqrt[6]{1 \times 2 \times 5 \times 6 \times 0,33 \times 2} = 1,85$$

$$b_2 = \sqrt[6]{a_{21} \times a_{22} \times a_{23} \times a_{24} \times a_{25} \times a_{26}} = \sqrt[6]{0,5 \times 1 \times 2 \times 4 \times 0,17 \times 5} = 1,22$$

$$b_3 = \sqrt[6]{a_{31} \times a_{32} \times a_{33} \times a_{34} \times a_{35} \times a_{36}} = \sqrt[6]{0,2 \times 0,5 \times 1 \times 3 \times 0,14 \times 4} = 0,74$$

$$b_4 = \sqrt[6]{a_{41} \times a_{42} \times a_{43} \times a_{44} \times a_{45} \times a_{46}} = \sqrt[6]{0,17 \times 0,25 \times 0,33 \times 1 \times 0,2 \times 3} = 0,45$$

$$b_5 = \sqrt[6]{a_{51} \times a_{52} \times a_{53} \times a_{54} \times a_{55} \times a_{56}} = \sqrt[6]{3 \times 6 \times 7 \times 5 \times 1 \times 9} = 4,22$$

$$b_6 = \sqrt[6]{a_{61} \times a_{62} \times a_{63} \times a_{64} \times a_{65} \times a_{66}} = \sqrt[6]{0,5 \times 0,2 \times 0,25 \times 0,33 \times 0,11 \times 1} = 0,31$$

2. Після того, як отримані компоненти власного вектора для всіх рядків

$(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6)$  проводиться його нормалізація.

Для цього обчислюється сума компонент власного вектора

$$\sum_{i=1}^6 b_i = 1,85 + 1,22 + 0,74 + 0,45 + 4,22 + 0,31 = 8,8$$

. Потім кожен елемент  $b_i$

ділиться на знайдену суму. Таким чином, отримуємо нормалізований



власний вектор  $\bar{X} = \left( \frac{1,85}{8,8}, \frac{1,22}{8,8}, \frac{0,74}{8,8}, \frac{0,45}{8,8}, \frac{4,22}{8,8}, \frac{0,31}{8,8} \right) = (0,21; 0,14; 0,08; 0,05; 0,48; 0,04;)$

Тобто елементи мають такі пріоритети(табл.2.5):

Таблиця 2.5

### Пріоритети другого рівня

	Пріоритет
Ціна автомату	0,21
Місткість автомату для збору вторсировини	0,14
Коефіцієнт ущільнення вторсировини	0,08
Сервіс і запчастини	0,05
Витрата електроенергії	0,48
Гарантія на автомат	0,04

Перевіримо узгодженість матриці.

Занесемо розрахунки у таблицю 2.6.

Таблиця 2.6

### Дані розрахунку матриці узгодженості

Критерії	Ціна автомату	Місткість автомату для збору вторсировини	Коефіцієнт ущільнення вторсировини	Сервіс і запчастини	Витрата електроенергії	Гарантія	Пріоритет $x_i$	$A_j * x_i$
Ціна автомату	1,00	2,00	5,00	6,00	0,33	2,00	0,21	1,13

Місткість автомату для збору вторсиров ини	0,50	1,00	2,00	4,00	0,17	5,00	0,14	1,38
Коефіцієнт ущільненн я вторсиров ини	0,20	0,50	1,00	3,00	0,14	4,00	0,08	1,32
Сервіс і запчастини	0,17	0,25	0,33	1,00	0,20	3,00	0,05	0,99
Витрата електроене ргії	3,00	6,00	7,00	5,00	1,00	9,00	0,48	0,94
Гарантія	0,50	0,20	0,25	0,33	0,11	1,00	0,04	0,85
$A_j = \sum_{i=1}^6 a_{i,j}$	5,37	9,95	15,58	19,33	1,95	24,00	1	6,61

Обчислимо  $IC = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$ , де  $n = 6$  - число порівнюваних елементів.

$IC = (6,61 - 6)/5 = 0,12$  Відношення узгодженості  $OC = IC/n_{\text{вип}}$ , де  $n_{\text{вип}}$  - число випадкової узгодженості. Для нашої матриці  $n_{\text{вип}} = 1,24$  (згідно таблиці).  $OC = 0,12/1,24 = 0,098$

Величина  $OC$  має бути порядку 10% або менш, аби бути прийнятною. В нашому випадку  $OC = 9,8\%$ . Тобто умови виконані, матриця добре узгоджена. У випадку коли матриця неузгоджена потрібно перевірити судження.

Потім за думками експертів складено матриці парних порівнянь для критеріїв другого рівня (Додаток Г.1- Г.6).

Для кожної з цих матриць необхідно обчислити вектор локальних пріоритетів, перевірити їх узгодженість.

Узгодженість матриць і обчислення локальних пріоритетів проводиться так само, як у попередньому випадку. Результати обчислень приведено (Додаток Г.7-Г.12).

Тепер необхідно обчислити глобальні пріоритети критеріїв другого рівня. Обчислення проводимо за формулою

$$x_j^{k+1} = \sum_{i=1}^n x_i^k b_{ij} \quad (2.12)$$

де  $x_j^{k+1}$  - глобальний пріоритет  $j$ -го критерію на  $(k+1)$  рівні,  $x_i^k$  - глобальний пріоритет  $i$ -го критерію на  $k$  рівні,  $b_{ij}$  - локальний пріоритет  $j$ -го критерію на  $(k+1)$  рівні за  $i$ -м критерієм  $k$ -го рівня.

Таким чином будуть отримані глобальні пріоритети альтернатив з точки зору вигоди впровадження в експлуатацію нового авто .

Приведемо результати обчислень в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

### Дані глобального пріоритету критеріїв

Критерії	Глобальні пріоритети критеріїв рівня $x_i^k$	Локальні пріоритети альтернатив за даним критерієм $b_{ij}$				
		Автомат №1	Автомат №2	Автомат №3	Автомат №4	Автомат №5
Ціна автомату	0,210099286	0,4878	0,0435	0,2310	0,1457	0,0920
Місткість автомату для збору вторсировини	0,138854844	0,0481	0,4483	0,0798	0,1264	0,2974
Коефіцієнт ущільнення вторсировини	0,084676282	0,0366	0,4626	0,0739	0,1120	0,3148
Сервіс і запчастини	0,051154562	0,5479	0,0090	0,0090	0,4338	0,0002
Витрата електроенергії	0,479746433	0,0798	0,4483	0,0481	0,1264	0,2974

Продовження табл. 2.7

1	2	3	4	5	6	7
Гарантія	0,035468592	0,0615	0,4174	0,1602	0,0975	0,2634
Глобальні пріоритети альтернатив $x_j^{k+1} = \sum_{i=1}^n x_i^k b_{ij}$	-	0,1807	0,3409	0,0951	0,1440	0,2393

Таким чином за вигодами впровадження нового авто наступні типи мають такі пріоритети:

Автомат №1 – 0,18;

Автомат №2 – 0,34;

Автомат №3 – 0,10;

Автомат №4 – 0,14;

Автомат №5 – 0,24.

Таким чином і з точки зору цього підходу впровадження та покупка автомату №2 – найбільш переважна з всіх альтернатив.

### 2.3 Методи складання оптимального маршруту збору вторсировини

*Задачу* складання оптимального маршруту можна представити у вигляді задачі комівояжера.

#### *Загальний опис задачі*

Задача комівояжера (надалі скорочено - ЗК) є одним зі знаменитих завдань теорії комбінаторики.

Постановка задачі наступна. Комівояжер (бродячий торговець) повинен вийти з першого міста, відвідати по раз у в невідомому порядку міста 2,1,3,n і повернутися в перше місто. Відстані між містами відомі. У якому порядку слід обходити міста, щоб замкнутий шлях (тур) комівояжера був найкоротшим?

Щоб привести завдання до наукового виду, введемо деякі терміни. Отже, міста пронумеровані числами  $j \in T = \{1, 2, 3, n\}$ . Тур комівояжера може бути описаний циклічною перестановкою  $t = (j_1, j_2, \dots, j_n, j_1)$ , причому усе  $j_1, j_n$  - різні номери; що повторюється на початку і у кінці  $j_1$ , показує, що перестановка зациклена. Відстані між парами вершин  $C_{ij}$  утворюють матрицю  $C$ . Завдання полягає в тому, щоб знайти такий тур  $t$ , щоб мінімізувати функціонал

$$L = L(t) = \sum_{k=1}^n C_{j_k j_{k+1}} \quad (2.13)$$

Відносно математизованого формулювання ЗК доречно зробити два зауваження.

По-перше, в постановці  $C_{ij}$  означали відстані, тому вони мають бути невід'ємними, тобто для усіх  $j \in T$ :

$$C_{ij} \geq 0; C_{jj} = \infty \quad (2.14)$$

(остання рівність означає заборону на петлі в турі), симетричними, тобто для усіх  $i, j$ :

$$C_{ij} = C_{ji}. \quad (2.15)$$

і задовольняти нерівності трикутника, тобто для всіх:

$$C_{ij} + C_{jk} \geq C_{ik} \quad (2.16)$$

У математичній постановці говориться про довільну матрицю. Зроблено це тому, що є багато прикладних завдань, які описуються основною моделлю, але усім умовам (2) -(4) не задовольняють. Особливо часто порушується умова (наприклад, якщо  $C_{ij}$  - не відстань, а плата за проїзд: часто туди квиток коштує одну ціну, а назад - іншу). Тому ми розрізнятимемо два варіанти ЗК: симетричне завдання, коли умова (3) виконана, і несиметричну - інакше. Умови (2) -(4) за умовчанням ми вважатимемо виконаними.

Друге зауваження торкається числа усіх можливих турів. У симетричній ЗК усі тури  $t=(j_1, j_2, \dots, j_n, j_1)$  і  $t'=(j_1, j_n, \dots, j_2, j_1)$  мають різну довжину і повинні враховуватися обоє. Різних турів очевидно  $(n - 1)!$ . Фіксуємо на першому і останньому місці в циклічній перестановці номер  $j_1$ , а  $n$ , що залишилися,  $- 1$  номерів переставимо усіма  $(n - 1)!$  можливими способами. В результаті отримаємо усі несиметричні тури. Симетричних турів є в два раз менше, оскільки кожен зарахований двічі: як  $t$  і як  $t'$ .

Можна уявити, що  $C$  складається тільки з одиниць і нулів. Тоді  $Z$  можна інтерпретувати, як граф, де ребро  $(i, j)$  проведене, якщо  $C_{ij}=0$  і не проведене, якщо  $C_{ij}=1$ . Тоді, якщо існує тур довжини  $0$ , то він пройде по циклу, який включає усі вершини по одному разу. Такий цикл називається Гамільтоновим циклом. Незамкнутий Гамільтонів цикл називається гамільтоновим ланцюгом (гамільтоновим шляхом). В термінах теорії графів симетричну ЗК можна сформулювати так:

Дана повна мережа з  $n$  вершинами, довжина ребра  $(i, j) = C_{ij}$ . Знайти Гамільтонів цикл мінімальної довжини.

У не симетричній ЗК замість "цикл" потрібно говорити "контур", а замість "ребра" - "дуги" або "стрілки".

Прості методи рішення задачі комівояжера : повний лексичний перебір, жадібні алгоритми (метод найближчого сусіда, метод включення найближчого міста, метод найдешевшого включення), метод мінімального основного дерева. На практиці застосовуються різні модифікації ефективніших методів : метод гілок і меж і метод генетичних алгоритмів, алгоритм мурашиної колонії і інші.

Усі ефективні (що скорочують повний перебір) методи рішення задачі комівояжера - методи евристичні. У більшості евристичних методів знаходиться не найефективніший маршрут, а наближене рішення. Частенько затребувані так звані any - time алгоритми, тобто що поступово покращують деяке поточне наближене рішення.

Розглянемо деякі з цих методів:

*Метод гілок і меж*

Метод гілок і меж - один з комбінаторних методів. Його суть полягає в впорядкованому переборі варіантів і розгляді лише тих з них, які виявляються за певними ознаками перспективними, і відкиданні безперспективних варіантів. Метод гілок і меж полягає в наступному: безліч допустимих рішень (планів) деяким способом розбивається на підмножини, кожне з яких цим же способом

знову розбивається на підмножини. Процес триває до тих пір, поки не отримано оптимальне цілочисельне рішення початкової задачі.

*Алгоритм рішення :*

Спочатку знаходимо симплексним методом або методом штучного базису оптимальний план завдання без урахування цілочисельності змінних. Нехай ним є план  $X_0$ . Якщо серед компонент цього плану немає дробових чисел, то тим самим знайдене шукане рішення цієї задачі і  $F_{\max} = F(X_0)$ . Якщо ж серед компонент плану  $X_0$  є дробові числа, то  $X_0$  не задовольняє умові цілочисельності і необхідно здійснити впорядкований перехід до нових планів, поки не буде знайдено рішення задачі.

Покажемо, як це можна зробити, заздалегідь відмітивши, що  $F(X_0) \leq F(X)$  для всякого наступного плану  $X$ .

Припускаючи, що знайдений оптимальний план  $X_0$  не задовольняє умови цілочисельності змінних, тим самим вважаємо, що серед його компонент є дробові числа. Нехай, наприклад, змінна  $x_{i_0}$  набула в плані  $X_0$  дробового значення. Тоді в оптимальному цілочисельному плані її значення буде принаймні або менше або рівно найближчому меншому цілому числу  $K_{i_0}$  або більше або рівно найближчому більшому цілому числу  $K_{i_0} + 1$ . Визначаючи ці числа, знаходимо симплексним методом рішення двох завдань лінійного програмування :

$$(I) \begin{cases} F = \sum_{j=1}^n C_j x_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad (i = \overline{1, m}), \\ x_{i_0} \leq K_{i_0}, \\ x_j \geq 0 \quad (j = \overline{1, n}), \end{cases}$$

(2.17)

$$(II) \begin{cases} F = \sum_{j=1}^n C_j x_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad (i = \overline{1, m}), \\ x_{i_0} \leq K_{i_0} + 1, \\ x_j \geq 0 \quad (j = \overline{1, n}), \end{cases} \quad (2.18)$$

Знайдемо рішення завдань лінійного програмування (I) і (II). Очевидно, що тут можливий один з наступних чотирьох випадків :

1. Одне із завдань нерозв'язне, а інша має цілочисельний оптимальний план. Тоді цей план і значення цільової функції на нім і дають рішення початкового завдання.

2. Одне із завдань нерозв'язне, а інша має оптимальний план, серед компонент якого є дробові числа. Тоді розглядаємо друге завдання і в її оптимальному плані вибираємо одну з компонент, значення якої рівне дробовому числу, і будуємо два завдання, аналогічні завданням (I) і (II).

3. Обидва завдання вирішувані. Одне із завдань має оптимальний цілочисельний план, а в оптимальному плані іншого завдання є дробові числа. Тоді обчислюємо значення цільової функції на цих планах і порівнюємо їх між собою. Якщо на цілочисельному оптимальному плані значення цільової функції більше або рівно її значенню на плані, серед компонент якого є дробові числа, то даний цілочисельний план є оптимальним для початкового завдання і він разом з значенням цільової функції на нім дає шукане рішення. Якщо ж значення цільової функції більше на плані, серед компонент якого є дробові числа, то слід взяти одне з таких чисел і для завдання, план якою розглядається, необхідно побудувати два завдання, аналогічні (I) і (II).

4. Обидва завдання вирішувані, і серед оптимальних планів обох завдань дробові числа. Тоді обчислюємо значення цільової функції на цих оптимальних планах і розглядаємо те із завдань, для якої значення цільової функції являється найбільшим. У оптимальному плані цього завдання вибираємо одну з компонент, значення якої є дробовим числом, і будуємо два завдання, аналогічні (I) і (II). Таким чином, описаний вище ітераційний процес може бути



представлений у виді деякого дерева, на якому початкова вершина відповідає оптимальному плану  $X_0$  завдання (1), -(3), а кожна сполучена з нею гілкою вершина відповідає оптимальним планом завдань (I) і (II). Кожна з цих вершин має свої галуження. При цьому на кожному кроці вибирається та вершина, для якої значення функції є найбільшим. Якщо на деякому кроці буде отриманий план, що має цілочисельні компоненти, і значення функції на нім виявиться більше або рівно, чим значення функції в інших можливих для галуження вершинах, то цей план є оптимальним планом початкового завдання цілочисельного програмування і значення цільової функції на нім є максимальним.

Отже, процес знаходження рішення задачі цілочисельного програмування (1)-(4) методом гілок і меж включає наступні основні етапи:

1. Знаходять рішення задачі лінійного програмування (1) -(3).
2. Складають додаткові обмеження для однієї з перемінних, значення якій в оптимальному плані завдання (1) -(3) є дробовим числом.
3. Знаходять рішення завдань (I) і (II), які виходять із завдання (1) -(3) в результаті приєднання додаткових обмежень.
4. У разі потреби складають додаткові обмеження для змінною, значення якої є дробовим, формулюють завдання, аналогічні завданням (I) і (II), і знаходять їх рішення. Ітераційний процес продовжують до тих пір, поки не буде знайдена вершина, що відповідає цілочисельному плану завдання (1) -(3) і така, що значення функції в цій вершині більше або дорівнює значенню функції в інших можливих для галуження вершинах.

### *Метод відпалу*

Екзотична назва цього алгоритму пов'язана з методами імітаційного моделювання в статистичній фізиці, заснованими на техніці Монте-Карло. Дослідження кристалічної решітки і поведінки атомів при повільному охолодженні тіла привело до появи на світ імовірнісних алгоритмів, які

виявилися надзвичайно ефективними в комбінаторній оптимізації. Алгоритм імітації відпалу відноситься до класу порогових алгоритмів локального пошуку. На кожному кроці цього алгоритму в околиці поточного рішення вибирається деяке рішення  $j$ , і якщо різниця по цільовій функції між новим і поточним рішенням не перевершує заданого порогу, то нове рішення  $j$  замінює поточне. Інакше вибирається нове сусіднє рішення. Загальна схема порогових алгоритмів може бути представлена таким чином. Нехай  $\{t\}$  – деяка послідовність позитивних чисел.

Нехай  $L$ , як і раніше, — множина всіх допустимих рішень.

#### *Пороговий алгоритм*

1. Вибрати початкове рішення  $i_0 \in L$  й покласти  $f^* = f(i_0)$ ,  $k = 0$ .
2. Поки не виконаний критерій зупинки виконувати наступне:
  - 2.1 У множині  $N(i_k)$  вибрати за деяким правилом  $\Psi$  рішення  $j$ .
  - 2.2. Якщо  $f(j) - f(i_k) < t^k$ , вважаємо  $i_{k+1} = j$ , інакше повертаємося на 2.1.
  - 2.3. Якщо  $f^* > f(i_k)$ , тоді  $f^* = f(i_k)$ .
  - 2.4. Вважаємо  $k = k+1$ .

#### *Мурашиний алгоритм*

Основною ідеєю цього алгоритму є моделювання поведінки мурашок, колективній адаптації. Колонія є системою з дуже простими правилами автономної поведінки особин. Проте, незважаючи на примітивність поведінки кожної окремої мурашки, поведінка усєї колонії виявляється досить розумною. Таким чином, основою поведінки мурашиної колонії служить низькорівнева взаємодія, завдяки якій, в цілому, колонія є розумною багато агентною системою. Взаємодія визначається через хімічну речовину - феромон, що відкладається мурашками на пройденому шляху. При виборі напрямку руху мурашка виходить не лише з бажання пройти найкоротший шлях, але і з досвіду інших мурашок, інформацію про яке отримуємо через рівень феромонів в ребрах. З часом відбувається процес випару феромонів, який є негативним зворотним зв'язком.

Для кожної мурашки перехід з міста  $i$  в місто  $j$  залежить від трьох складових: пам'яті мурашки (tabu list), видимості і віртуального сліду феромону:

1. Tabu list (пам'ять мурашки) - це список відвіданих мурашкою міст, заходити в які ще раз не можна. Використовуючи цей список, мурашка гарантовано не потрапить в одне і те ж місто двічі. Ясно, що tabu list зростає при здійсненні маршруту і обнуляється на початку кожної ітерації алгоритму. Позначимо через  $J_{i,k}$  список міст, які ще необхідно відвідати мурашці  $k$ , що знаходиться в місті  $i$ . Зрозуміло, що  $J_{i,k}$  є доповненням до tabu list.

2. Видимість - величина, зворотна відстані,  $\eta_{ij} = 1/D_{ij}$ , де  $D_{ij}$  - відстань між містами  $i$  та  $j$ . Видимість - це локальна статична інформація, що висловлює евристичне бажання відвідати місто  $j$  з міста  $i$ , - чим ближче місто, тим більше бажання відвідати його. Використання тільки видимості, звичайно, є недостатнім для знаходження оптимального маршруту.

3. Віртуальний слід феромону на ребрі  $(i, j)$  представляє підтвержене мурашиним досвідом бажання відвідати місто  $j$  з міста  $i$ . На відміну від видимості слід феромону є глобальною і динамічною інформацією - вона змінюється після кожної ітерації алгоритму, відбиваючи набутого мурашками досвіду. Кількість віртуального феромону на ребрі  $(i, j)$  на ітерації  $t$  позначимо через  $\tau_{ij}(t)$ .

Важливу роль в мурашиних алгоритмах грає ймовірнісне-пропорційне правило, що визначає вірогідність переходу  $k$ -ої мурашки з міста  $i$  в місто  $j$  на  $t$ -ої ітерації :

$$\begin{cases} P_{i,j,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}(t)]^\beta}, j \in J_{i,k} \\ P_{i,j,k}(t) = 0, j \notin J_{i,k} \end{cases}$$

(2.19)

де  $\alpha$  і  $\beta$  - два регульовані параметри, задаючи ваги сліду феромону і видимості при виборі маршруту. При  $\alpha=0$  буде вибрано найближче місто, що відповідає жадібному алгоритму в класичній теорії оптимізації. Якщо  $\beta=0$ , тоді працює лише феромонне посилення, що спричиняє за собою швидке звиродніння маршрутів до одного субоптимального рішення.

Звернемо увагу, що правило (1) визначає лише вірогідність вибору того або іншого міста. Власне вибір міста здійснюється за принципом "колеса рулетки" : кожне місто на ній має свій сектор з площею, пропорційній вірогідності (1). Для вибору міста треба кинути кульку на рулетку - згенерувати випадкове число, і визначити сектор, на якому ця кулька зупиниться.

Помітимо, що хоча правило (1) не змінюється впродовж ітерації, значення вірогідності  $P_{ij, k}(t)$  для двох мурашок в одному і тому ж місті можуть відрізнятись, оскільки  $P_{ij, k}(t)$  - функція від  $J_{i, k}$  - списку ще не відвіданих міст мурашкою  $k$ . Після завершення маршруту кожна мурашка  $k$  відкладає на ребрі  $(i, j)$  таку кількість феромону :

$$\Delta\tau_{ij, k}(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k(t)}, & (i, j) \in T_k(t), \\ 0, & (i, j) \notin T_k(t) \end{cases}$$

(2.20)

де  $T_k(t)$  - маршрут, пройдений мурашкою  $k$  на ітерації  $t$  ;  $L_k(t)$  - довжина цього маршруту;  $Q$  - регульований параметр, значення якого вибирають одного порядку з довжиною оптимального маршруту. Для дослідження усього простору рішень необхідно забезпечити випар феромону- зменшення в часі кількості відкладеного на попередніх ітераціях феромону. Позначимо коефіцієнт випару феромону через  $\rho \in [0, 1]$ . Тоді правило оновлення феромону набере вигляду:

$$\tau_{ij}(t + 1) = (1 - p) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij,k}(t) \quad (2.21)$$

де  $m$  - кількість мурашок в колонії,  $p$  - коефіцієнт випару ( $0 \leq p \leq 1$ ).

На початку оптимізації кількість феромону приймається рівною невеликому позитивному числу  $\tau_0$ . Загальна кількість мурашок в колонії залишається постійною упродовж виконання алгоритму. Численна колонія призводить до швидкого посилення субоптимальних маршрутів, а коли мурашок мало, виникає небезпека втрати кооперативної поведінки через обмежену взаємодію і швидкий випар феромону. Зазвичай кількість мурашок призначають рівною кількості міст - кожна мурашка починає маршрут зі свого міста.

Для поліпшення тимчасових характеристик мурашиного алгоритму вводять так званих елітних мурашок. Елітна мурашка посилює ребра найкращого маршруту, знайденого з початку роботи алгоритму. Кількість феромону, що відкладається на ребрах найкращого поточного маршруту,  $T^+$  приймається рівним,  $Q/L^+$  де  $L^+$  - довжина маршруту  $T^+$ . Цей феромон спонукає мурашок до дослідження рішень, що містять декілька ребер найкращого на даний момент маршруту  $T^+$ . Якщо в мурашнику є  $e$  елітних мурашок, то ребра маршруту  $T^+$  отримуватимуть загальне посилення.

$$\Delta\tau_e = e \cdot Q/L^+ \quad (2.22)$$

### *Мурашиний підхід до задачі комівояжера*

Розглянемо, як реалізувати чотири складові самоорганізації мурашок при оптимізації маршруту комівояжера. Багатократність взаємодії реалізується ітераційним пошуком маршруту комівояжера одночасно декількома мурашками. При цьому кожна мурашка розглядається як окремий, незалежний комівояжер, що вирішує свою задачу. За одну ітерацію алгоритму кожна мурашка здійснює повний маршрут комівояжера.

Позитивний зворотний зв'язок реалізується як імітація поведінки мурашок типу "залишення слідів-переміщення по слідах". Чим більше слідів залишено на стежці- ребрі графа в задачі комівояжера, тим більше мурашок пересуватиметься по ній. При цьому на стежці з'являються нові сліди, що притягують додаткових мурашок. Для задачі комівояжера позитивний зворотний зв'язок реалізується наступним стохастичним правилом: вірогідність включення ребра графа в маршрут мурашки пропорційна кількості феромону на ній.

Застосування такого імовірнісного правила забезпечує реалізацію і іншої складовій самоорганізації - випадковості. Кількість феромону, що відкладається мурашкою, на ребрі графа обернено пропорційна до довжини маршруту. Чим коротше маршрут, тим більше феромону буде відкладено на відповідних ребрах графа і тим більше мурашок використовуватиме їх при синтезі своїх маршрутів. Відкладений на ребрах феромон виступає як підсилювач, він дозволяє хорошим маршрутам зберігатися в глобальній пам'яті мурашника. Ці маршрути можуть бути поліпшені на наступних ітераціях алгоритму.

Використання тільки позитивного зворотного зв'язку призводить до передчасної збіжності рішень - до випадку, коли усі мурашки рухаються одним і тим же субоптимальним маршрутом. Для уникнення цього використовується негативний зворотний зв'язок - випар феромону.

Час випару не повинен бути занадто великим, оскільки при цьому виникає небезпека збіжності популяції маршрутів до одного субоптимального рішення. З іншого боку, час випару не повинно бути і занадто малим, оскільки це призводить до швидкого "забування", втраті пам'яті колонії і, отже, до некооперативної поведінки мурашок. У поведінці мурашок кооперативність є дуже важливою:

безліч ідентичних мурашок одночасно досліджують різні точки простору рішень і передають свій досвід через зміни елементів глобальної пам'яті мурашника.

### 2.3.1 Обґрунтування вибору методу розв'язання

Розглянемо основні переваги мурашиного алгоритму над іншими методами:

1. Мурашині алгоритми засновані на імітації самоорганізації соціальних комах за допомогою використання динамічних механізмів, за допомогою яких система досягає глобальної мети в результаті локальної низькорівневої взаємодії елементів.

2. Мурашині алгоритми знаходять хороші маршрути комівояжера значно швидше, ніж точні методи комбінаторної оптимізації. Ефективність мурашиних алгоритмів збільшується з ростом розмірності задачі оптимізації.

3. Важливою властивістю мурашиних алгоритмів є не конвергентність: навіть після великого числа ітерацій одночасно досліджується безліч варіантів рішення, внаслідок чого не відбувається тривалих тимчасових затримок в локальних екстремумах.

4. Задача комівояжера наочно інтерпретується в термінах поведінки мурашок - переміщення комівояжера і мурашок інтуїтивно порівнянні.

Виходячи з цих переваг обираємо мурашиний алгоритм для розв'язання обраної задачі.

## 2.4 Рішення задачі

### 2.4.1 Розрахунок тижневої інтенсивності утворення ПЕТ відходів.

Виходячи з початкових даних по м. Київ: населення 2,884 мільйона мешканців, площа 839,2 км<sup>2</sup>, розраховуємо щільність населення міста, яка складає 290,984 ч/км<sup>2</sup>. Далі, виходячи з таблиці 2.8, розраховуємо, що в середньому утворення ТПВ в добу складає 2,38 м<sup>3</sup>/добу. для заданої середньої

щільності. Звідси отримуємо, що на 1000 чоловік доводиться 1,41 м<sup>3</sup>/добу. Загалом, за добу в місті утворюється близько 131 м<sup>3</sup> відходів ТПВ.

Максимальний об'єм ПЕТ із загального об'єму ТПВ складає 20%. Отже, в добу утворюється 26,2 м<sup>3</sup> ПЕТ відходів, а в тиждень це число для м. Київ складає 183,4 м<sup>3</sup>.

Таблиця 2.8

### Інтенсивність утворення ТПВ

Тип ділянки території по інтенсивності утворення ТБО	Характер житлової забудови	Чисельність постійно проживаючого населення	Інтенсивність утворення ТПВ, м <sup>3</sup> /доба (км <sup>2</sup> )
1	Малоповерхова	до 50	до 0,35
2	Змішана, переважно малоповерхова	50...1000	0,35...1,35
3	Змішана, переважно багатоповерхова	1000...10 000	1,35...9,0
4	Багатоповерхова	Більш ніж 10 000	Більш ніж 9,0

#### 2.4.2 Розрахунок щоденного навантаження на обслуговуючий автомат.

Виходячи з розрахованих вище чинників і умов вивезення ПЕТ відходів, що припускають максимально зручне вивезення в умовах м. Київ, виходить, що найбільш зручним є п'ятиденний режим роботи (обслуговуючого) автомату на протязі першої половини дня.

Для цих цілей в 63 точках міста(Додаток Д, рис.Д.1) були розташовані по два контейнери об'ємом 1.5 м<sup>3</sup> для збору ПЕТ, згідно щільності населення і інтенсивності утворення ПЕТ по районах. Сумарний об'єм контейнерів складає 189 м<sup>3</sup>, з чого виходить, що при максимальному утворенні ПЕТ вивезення повинне здійснювати з періодичністю раз на тиждень. Таким чином, при заданому режимі роботи і при рівномірному розподілі тижневого навантаження максимальний об'єм ПЕТ, що перевозиться за один день, складає в середньому



37.8 м<sup>3</sup>. Але, оскільки кількість відвідуваних за один день точок збору ПЕТ число дискретне, то при рівномірному розподілі 63 точок збору по п'яти робочих днях виходить, що за два дні транспорт повинен побувати в 12 точках і за три дні в 13 точках. Максимальний розрахунковий об'єм збираного ПЕТ складає 36 м<sup>3</sup> і 39 м<sup>3</sup> відповідно.

Обраний обслуговуючий транспортний засіб має об'єм кузова 9 м<sup>3</sup> при максимальному коефіцієнті ущільнення для ПЕТ рівному 5. Максимальний можливий об'єм ПЕТ що перевозиться за один раз складає 45 м<sup>3</sup> і задовольняє розрахованому вище об'єму. Згідно з розрахунками необхідний коефіцієнт стискання на практиці не повинен перевищувати 4.33, а, отже, дозволяє використовувати транспорт в щадному режимі і гарантовано уникати перевантажень.

#### 2.4.3 Знаходження оптимального маршруту транспортування ПЕТ відходів

Таким чином, задача зводиться до складання оптимального маршруту вивезення ПЕТ для кожного з п'яти робочих днів з урахуванням розташованих по місту контейнерів. Головним критерієм оптимальності маршрутів обрано критерій сумарної відстані ,що долає транспортний засіб за усі п'ять робочих днів.

Згідно з особливостями географії міста, такими як наявність доріг, стан доріг, розставлення світлофорів та відстані між пунктами, був складений граф переїздів між точками (Додаток Д, рис.Д.2), де значення відстаней представлені в км.(Додаток Е, табл.Е.1), що спрощує рішення поставленої задачі.

У результаті отримуємо задачу оптимізації маршруту, яку можна звести до двох під задач:

- 1)оптимальне розбиття графа на підграфи;

2) пошук оптимального маршруту для кожного під графа, задача комівояжера для кожного під графа.

Оскільки не існує досить ефективного попереднього розбиття графа на підграфи для задачі комівояжера і з урахуванням загальної початкової/кінцевої точки для кожного з під графів в літературі пропонується зворотний метод рішення цієї задачі. Такий метод складається з наступних етапів:

1) пошук оптимального гамільтонового циклу для усього графа виключаючи з нього початкову/кінцеву точку (Компанія “R3”);

2) оптимальне розбиття отриманого гамільтонового циклу на відрізки, таким чином, щоб сумарна довжина відрізків, а так само сума відстаней від кінців відрізків до початкової/кінцевої точки були оптимальними.

Перша частина вирішується як звичайна задача комівояжера з використання мурашиного алгоритму.

Нижче приведений мурашиний алгоритм оптимізації маршрута комівояжера.

*Вводимо матрицю відстаней  $D$ ;*

*Ініціалізуємо параметри алгоритму  $\alpha$  (alpha),  $\beta$  (beta),  $Q$ ,  $\tau_0$  (tau0);*

*$m=n$  (Кількість мурашок дорівнює кількості міст)*

*Для кожного елементу матриці виконуються наступні умови:*

*якщо  $i \neq j$ , то*

*$\eta(i,j) = 1/D(i,j)$ ; ( Видимість)*

*$\tau(i,j) = \tau_0$ ; ( Феромон),*

*Інакше  $\tau(i,j) = 0$ ; ( Перехід з одного міста в те ж саме неможливий).*

*Після виконання умови виходимо з циклу.*

*Для кожної мурашки  $k = \underline{1, m}$  обираємо випадковим чином місто.*

*Потім вибираємо умовно - найкоротший маршрут  $T^+$  і розраховуємо його довжину  $L^+$ .*

*Для кожної мурашки  $k = \underline{1, m}$*

*Будуємо маршрут  $T_k(t)$  за правилом (1) і розраховуємо довжину  $L_k(t)$ .*

Якщо краще рішення знайдене, то оновлюємо  $T^+$  и  $L^+$ .

Далі для кожного ребра оновлюємо сліди феромону за правилом (2).

Виводимо найкоротший маршрут  $T^+$  і його довжину  $L^+$ .

Для вирішення задачі мурашиним алгоритмом як вхідні дані використовуємо матрицю суміжності графа. Початкові параметри алгоритму вибираються виходячи з середньої відстані між вершинами графа і рекомендованими в літературі попередніми налаштуваннями ( $\alpha=0,5$ ;  $\beta=0,5$ ;  $\tau_0=1$ ;  $\Theta=63$ ).

В результаті отримуємо оптимальний шлях у вигляді гамільтонового циклу з сумарною відстанню - 48.62 км (табл. 2.9). Ілюстрація знайденого гамільтонового циклу наведена (Додаток Д, рис. Д.3).

Таблиця 2.9

## Гамільтонів цикл

1	2	5	8	10	11	46	45	47	48
49	55	54	56	57	62	61	58	59	60
53	52	51	50	40	39	38	36	37	41
63	42	43	26	27	28	34	33	35	31
30	32	29	25	23	24	22	21	20	19
18	17	16	15	14	44	13	12	9	7
6	4	3							

Лістинг мурашиного алгоритму наведено(Додаток Ж)

Для вирішення другої частини можна використовувати найпростіший метод повного перебору. В якості вхідних даних використовується оптимальне

рішення знайдене в першій частині і таблиця відстаней з кожної точки збору ПЕТ до початкової/кінцевої точки (Додаток Е, табл.Е.2). У такому випадку, при розбитті на п'ять відрізків по 12, 12, 13, 13 і 13 точок, сумарна кількість ітерацій для алгоритму повного перебору дорівнюватиме 630, що цілком прийнятно для вирішення на сучасних ЕОМ. Головною перевагою методу повного перебору(Додаток Ж) є гарантоване знаходження найбільш оптимального рішення.

Потім вирішуючи другу частину знайшли сумарну відстань ,яку долає транспорт за робочий тиждень - 75.78 км. Отримуємо оптимальний тижневий маршрут (табл.2.10). Оптимальне розбиття отриманого гамільтонового циклу на відрізки наведено у Додатку Д, рис.Д.4.

Таблиця 2.10

### Оптимальний тижневий маршрут

Пункт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
День													
1	34	33	35	31	30	32	29	25	23	24	22	21	20
2	19	18	17	16	15	14	44	13	12	9	7	6	4
3	50	40	39	38	36	37	41	63	42	43	26	27	28
4	3	1	2	5	8	10	11	46	45	47	48	49	-
5	55	54	56	57	62	61	58	59	60	53	52	51	-

### 2.5 Аналіз результатів

У спеціальному розділі мною було вирішено два питання. Перше це вибір автоматів для переробки вторсировини для розв'язання цього питання мною був вибраний метод аналізу ієрархії і проведені розрахунки після яких я можу сказати, що з точки зору підходу впровадження та покупки автомату, автомат №2 – найбільш переважна з усіх альтернатив.

Друге питання полягало в знаходженні оптимального маршруту збору вторсировини для вирішення цього питання мною був вибраний метод мурашиних алгоритмів. Перше що я зробила це розрахувала тижневу інтенсивність утворення ПЕТ-відходів звідси маємо що максимальний об'єм ПЕТ-відходів із загального об'єму ТПВ складає 20%. Отже, в добу утворюється 26,2 м<sup>3</sup> ПЕТ відходів, а в тиждень це число для м. Київ складає 183,4 м<sup>3</sup>.

Далі мною був проведений розрахунок щоденного навантаження на обслуговуючи автомат і впливаючи з розрахунків обраний обслуговуючий транспортний засіб має об'єм кузова 9 м<sup>3</sup> при максимальному коефіцієнті ущільнення для ПЕТ рівному 5. Максимальний можливий об'єм ПЕТ що перевозиться за один раз складає 45 м<sup>3</sup> і задовольняє розрахованому вище об'єму. Згідно з розрахунками необхідний коефіцієнт стискання на практиці не повинен перевищувати 4.33, а, отже, дозволяє використовувати транспорт в щадному режимі і гарантовано уникати перевантажень.

І останні розрахунки дали мені змогу знайти оптимальний маршрут транспортування ПЕТ-відходів. В результаті розрахунків отримуємо оптимальний тижневий маршрут (табл.2.11).

Таблиця 2.11

### Оптимальний тижневий маршрут

Пункт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
День													
1	34	33	35	31	30	32	29	25	23	24	22	21	20
2	19	18	17	16	15	14	44	13	12	9	7	6	4
3	50	40	39	38	36	37	41	63	42	43	26	27	28
4	3	1	2	5	8	10	11	46	45	47	48	49	-
5	55	54	56	57	62	61	58	59	60	53	52	51	-

## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В ході виконання дипломної роботи, була розглянута діяльність підприємства «R3» та вирішено наступні актуальні для керівництва задачі: вибір раціонального типу транспортного засобу та складання оптимального маршруту збору ПЕТ-відходів.

Задачу вибору раціонального типу автомата було вирішено методом аналізу ієрархій, оскільки він дає змогу оцінити узгодженість експертів та показує наскільки впливають пріоритети на верхніх рівнях на пріоритети на нижчих рівнях. Мною були проведені розрахунки вибравши п'ять автоматів кожен з яких мав свої вихідні значення такі, як ціна, коефіцієнт ущільнення сміття і т. д. Потім мною були вибрані критерії по яким вибирають автомати, побудувала ієрархію і розрахувала матриці парних порівнянь. В результаті розрахунків я прийшла до висновку, що автомат №2 – Smart RVM/O найбільш переважає з усіх альтернатив.

Для складання оптимального маршруту були використані мурашиний алгоритм та метод повного перебору.

Перше що я зробила це розрахувала тижневу інтенсивність утворення ПЕТ-відходів звідси маємо що максимальний об'єм ПЕТ-відходів із загального об'єму ТПВ складає 20%. Отже, в добу утворюється  $26,2 \text{ м}^3$  ПЕТ відходів, а в тиждень це число для м. Київ складає  $183,4 \text{ м}^3$ .

Далі мною був проведений розрахунок щоденного навантаження на обслуговуючи автомат і впливаючи з розрахунків обраний обслуговуючий транспортний засіб має об'єм кузова  $9 \text{ м}^3$  при максимальному коефіцієнті ущільнення для ПЕТ рівному 5. Максимальний можливий об'єм ПЕТ що перевозиться за один раз складає  $45 \text{ м}^3$  і задовольняє розрахованому вище об'єму. Згідно з розрахунками необхідний коефіцієнт стискання на практиці не повинен перевищувати 4.33, а, отже, дозволяє використовувати транспорт в щадному режимі і гарантовано уникати перевантажень.

Оптимізування процесу збору та транспортування ПЕТ – відходів дало змогу отримати наступний результат: вирішено купувати та впроваджувати авто Smart RVM/O , що є найбільш переважним з усіх альтернатив та отримано оптимальний маршрут:

### Оптимальний тижневий маршрут

Пункт День	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>1</b>	34	33	35	31	30	32	29	25	23	24	22	21	20
<b>2</b>	19	18	17	16	15	14	44	13	12	9	7	6	4
<b>3</b>	50	40	39	38	36	37	41	63	42	43	26	27	28
<b>4</b>	3	1	2	5	8	10	11	46	45	47	48	49	-
<b>5</b>	55	54	56	57	62	61	58	59	60	53	52	51	-

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пшик О.О. Шляхи подолання житлової проблеми в Україні // Збірник наукових праць факультету менеджменту і маркетингу НТУУ “КПІ”. – 2005. – № 2. – С.151 – 157.
2. Джерела інвестицій та їх економічне регулювання. Монографія / За ред. М. Герасимчук, І. Галиця, О. Задорожна, А. Маренко та ін. – К., 1999. – 156 с.
3. М. Врух. Finansowanie inwestycji mieszkaniowych. – Warszawa: Poltext, 2001. – 192 s.
4. R. Kowalski Mieszkania – problem politycznie nierozwiązywalny, w: Finansowanie budownictwa mieszkaniowego // Zeszyty BRE Bank. – Warszawa: CASE, 2000. – S. 47–53.
5. Kucharska-Stasiak E. Nieruchomość w gospodarce rynkowej. – Warszawa: Wydawnictwo naukowe PWN, 2006. – 296 s.
6. Іпотечне кредитування: Навч. посібник / За ред. О.С. Любуня, О.І. Кіреєва, М.П. Денисенка. – К.: Центр навчальної літератури, 2005. – 392 с.
7. Удотова Л.Ф. Соціальна статистика: Підручник. – К.: КНЕУ, 2002. – 372 с.
8. Державний комітет статистики України: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
9. A review of Europe’s Mortgage // European Mortgage Federation, Hypostat 2006. – Bruksela, 2007, listopad.
10. Доповідь Держкомстату України “Соціально-демографічні характеристики домогосподарств України у 2008 р.”: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
11. Гевко І. Б. Методи прийняття управлінських рішень: Підручник. / І. Б. Гевко. – К.: Кондор, 2009. – 187 с.
12. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993.
13. Войнаренко М. Діалоговий алгоритм розв’язання задачі вибору оптимальних варіантів розвитку підприємства// Економіка України-1995.-№6.- с.85-88.



14. Сіднєв С.П., Шарапов О.Д. Математичні методи підвищення якості управлінських рішень: Підручник.-К.: ІЗМН, 1997.

15. Марюта А. Н. Ефективність багатокритеріальних задач економіки : монографія / А.Н. Марюта, И.В. Новицький. – Дніпровська : Наука та освіта, 2005. – 277 с.



## Додаток Б

## ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему: «Аналіз діяльності та розвиток компанія "R3" в умовах циклічної економіки ринку втор сировини України»

Студента Савченко Р. С. академічної групи 124-20ск-1

Тема кваліфікаційної роботи: «Аналіз діяльності та розвиток компанія "R3" в умовах циклічної економіки ринку втор сировини України.

Обсяг кваліфікаційної роботи 63 стор.

Мета кваліфікаційної роботи: підвищення ефективності процесу збору та транспортування ПЕТ пляшок та мінімізація витрат, пов'язаних з цим процесом.

Актуальність теми обумовлена значенням екологічної складової в сучасному світі, оптимізації логістичних послуг для економіки України в умовах постійного зростання обсягу товарообігу та збільшення екологічного навантаження на сучасний світ.

Тема кваліфікаційної роботи безпосередньо пов'язана з об'єктом діяльності бакалавра спеціальності 124 Системний аналіз, оскільки сформована математична модель вибору сучасного обладнання для збору ПЕТ пляшок для утилізації та процесу логістичного транспортування в умовах підприємства яке аналізується.

Виконані в кваліфікаційній роботі завдання відповідають вимогам ступеня бакалавра.

Практична цінність отриманих у роботі результатів полягає у можливості врахування факторів, що впливають на оптимальний вибір шляху транспортування готової продукції

Висновки підтверджують можливість використання результатів роботи в умовах сучасного екологічного ринку та ринку логістичних послуг.

Оформлення пояснювальної записки та демонстраційного матеріалу до неї виконано згідно з вимогами.

Роботу виконано самостійно, відповідно до завдання та у повному обсязі (*в разі невідповідності – вказати*)

У роботі відзначено такі недоліки:

1. Проведений аналіз без зазначених перспектив розвитку підприємства в умовах зростання промислового використання втор сировини та логістичного відділу як такого.

2. Після розрахунків не проведений аналіз вихідних даних не зазначені недоліки.

Кваліфікаційна робота в цілому заслуговує оцінки: добре (84 бали) при відповідному захисті

З урахуванням висловлених зауважень автор заслуговує присвоєння освітньої кваліфікації «бакалавр з системного аналізу».

Науковий керівник

К.т.н. доц. кафедри СА і У

Малієнко А.В.

Додаток В

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра  
на тему: «Аналіз діяльності та розвиток компанія "R3" в умовах циклічної економіки ринку втор сировини України»

Студента Савченко Р. С. академічної групи 124-20ск-1

Тема кваліфікаційної роботи: «Аналіз діяльності та розвиток компанія "R3" в умовах циклічної економіки ринку втор сировини України

Обсяг кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ стор.

Мета кваліфікаційної роботи: підвищення ефективності процесу збору та транспортування ПЕТ пляшок та мінімізація витрат, пов'язаних з цим процесом.

Актуальність теми обумовлена значенням екологічної складової в сучасному світі, оптимізації логістичних послуг для економіки України в умовах постійного зростання обсягу товарообігу та збільшення екологічного навантаження на сучасний світ.

Тема кваліфікаційної роботи: безпосередньо пов'язана з об'єктом діяльності бакалавра спеціальності 124 Системний аналіз, оскільки сформована математична модель вибору сучасного обладнання для збору ПЕТ пляшок для утилізацій та процесу логістичного транспортування в умовах підприємства яке аналізується.

Висновки про відповідність кваліфікаційної роботи завданню та освітньо-професійній програмі спеціальності \_\_\_\_\_

Загальна характеристика кваліфікаційної роботи, ступінь використання нормативно-методичної літератури та передового досвіду \_\_\_\_\_

Позитивні сторони кваліфікаційної роботи: \_\_\_\_\_

Основні недоліки кваліфікаційної роботи: \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота в цілому заслуговує оцінки: \_\_\_\_\_

З урахуванням висловлених зауважень автор (не) заслуговує присвоєння кваліфікації «магістр з системного аналізу».

Рецензент, науковий ступінь,  
вчене звання, посада

\_\_\_\_\_ / ПІБ

## Додаток Г

Таблиця Г.1

**Матриця парних порівнянь за ціною**

<b>Ціна автомату</b>	Автомат №1	Автомат №2	Автомат №3	Автомат №4	Автомат №5
Автомат №1	1,00	7,00	3,00	4,00	5,00
Автомат №2	0,14	1,00	0,20	0,25	0,33
Автомат №3	0,33	5,00	1,00	2,00	3,00
Автомат №4	0,25	4,00	0,50	1,00	2,00
Автомат №5	0,20	3,00	0,33	0,50	1,00

Таблиця Г.2

**Матриця парних порівнянь за місткістю**

<b>Місткість автомату</b>	Автомат №1	Автомат №2	Автомат №3	Автомат №4	Автомат №5
Автомат №1	1,00	0,14	0,50	0,33	0,17
Автомат №2	7,00	1,00	5,00	4,00	2,00
Автомат №3	2,00	0,20	1,00	0,50	0,25
Автомат №4	3,00	0,25	2,00	1,00	0,33
Автомат №5	6,00	0,50	4,00	3,00	1,00

Таблиця Г.3

**Матриця парних порівнянь за коефіцієнтом ущільнення сміття**

<b>Коефіцієнт ущільнення вторсировини</b>	Автомат №1	Автомат №2	Автомат №3	Автомат №4	Автомат №5
Автомат №1	1,00	0,13	0,33	0,25	0,14
Автомат №2	8,00	1,00	6,00	5,00	2,00
Автомат №3	3,00	0,17	1,00	0,50	0,20
Автомат №4	4,00	0,20	2,00	1,00	0,25
Автомат №5	7,00	0,50	5,00	4,00	1,00

Таблиця Г.4

**Матриця парних порівнянь за вартістю сервісу та вартістю запчастин**

<b>Сервіс і запчастини</b>	Автомат №1	Автомат №2	Автомат №3	Автомат №4	Автомат №5
Автомат №1	1,00	4,00	4,00	2,00	8,00
Автомат №2	0,25	1,00	1,00	0,50	2,00
Автомат №3	0,25	1,00	1,00	0,50	2,00
Автомат №4	0,50	2,00	2,00	1,00	6,00
Автомат №5	0,13	0,50	0,50	0,17	1,00

Таблиця Г.5

**Матриця парних порівнянь за споживання електроенергії**

<b>Витрата електроенергії</b>	Автомат №1	Автомат №2	Автомат №3	Автомат №4	Автомат №5
Автомат №1	1,00	0,20	2,00	0,50	0,25
Автомат №2	5,00	1,00	7,00	4,00	2,00
Автомат №3	0,50	0,14	1,00	0,33	0,17
Автомат №4	2,00	0,25	3,00	1,00	0,33
Автомат №5	4,00	0,50	6,00	3,00	1,00

Таблиця Г.6

**Матриця парних порівнянь за гарантією на автомати**

<b>Гарантія на автомати</b>	Автомат №1	Автомат №2	Автомат №3	Автомат №4	Автомат №5
Автомат №1	1,00	0,20	0,33	0,50	0,25
Автомат №2	5,00	1,00	3,00	4,00	2,00
Автомат №3	3,00	0,33	1,00	2,00	0,50
Автомат №3	2,00	0,25	0,50	1,00	0,33
Автомат №5	4,00	0,50	2,00	3,00	1,00

Продовження додатку Г

Таблиця Г.7

**Данні локального пріоритету ціни**

Ціна автомату	Локальний пріоритет критерію
Автомат №1	0,4878
Автомат №2	0,0435
Автомат №3	0,2310
Автомат №4	0,1457
Автомат №5	0,0920

Індекс узгодженості  $OS = 0,028214$ 

Таблиця Г.8

**Дані локального пріоритету місткості**

Місткість автомату	Локальний пріоритет критерію
Автомат №1	0,0481
Автомат №2	0,4483
Автомат №3	0,0798
Автомат №3	0,1264
Автомат №5	0,2974

Індекс узгодженості  $OS = 0,016228$ 

Таблиця Г.9

**Данні локального пріоритету коефіцієнту ущільнення сміття**

Коефіцієнт ущільнення вторсировини	Локальний пріоритет критерію
Автомат №1	0,0366
Автомат №2	0,4626
Автомат №3	0,0739
Автомат №3	0,1120
Автомат №5	0,3148

Індекс узгодженості  $OS = 0,040335$



Таблиця Г.10

**Данні локального пріоритету доступності сервісу та запчастин**

Сервіс і запчастини	Локальний пріоритет критерію
Автомат №1	0,5479
Автомат №2	0,0090
Автомат №3	0,0090
Автомат №3	0,4338
Автомат №5	0,0002

Індекс узгодженості  $OC = 0,007076$

Таблиця Г.11

**Данні локального пріоритету споживання електроенергії**

Витрата електроенергії	Локальний пріоритет критерію
Автомат №1	0,0798
Автомат №2	0,4483
Автомат №4	0,0481
Автомат №3	0,1264
Автомат №5	0,2974

Індекс узгодженості  $OC = 0,015223$

Таблиця Г.12

**Дані локального пріоритету гарантії на автомати**

Гарантія на автомати	Локальний пріоритет критерію
Автомат №1	0,0615
Автомат №2	0,4174
Автомат №3	0,1602
Автомат №3	0,0975
Автомат №5	0,2634

Індекс узгодженості  $OC = 0,014018$

## Додаток Г

Таблиця Г.1

## Значення відстаней між точками розташування

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

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

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

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

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

## Продовження додатку Г

8	9	<b>0,5</b> <b>9</b>
8	1	<b>0,9</b> <b>3</b>
9	1	<b>0,4</b> <b>9</b>
9	1	<b>0,5</b> <b>5</b>
1	1	<b>0,3</b> <b>9</b>
1	1	<b>0,6</b> <b>1</b>
1	1	<b>0,6</b> <b>9</b>
1	1	<b>0,9</b> <b>5</b>
1	4	<b>1,2</b> <b>1</b>
1	1	<b>0,5</b> <b>6</b>
1	1	<b>1,0</b> <b>6</b>
1	1	<b>0,5</b> <b>9</b>
1	1	<b>1,1</b> <b>2</b>
1	4	<b>0,5</b> <b>4</b>

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

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

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

5	5	<b>2,5</b> <b>6</b>
5	5	
5	6	<b>0,5</b> <b>9</b>
5	5	<b>0,7</b> <b>4</b>
5	6	<b>0,5</b> <b>5</b>
5	6	
5	5	<b>0,5</b> <b>8</b>
5	6	<b>0,4</b> <b>8</b>
5	6	<b>1,8</b> <b>9</b>
5	6	<b>1,0</b> <b>8</b>
6	6	<b>0,9</b> <b>1</b>
6	6	<b>0,6</b> <b>8</b>
6	6	<b>0,7</b> <b>4</b>

Таблиця Г.2

## Значення відстаней між кожною точкою збору та складом підприємства

1	1,7 2	22	3,3 6	43	2,7 7
2	1,7 7	23	2,9 8	44	1,6 5
3	1,2 5	24	3,5 9	45	2,3 9
4	0,9 7	25	3,7 1	46	2,5 4
5	1,3 9	26	3,2 5	47	2,7 8
6	1,1 2	27	2,8 9	48	2,6 1
7	1,0 3	28	3,1 4	49	3,6 8
8	1,3 5	29	3,6 8	50	3,4 1
9	1,0 9	30	3,9 2	51	3,7 1
10	1,0 5	31	4,5 9	52	3,9 3
11	1,2 1	32	3,8 8	53	4,7 5
12	0,7 8	33	4,3 6	54	4,0 7
13	1,3 2	34	4,1 5	55	4,4 2
14	1,6 4	35	4,6 7	56	4,5 6
15	1,2 1	36	4,7 2	57	5,0 6
16	2,6 8	37	4,3 3	58	5,6 9
17	3,0 1	38	5,0 2	59	6,5 5
18	2,1 3	39	4,8 9	60	5,5 1
19	3,6 1	40	3,7 5	61	5,2 6
20	4,2 3	41	3,7 9	62	4,9 8
21	4,0 6	42	3,0 2	63	3,3 1