

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки  
Кафедра інформаційних систем та технологій**

«На правах рукопису»  
УДК 004.02:628.46

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр РОЛІК

«06» червня 2022 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-науковою програмою «Інформаційне забезпечення  
робототехнічних систем»**

**зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»**

**на тему: «Автоматизована система збору та транспортування твердих  
відходів у місті»**

Виконав:

студент II курсу, групи ІК-01мн  
Сягровський Олексій Вікторович \_\_\_\_\_

Керівник:

доцент, к.т.н.,  
Мелкумян Катерина Юріївна \_\_\_\_\_

Рецензент:

доцент, к.т.н.,  
Фіногенов Олексій Дмитрович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет інформатики та обчислювальної техніки**  
**Кафедра інформаційних систем та технологій**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-наукова програма «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр РОЛІК

«06» червня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Сягровському Олексію Вікторовичу**

1. Тема дисертації «Автоматизована система збору та транспортування твердих відходів у місті», науковий керівник дисертації Мелкумян Катерина Юріївна, к.т.н., доц., затверджені наказом по університету від «26» квітня 2022 р. № НС/88/2022

2. Термін подання студентом дисертації

08 червня 2022 р.

3. Об'єкт дослідження

Процес збору та транспортування твердих відходів в умовах малих міст

4. Предмет дослідження

Автоматизована система збору та транспортування твердих відходів у місті

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

1) Визначення класифікації твердих відходів, способів їх утилізації та варіант їх кодифікації в автоматизованій системі збору та транспортування твердих побутових відходів. 2) Формалізація методології складання карти пунктів збору твердих побутових відходів. 3) Засвоєння об'ємної інформації для аналізу. 4) Застосування генетичного алгоритму пошуку ефективних

маршрутів транспортування та порівняння результатів з існуючими рішеннями.

#### 6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

1) Структурна схема підсистеми поводження з твердими побутовими відходами АС ЗТ ТПВ. 2) Структурна схема підсистеми створення мапи мережі зберігання та маршрутизації збору ТПВ. 3) Структурна схема підсистеми мережевого аналізу. 4) Порівняння витрат при застосуванні базової системи, ГІС та розробленої АС ЗТ ТПВ. 5) Діаграма інформаційних потоків АС ЗТ ТПВ. 6) Концептуальна модель бази даних АС ЗТ ТПВ. 7) Опис процесу взаємодії користувачів з АС ЗТ ТПВ. 8) Блок-схема роботи генетичного алгоритму.

#### 7. Орієнтовний перелік публікацій

Мелкумян К. Ю. Автоматизована система утилізації твердих відходів / К. Ю. Мелкумян, О. В. Сягровський // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2021. – №1(38). – ISSN 1560-8956. – С. 68-71.

#### 8. Дата видачі завдання «31» січня 2022 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Класифікація твердих відходів та способи їх утилізацій	08.04.2022 - 12.04.2022	
2	Дослідження існуючих систем поводження з твердими відходами	13.04.2022 - 20.04.2022	
3	Розробка моделі поводження з твердими відходами	21.04.2022 - 27.04.2022	
4	Проектування рішення системи поводження з твердими відходами	28.04.2022 - 02.05.2022	
5	Розробка інформаційного забезпечення системи поводження з твердими відходами	03.05.2022 - 10.05.2022	
6	Формування даних для дослідження існуючої та створеної систем	11.05.2022 - 13.05.2022	
7	Проведення дослідження та аналіз його результатів	14.05.2022 - 20.05.2022	
8	Оформлення пояснювальної записки	20.05.2022 - 31.05.2022	
9	Перший передзахист	25.05.2022	
10	Другий передзахист	13.06.2022	
11	Захист	16.06.2022	

Студент

Олексій СЯГРОВСЬКИЙ

Науковий керівник

Катерина МЕЛКУМЯН

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня «магістр» за освітньо-науковою програмою підготовки «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» на тему «Автоматизована система збору та транспортування твердих відходів у місті». Дисертація містить 108 сторінок, 14 рисунків, 10 таблиць, 1 додаток, 54 джерела.

**Актуальність.** У сучасному світі питання екології та поводження з відходами займають передові місця. Наразі тільки розвинені країни мають сформовані методи поводження з твердими побутовими відходами. Для країн, що розвиваються найголовнішим чинником є економічна складова будь-якого рішення, тому з'являється гостра необхідність до покращення наявних рішень, що наразі функціонують як основні. Тому задача підвищення ефективності процесу збору та транспортування є затребуваною.

**Метою магістерської дисертації** є підвищення ефективності процесу збору та транспортування твердих відходів до пунктів утилізації.

**Об'єкт дослідження:** процес збору та транспортування твердих відходів в умовах малих міст.

**Предмет дослідження:** автоматизована система збору та транспортування твердих відходів у місті.

**Наукова новизна.** У результаті проведених досліджень запропоновано методологію складання карти пунктів збору твердих побутових відходів та їх складів, формалізовані процедури макромаршрутизації та мікромаршрутизації, а також математичний апарат їх ефективного управління в автоматизованій системі збору та транспортування твердих побутових відходів.

**Публікація результатів дисертації.** За результатами роботи було опубліковано статтю:

Мелкумян К. Ю. Автоматизована система утилізації твердих відходів / К. Ю. Мелкумян, О. В. Сягровський // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2021. – №1(38). – ISSN 1560-8956. – С. 68-71.

**Ключові слова:** ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ, ЗБІР ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ, КОМУНАЛЬНІ СЛУЖБИ, ГЕОГРАФІЧНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ, ARCGIS.

## ABSTRACT

Master's dissertation for the degree of «master» in the educational and scientific training program «Dataware of robotic systems» on «Automated urban solid waste collection and transportation system». The dissertation contains 108 pages, 14 figures, 10 tables, 1 application, 54 sources.

**Actuality.** In today's world, environmental issues and waste management are at the forefront. Currently, only developed countries have established methods of solid waste management. For developing countries, the most important factor is the economic component of any decision, so there is an urgent need to improve existing solutions that currently function as the main ones. Therefore, the task of improving the efficiency of the collection and transportation process is in demand.

**The aim of research is** to increase the efficiency of the process of collection and transportation of solid waste to disposal sites.

**Object of research:** the process of collection and transportation of solid waste in small towns.

**Subject of research:** automated system of solid waste collection and transportation in the city.

**Scientific novelty:** As a result of the conducted research the methodology of compiling a map of solid waste collection points and their warehouses, formalized procedures of macro-routing and micro-routing, as well as the mathematical apparatus of their effective management in the automated system of solid waste collection and transportation are proposed.

**Publication of dissertation results.** Based on the results of the work, an article was published:

Melkumian K. Automated solid waste disposal system / K. Melkumian, O. Siahrovskiy // Adaptive automatic control systems. – 2021. – №1 (38). – ISSN 1560-8956. – P. 68-71.

**Keywords:** SOLID WASTE, COLLECTION AND TRANSPORTATION, UTILITIES, GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM, GENETIC ALGORITHM.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....</b>	<b>8</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>10</b>
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ УПРАВЛІННЯ ТА ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ВІДХОДАМИ У МАЛИХ МІСТАХ.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Класифікація твердих відходів та способи їх утилізацій.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.1 Класифікація твердих відходів.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.2 Методи утилізації твердих відходів .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Дослідження існуючих систем поводження з твердими відходами</b>	<b>18</b>
<b>1.2.1 Загальні питання .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.2 Маршрутні проблеми транспортних засобів .....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.3 Географічна інформаційна система.....</b>	<b>25</b>
<b>1.2.4 Генетичний алгоритм .....</b>	<b>28</b>
<b>1.2.5 Обмеження класичних методів.....</b>	<b>33</b>
<b>1.3 Висновки до розділу 1 .....</b>	<b>34</b>
<b>РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ВІДХОДАМИ .....</b>	<b>36</b>
<b>2.1 Розрахунок об'ємів накопичення твердих відходів .....</b>	<b>36</b>
<b>2.1.1 Методи, що використовуються для оцінки кількості відходів .....</b>	<b>36</b>
<b>2.1.2 Статистичний аналіз виміряних величин відходів .....</b>	<b>37</b>
<b>2.2 Прогнозування обсягів утворення твердих відходів .....</b>	<b>39</b>
<b>2.3 Якісна характеристика твердих відходів.....</b>	<b>46</b>
<b>2.4 Методи управління щодо зменшення ресурсоемності поводження з твердими відходами .....</b>	<b>53</b>
<b>2.5 Висновки до розділу 2 .....</b>	<b>60</b>
<b>РОЗДІЛ 3 Інформаційне забезпечення АС ЗТ ТПВ .....</b>	<b>62</b>
<b>3.1 Основні поняття .....</b>	<b>62</b>
<b>3.2 Підсистема збору і транспортування твердих відходів.....</b>	<b>63</b>

3.3 Підсистема проектування оптимальних маршрутів.....	66
3.4 Підсистема створення карти мережі зберігання та маршрутизації збору ТПВ.....	71
3.5 Генетичний алгоритм .....	76
3.6 Формалізація методології складання карти пунктів збору ТПВ ...	78
3.7 Висновки до розділу 3 .....	79
<b>РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ .....</b>	<b>81</b>
4.1 Результати ГІС.....	81
4.2 Результати АС ЗТ ТПВ.....	88
4.3 Зведення результатів дослідження.....	90
4.4 Висновки до розділу 4 .....	96
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>97</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>100</b>
<b>Додаток А.....</b>	<b>106</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ТПВ – тверді побутові відходи

АС ЗТ ТПВ – автоматизована система збору та транспортування твердих побутових відходів

ПТВ – поводження з твердими відходами

ЗМВ – змішана маса відходів

ГІС – географічна інформаційна система

ГІС-Т – транспортна географічна інформаційна система

ТЗ – транспортний засіб

СУТПВ – система утилізації твердих побутових відходів

СТС – одинична вартість транспортування відходів

РС – одинична вартість переробки відходів

СС – собівартість спалення відходів

ГА – генетичний алгоритм

ІМП – ієрархічний мережевий процес

ПМТЗ – проблеми маршрутизації транспортного засобу

ПМТЗЧВ – проблеми маршрутизації транспортного засобу з часовим вікном

ПМОТЗ – проблеми маршрутизації одиничного транспортного засобу

БТПМ – багато транспортні проблеми маршрутизації

ПП – проблеми постачання

ППДОТЗ – проблеми прийому та доставки одиничним транспортним засобом

ПДЧВОТЗ – проблеми доставки з часовим вікном одиничним транспортним засобом

ВТП – вирішення транспортних проблем

СКГА – сімейний конкурентний генетичний алгоритм

КГА – клітинний генетичний алгоритм

ІСУ – інтелектуальна система управління

ПММ – просторова мова макросів

ГІК – графічний інтерфейс користувача

АП – аналітично-ієрархічний процес

НМ – небезпечні матеріали

ШНМ – штучна нейронна мережа

ТНМ – триангульована нерегулярна мережа

ІОПП – індекс обізнаності у питаннях переробки

ІОЗ – інспекція з охорони здоров'я

## ВСТУП

Тверді відходи – це термін, що використовується для опису нерідких відходів, що виникають внаслідок побутової, торгової, комерційної, сільськогосподарської та промислової діяльності і державних послуг. В українських містах це поєднання різнорідних відходів.

Основними джерелами є житлові приміщення, господарські установи та прибирання вулиць. Це суміш рослинної та органічної речовин, вторинних матеріалів.

*Актуальність дослідження* полягає у тому, що поводження з твердими відходами (ПТВ) – це громадська проблема, і питання її вирішення повинне розвиватися оптимально та безперервно, щоб обслуговувати майбутнє покоління. Тверді відходи, якщо не приділяти їм відповідну увагу, не лише становлять небезпеку для здоров'я, але і створюватимуть багатомірні загрози, які включають шкідливий, екологічний, соціальний та економічний вплив. Поводження з твердими побутовими відходами в країнах, що розвиваються, є складним питанням, оскільки види утворюваних відходів дуже різняться у різних населених пунктах.

Межі аналізу проблеми відходів важко визначити. Повноцінне та екологічно безпечне управління охороною здоров'я вимагає ефективного внеску від усіх, хто бере участь у цій проблемі. Кожен є частиною проблеми утворення твердих побутових відходів і кожен також повинен бути частиною рішення належного управління, тобто рішення залежить від колективних людських дій та зусиль.

ПТВ є однією з важливих обов'язкових функцій міських місцевих органів будь-якої країни. Однак у багатьох країнах, що розвиваються, таких як, ця основна послуга не достатньо ефективно реалізується комунальними службами, що призводить до проблем зі здоров'ям, санітарією та погіршенням навколишнього середовища. Важливими причинами, які можна віднести до їх недоліків, є: обмеженість у фінансових ресурсах, інституційні слабкості;

неправильний підбір техніки, транспортних засобів та варіантів утилізації; апатія громадян до чистоти – все це робить дану послугу не задовільною.

Останнім часом, завдяки підвищенню екологічної обізнаності з боку громадськості в нашій країні, зростає увага до поводження з відходами в цілому та ПТВ зокрема. Звичайною практикою організацій поводження з твердими побутовими відходами є збирання відходів та їх утилізація як така на сміттєзвалище. Змішана маса відходів (ЗМВ) утилізується на сміттєвих майданчиках, що розташовуються на відстані – до 10 км від центру міста.

Кількість твердих відходів, що утворюються в умовах наших міст, коливається від 0,68 до 0,83 кг на душу населення за день. Відходи, що утворюються на одну людину, під час обстеження на місцях приймаються 0,8 кг на людину, з чого можна визначити загальну кількість твердих побутових відходів, що утворюються за день у місті.

Через постійну урбанізацію та збільшення кількості міського населення кількість утворених відходів також збільшується лінійно. Через швидку індустріалізацію та урбанізацію вартість земель також поступово зростала протягом багатьох років. Отже, пошук простору для використання як сміттєвий майданчик стає дедалі важче і дорожче. Крім того, поступове підвищення рівня життя населення призвело до збільшення кількості та різноманітності утворених відходів. Поводження з твердими міськими відходами повинно здійснюватися на умовах постійної «бородьби». Контекст вимагає суворих наукових підходів, які будуть застосовані до поводження з величезним ТПВ.

Проводячи дослідження щодо цієї тенденції, було проведено детальне опитування для збору даних щодо населення, деталей розташування вулиць, кількості сміття, типу збору, даних про дорожній рух, розташування смітників, розташування тимчасових станцій передачі тощо. На основі зібраних даних підготовано карти з розташуванням пунктів збору сміття; визначено середній склад. Карта землекористування та карта ґрунту, вивчаються для аналітичних досліджень.

За допомогою GPS оцифровано кілька умовних відділень вулиць та місць для збору сміття, щоб реалізувати аналітичну карту для проведення подальших досліджень у автоматизованій системі збору та транспортування ТПВ.

Для аналізу підготовлені тематичні шари дорожньої мережі, тип смуги руху, розташування самоскидів та місце розташування тимчасової перевантажувальної станції. За допомогою підсистеми маршрутизації знайдено оптимальний маршрут збору в певний часовий проміжок для бункерів та з тимчасових перевантажувальних станцій. Також визначається доцільність застосування додаткового алгоритму для оптимізації маршрутів сміттезбиральних транспортних засобів.

Вивчення існуючих методів поводження з твердими побутовими відходами з урахуванням місткості, місця розташування та факторів захисту навколишнього середовища і охорони здоров'я, як наслідок, дозволить отримати синтез ефективних рішень щодо побудови автоматизованої системи збору та транспортування твердих побутових відходів (далі ТПВ), що дозволить покращити екологічну ситуацію у містах. Основну увагу зосереджено на задачах підвищення ефективності транспортування ТПВ, що призводить до максимального використання об'єктів інфраструктури, ресурсів, покриття збору та мінімізації споживання палива або, іншими словами, мінімальних транспортних витрат – все для підвищення загальної ефективності досліджуваної системи.

**Об'єкт дослідження:** процес збору та транспортування твердих відходів в умовах малих міст.

**Предмет дослідження:** автоматизована система збору та транспортування твердих відходів у місті.

**Методи дослідження:** аналіз і синтез, порівняння та аналогія, узагальнення та абстрагування.

**Метою дослідження** є підвищення ефективності процесу збору та транспортування твердих відходів до пунктів утилізації.

***Задачі автоматизованої системи збору та транспортування ТПВ  
(далі АС ЗТ ТПВ) стратегічного рівня:***

- створення тематичних карт пунктів збору ТПВ
- налаштування просторових даних;
- аналіз інформації різних картографічних шарів;
- побудова ефективних маршрутів на рівнях мікро- та макромаршрутизації з урахуванням усіх обмежень.

***Задачі дослідження:***

- визначити класифікацію твердих відходів, способів їх утилізації та варіант їх кодифікації в АС ЗТ ТПВ;
- формалізувати методологію складання карти пунктів збору ТПВ;
- засвоєння об'ємної інформації для аналізу;
- застосувати генетичний алгоритм пошуку ефективних маршрутів транспортування та порівняти результати з існуючими рішеннями.

***Наукова новизна одержаних результатів.*** У результаті проведених досліджень запропоновано методологію складання карти пунктів збору ТПВ та їх складів, формалізовані процедури макромаршрутизації та мікромаршрутизації, а також математичний апарат їх ефективного управління в АС ЗТ ТПВ.

***Особистий внесок магістра.*** Магістерська робота є самостійним дослідженням слухача, яке має наукове та практичне значення. Автором узагальнено отримані результати, сформульовано висновки. Автором опубліковано наукова праця за темою дипломної роботи магістра.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ УПРАВЛІННЯ ТА ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ВІДХОДАМИ У МАЛИХ МІСТАХ

### 1.1 Класифікація твердих відходів та способи їх утилізацій

#### 1.1.1 Класифікація твердих відходів

Існує кілька різних способів класифікації твердих відходів. Один із способів – класифікувати його по тому, де вони виробляються. Інший спосіб заснований на тому, чи здатні відходи біологічно руйнуватися.

*Біорозкладані тверді відходи* – це ті відходи, які можуть бути розщеплені (розкладені) на складові елементи бактеріями і іншими мікроорганізмами. Харчові відходи, гній і відходи сільськогосподарських культур є основними біологічно розкладними відходами. Якщо процес розкладання відбувається під час відсутності повітря (анаеробно), може утворитися газоподібний метан. Метан є потужним парниковим газом і може вибухнути, якщо його накопичиться достатньо і присутнє джерело займання (наприклад, електрична іскра). При розкладанні також може виникати неприємний і дратівливий запах. Однак контрольоване анаеробне розкладання може виробляти біогаз – корисне паливо для опалення, приготування їжі та навіть вироблення електроенергії, а також добрива.

Відходи, які розкладаються при достатньому припливі повітря (аеробно) в контрольованих умовах, можуть утворювати компост, який можна використовувати для поліпшення якості ґрунту.

*Небіорозкладні* (також іноді звані неорганічними) тверді відходи – це ті відходи, які не розкладаються під дією мікробів. Ці відходи включають пластикові контейнери, металобрухт, банки для їжі і напоїв і пластикові пакети.

Матеріали в твердих відходах також можна класифікувати як *горючі* або *негорючі*, в залежності від того, будуть вони горіти чи ні.

Залежно від властивих їм небезпек, пов'язаних з їх фізичними і хімічними властивостями, тверді відходи можна класифікувати як небезпечні або безпечні.

*Небезпечні відходи* представляють істотну або потенційну загрозу для здоров'я населення або навколишнього середовища. Наприклад, токсичні, інфекційні та корозійні (кислотні або лужні) речовини можуть бути класифіковані як небезпечні.

*Безпечні відходи* – це ті відходи, які не володіють небезпечними характеристиками, хоча вони можуть бути шкідливими для людей або довкілля.

### ***1.1.2 Методи утилізації твердих відходів***

*Методи утилізації твердих побутових відходів:*

- відкрите горіння;
- скидання у водойми;
- санітарні звалища;
- закрите спалювання;
- компостування;
- оранка на полях;
- годування тварин;
- відновлення;

*Відкрите спалювання твердих відходів*

Не ідеальний метод у сучасних умовах.

*Скидання у водойми*

Можливо лише в прибережних містах. Вантаж транспортується баржами, на достатню відстань від узбережжя (15-30 км), і скидається там. Цей метод є досить складним і не є екологічно чистим.

*Санітарне сміттєзвалище твердих відходів*

Метод є простим, дешевим та умовно ефективним. Викопується глибока траншея (від 3 до 5 м), сміття укладають шарами. Шари ущільнюють

відповідним механічним обладнанням і засипають землею, вирівнюють і ущільнюють. З часом наповнення осідає і мікроорганізми діють на органічні речовини і розкладають їх. Розкладання подібне до такого, що відбувається при компостуванні. Бактерії гідролізують складні органічні речовини до більш простих водорозчинних органічних речовин, вони дифузуються через ґрунт, де гриби та інші бактерії перетворюють їх в діоксид вуглецю та воду в аеробних умовах. Аеробні метаногенні бактерії використовують утворений метан, а решта надходить в атмосферу.

За таким методом, занадто багато сміття не можна заховати – присутня небезпека пожежі. Вміст вологи має бути не нижче 60% для хорошого біологічного розкладу. Глибина залягання більше 3 м. Є небезпека згоряння через стиснення донних шарів – отже, глибину залягання сміття слід обмежувати значенням 2 м. Температура на початкових стадіях розкладання – до 70 градусів °С, потім знижується. У подальшому, меліоровані ділянки можна використовувати для інших цілей.

#### *Інженерні звалища твердих відходів*

Дно траншеї встелюється непроникним матеріалом, щоб запобігти забрудненню фільтрату підземних вод. Слід забезпечити добре розроблений механізм збору фільтратів. Зібраний таким чином фільтрат обробляється, а потім утилізується.

#### *Спалювання твердих відходів*

Такий метод є придатним для горючих відходів. Підходить для переповнених міст, де місця для заповнення землі відсутні. Тут присутні значні витрати на будівництво та експлуатацію. Іноді використовується для зменшення обсягу твердих відходів заповнення ділянок.

Первинна камера призначена для полегшення швидкого осушення вологих відходів та повного згоряння відходів і летких газів. Для цього передбачено сушильне вогнище.

Вторинна камера знаходиться між первинною камерою та штабелем. Температура – вище 700 градусів °С. Тут повністю згорають всі неспалені та частково спалені матеріали.

Сучасні камери згоряння поєднують спалювання твердих відходів з виробленням електричної енергії.

*Камери згоряння для твердих відходів включають:*

- яма для зберігання та сортування вхідних відходів;
- кран для завантаження камери згоряння;
- камера згоряння, що складається з донних решіток, на яких відбувається горіння;
- решітки, по яких рухається сміття;
- система рекупераційних теплових труб, в яких вода перетворюється на пару;
- системи обробки золи;
- системи контролю забруднення повітря;
- рати, які забезпечують турбулентність, щоб ТПВ можна було ретельно спалювати, переміщувати вниз, подавати повітря через відповідні отвори (для сприяння горінню, а також для охолодження решіток).

Робоча температура горілок ~ 980-1090 градусів °С.

*Компостування*

Є подібним до санітарних звалищ. Дає стабільний кінцевий продукт – хороше відновлення ґрунту і може використовуватися як основа для добрив. Метод є популярним у країнах, що розвиваються.

*Відкрите компостування*

Сміття кладеться в купи, висотою близько 1,5 м і шириною 2,5 м за приблизно 60% вмісту вологи. Тепло накопичується в купках сміття внаслідок біологічної активності. Температура піднімається приблизно до 70 градусів °С. Купу порушують для охолодження та аерації, щоб уникнути анаеробних умов. Вміст вологи регулюється приблизно до 60%. Знову складено – температура піднімається приблизно до 70 градусів °С, і вищевказані операції

повторюються. Через деякий час (~ 7-10 тижнів) температура опускається до атмосферної температури – ознака стабілізації компосту.

#### *Механічне компостування*

Процес стабілізації прискорюють механічні пристрої перетворення компосту. Компост стабілізується приблизно через 1-2 тижні. Для збагачення компосту до відходів додають ґрунт, коров'як тощо. Зазвичай роблять у компостних ямах. Пристрої для відводу надлишкової вологи передбачені біля основи котловану. На дно ями кладуть шар попелу, меленого вапняку або суглинистого ґрунту для нейтралізації кислотності компостного матеріалу та забезпечення лужного середовища для мікроорганізмів. Яма заповнюється почерговими шарами сміття (зкладається шарами глибиною 30-40 см) та ґрунтом або коров'яком (укладається над ним тонким шаром). Матеріал перевертається приблизно кожні 5 днів. Через ~ 30 днів готовий до використання.

#### *Утилізація оранкою на полях*

Цей метод використовується не дуже часто. Загалом, не екологічно чистий.

#### *Утилізація шляхом годівлі тварин*

Метод мало поширений.

#### *Відновлення*

Такі матеріали, як папір, метал, скло, певні види пластику тощо, можуть бути відсортовані, перероблені та використані повторно.

## **1.2 Дослідження існуючих систем поводження з твердими відходами**

### ***1.2.1 Загальні питання***

Муніципальна система поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) в Україні набуває все більшого значення головним чином через збільшення міського населення та поінформованості громадськості щодо важливості питання утилізації сміття. Існує значна різниця у складі відходів та техніко-соціально-економічному стані в порівнянні з умовами передових

країн світу. Це вимагає розробки відповідної технології поводження з твердими побутовими відходами в Україні. Існує також потреба в національній політиці для конкретної країни, а також у правовій структурі та структурі доходів для ТПВ [1]. Оглядовими статтями щодо основних компонентів системи утилізації твердих побутових відходів (СУТПВ) є утворення відходів, їх зберігання, збір, транспортування, типи сміттєзбірників та їх розміщення, переробка відходів, їх утилізація, що визначають необхідність кількісного визначення.

Як у минулому, так і в даний час, недостатня увага приділялася інженерному захороненню та його практиці. Відходи просто скидаються на землю, з відкритим доступом атмосфери, як це відбувається в інших місцях, без відповідної практики переробки та використання ресурсів.

Різні типи сміттєвих баків, а саме циліндричні бетонні ємності, невеликі дерев'яні ящики, кубічні бетонні бункери, кубічні пластикові контейнери, ємності з нержавіючої сталі [2] є загальнозживаними в нашій країні.

Ефективне маршрутування та маршрутизація транспортних засобів для збору твердих побутових відходів може зменшити витрати за рахунок зменшення затрат праці на збір відходів. Процедури маршрутизації зазвичай складаються з двох окремих компонентів: макромаршрутизації та мікромаршрутизації [3].

Макромаршрутизація, яку також називають балансуванням маршрутів, складається з розподілу загальної площі збору на маршрути, розміром яких є один день збору для одного екіпажу. Розмір кожного маршруту залежить від кількості зібраних відходів за зупинку, відстані між зупинками, часу завантаження та умов руху.

Мікромаршрутизація може визначити конкретний маршрут, яким повинен рухатися транспортний засіб. Метод, обраний для мікромаршрутизації, має бути досить простим, щоб використовувати його для збалансування маршруту, коли відбуваються зміни в системі або реагувати на сезонні коливання у кількості відходів.

Для вдосконалення поточних послуг з поводження з твердими побутовими відходами важливо вивчити різні обмеження або такі питання, як участь громади, розвиток людських ресурсів, просування систем ГІС-GPS для отримання надійних даних про відходи та законодавчих повноважень. Однак в Україні, через недостатній рівень обізнаності та співпраці з боку громадян, у межах смітників часто знаходиться велика кількість відходів, що знаходяться поза контейнерами. За цієї причини мешканці, які знаходяться поблизу, незадоволені розміщення смітєвих баків поряд зі своїми будинками, що обумовлює необхідність їх розташування в громадських місцях, які часто є не найкращими для цього місцями.

Формулювання підходу до оцінки рівня задоволеності щодо ефективності роботи системи твердих побутових відходів, з подальшою апробацією шляхом тематичного дослідження, дає змогу забезпечити досить важливий зворотний зв'язок з керівництвом щодо ефективності існуючої системи та визначить сфери, де необхідна реструктуризація [4]. Основна система в більшості малих міст ще не реалізувалась як високо організована програма. Критична оцінка існуючої системи вказує на такі короткі випадки, як нерегулярне вивезення твердих відходів із збірних територій, недостатнє використання наявних ресурсів, погіршення якості навколишнього середовища та погано організована система з високими витратами.

Відповідно, пропонуються вдосконалення, що стосуються таких питань, як окреслення національної політики щодо поводження з відходами; розробка відповідної технології, генеральне планування системи для кожного міста; участь та обізнаність громадськості; забезпечення належних фінансових ресурсів та ефективна правова структура і їх забезпечення [1].

У СУТПБ максимальна сума фінансування виділяється на транспортування відходів. Отже, необхідно визначити оптимальний маршрут і розподілити транспортні засоби. Для сприяння особам, що приймають рішення, у розробці оптимальних стратегій планування [5], розробляється

математична модель та пропонуються варіанти поводження з відходами для регіону. Це відомо як модель регіонального планування.

Цільова функція, яку дають автори [5], приведена в (1.1).

$$\begin{aligned}
 \text{Мінімізація } Y = & \sum_w \sum_j \sum_a \sum_z \sum_t \frac{CTC_{wjazt}}{(1+r)^t} X_{wjazt} \\
 & + \sum_w \sum_j \sum_a \sum_z \sum_t \frac{PC_{wjapt}}{(1+r)^t} X_{wjapt} + \sum_w \sum_j \sum_a \sum_z \sum_t \frac{CC_{wjact}}{(1+r)^t} X_{wjact} \\
 & + \sum_w \sum_j \sum_a \sum_z \sum_t \frac{LC_{wjalt}}{(1+r)^t} X_{wjalt} - \sum_w \sum_j \sum_a \sum_z \sum_t \frac{REV_{wj dpt}}{(1+r)^t} DIV_{wj dpt} \quad (1.1) \\
 & + \sum_w \sum_j \sum_a \sum_z \sum_t \frac{REV_{wjazt}}{(1+r)^t} X_{wjazt} - \sum_c \sum_t \frac{REV_{ct}}{(1+r)^t} TEN_{ct} \\
 & \text{для всіх } w, j, a, z, p, c, l, d, t,
 \end{aligned}$$

де  $CTC_{wjazt}$  – одинична вартість транспортування відходів типу  $w$  за варіантом збору  $j$  у джерелі  $a$  та транспортування їх до місця призначення  $z$  у році  $t$  (включає витрати на збір, якщо вузол  $a$  є загальнодоступним;  $PC_{wjapt}$  – одинична вартість переробки відходів типу  $w$ , зібраних за варіантом  $j$  і транспортованих від джерела  $a$  до переробного пункту  $p$  у році  $t$ ;  $CC_{wjact}$  – собівартість одиниці спалення відходів типу  $w$  на сміттєспалювальному заводі  $c$  у році  $t$ ;  $LC_{wjalt}$  – собівартість переробки одиниці відходів (грн / т) на сміттєзвалищах  $l$  у році  $t$ ;  $REV_{wj dpt}$  – одиничний дохід (грн / т) для відходів типу  $w$ , перенаправлених за варіантом збору  $j$ , використовуючи варіант перенаправлення  $d$  на об'єкті  $p$  у році  $t$ ;  $REV_{ct}$  – одиничний дохід (грн / т) від продажу енергії на об'єкті  $c$  у році  $t$ ;  $r$  – дисконтна ставка.

Якщо  $a$  є громадським, то  $CTC$  включає вартість збору та транспортування. Якщо генерування енергії повинне здійснюватися на звалищі, додаткові умови повинні бути включені в цільову функцію.

Модель здатна обробляти численні пункти збору та звалища, а також включає можливу реалізацію численних варіантів реалізації системи поводження з ТПВ. Подібні рішення демонструють здатність моделі

оптимально планувати варіанти переробки і характеристик сміттєзвалища, а також розраховувати довгострокові оптимальні витрати ТПВ для регіонально-інтегрованої системи. Варіанти, які є менш дорогими, закладаються раніше в плановому періоді. У міру вичерпання потужностей звалищ, розташованих поблизу, відкриваються більш дорогі або віддалені звалища [5].

У [6] представлено вичерпну математичну модель інтегрованого управління твердими відходами, яка враховує витрати, енергію та викиди в навколишнє середовище. Ця модель сформульована як модель лінійного програмування, яку можна вирішити для виявлення ефективної стратегії ПТВ, яка визначається повним набором одиничних процесів та кількістю кожного об'єкта відходів, що обробляється в рамках цих одиничних процесів. Визначення змінних та рівняння моделі структуровані спеціально для того, щоб уникнути нелінійності, яка зазвичай виникає через типи рішень, представлених цією моделлю.

У звіті про уроки з проектів поводження з твердими відходами [7] стверджується, що ПТВ є однією з різних сфер, які охоплюються програмою "Екомісто". У цій програмі пропонується створити сучасні потужності в таких обраних містах, де кількість ТПВ, як очікується, становитиме від 300 до 500 тон на день.

### ***1.2.2 Маршрутні проблеми транспортних засобів***

Проблему маршруту транспортних засобів можна описати як проблему проектування найменш витратних маршрутів від одного сміттєзвалища до набору географічно розкиданих пунктів (пунктів збору сміття). Маршрути повинні бути спроектовані таким чином, що кожну точку відвідують лише один раз, на одному транспортному засобі. Всі маршрути починаються і закінчуються у депо, а загальне сміття, зібране у всіх пунктах збору на одному конкретному маршруті, не повинно перевищувати потужності транспортної системи.

Проблема маршрутизації транспортного засобу з часовими вікнами – це узагальнення стандартної проблеми маршрутизації транспортного засобу, що включає додаткову складність у тому, що кожна точка збору сміття повинна бути зібрана протягом заданого часового вікна.

Генетичні алгоритми (ГА) найкраще підходять для вирішення проблеми маршруту транспортного засобу за допомогою часових вікон. Також використовуються інші сучасні алгоритми, такі як «Оптимізація колонії мурашок» (ОКМ). Пошук і результати алгоритму порівнюються з результатами ГА. Результати, отримані за допомогою ГА, мають хорошу результативність та економію часу [8].

Одна з інноваційних методологій збору та транспортування твердих побутових відходів базується на алгоритмі оптимізації колонії мурашок (ОКМ), результати якого показують найбільш економічно ефективний альтернативний сценарій, а також оцінюють поточні витрати та моделюють їх реалізацію [9]. Щоб оцінити відносну бажаність введених альтернатив, використовуючи оцінку особи, що приймає рішення, як вхід для пошуку придатного місця сміттєзвалища, за допомогою ієрархічного мережевого процесу (ІМП), використовується суперматричний підхід, що опубліковано в [10].

У літературі повідомляється, що конкурентоспроможна модель нейронної мережі та генетичний алгоритм використовуються для поліпшення фази ініціалізації та побудови евристики паралельної вставки для проблеми маршрутизації транспортного засобу з часовими вікнами. Нейронна мережа ідентифікує користувачів, які розподіляються по всій географічній площі під час фази ініціалізації, тоді як генетичний алгоритм знаходить хороші параметри на етапі побудови маршруту, що слідує з [11].

В даний час проблема маршруту транспортного засобу з часовим вікном (ПМТЗЧВ) є предметом дуже інтенсивних досліджень і використовується для моделювання реалістичних застосувань, таких як роздрібна торгівля, маршрутизація автобусів та доставка вантажів. Загальною метою є

обслуговування клієнтів із мінімальними витратами з парком транспортних засобів обмеженої потужності, що працюють у центральному депо (тобто кожен маршрут починається та закінчується у депо). У цій програмі метою є мінімізація кількості маршрутів і для однакової кількості маршрутів мінімізація загального часу маршруту.

Щоб бути здійсненим, маршрути також повинні відповідати трьом різним типам обмежень.

По-перше, кожен клієнт має обмеження у кількості товарів, які потрібно доставити. Оскільки місткість кожного транспортного засобу обмежена, загальна кількість товарів, що доставляються на маршруті, не може перевищувати потужність транспортного засобу, призначеного для реалізації доставки.

По-друге, існує часовий інтервал або конкретний час, пов'язаний із кожним клієнтом. Жоден транспортний засіб не може прийти занадто пізно до місця перебування клієнта, тобто після закінчення часового вікна. Однак транспортний засіб може зачекати, якщо він приїде занадто рано, нарешті, в депо або гаражі також включається часовий інтервал. Кожен маршрут повинен починатися і закінчуватися в межах свого часу. Часове вікно діє подібно до обмеження пропускну здатності, розширюючи або пропускну здатність транспортного засобу, або часове вікно у депо. Завдяки цьому більше клієнтів може обслуговуватись тим самим транспортним засобом [11].

Проблеми маршрутизації транспортних засобів бувають двох типів – проблема однієї маршрутизації транспортного засобу (ПМОТЗ) та багатотранспортна проблема маршрутизації (БТПМ).

ПМОТЗ – це паралельний опис трьох класичних проблем в дослідженні операцій та особливостей транспортування, а саме:

- проблеми постачання (ПП);
- проблеми прийому та доставки ондим транспортним засобом (ППДОТЗ);

- проблема доставки з часовим вікном одним транспортним засобом (ПДЧВОТЗ).

Автори [12] опублікували алгоритм оптимізації загального вирішення транспортних проблем (ВТП). Алгоритм використовує ГА на основі перетворення, який називається нейтральним ГА. Алгоритм загальний. Він може обробляти різні типи ВТП, а саме ПП, ППДОТЗ та ПДЧВОТЗ. Запропонований алгоритм є швидким і дає оптимальні / майже оптимальні рішення з мінімальними зусиллями на обчислення.

ПДЧВОТЗ також можна вирішити, використовуючи комплексний конкурентний генетичний алгоритм (ККГА). Генетичні алгоритми були успішно застосовані для вирішення комбінованих обчислювальних задач. Комплексне обчислення покращує продуктивність для отримання оптимальних рішень та ймовірність досягнення можливих рішень. У порівнянні з традиційним ГА, підхід ККГА не потребує величезних ресурсів.

Застосування ККГА до ПДЧВОТЗ успішно знайшло можливе вирішення основних проблем та отримало ефективні результати в експериментах [13].

Клітинний генетичний алгоритм (КГА) – це підклас ГА, в якому збільшена різноманітність варіацій та досліджень. Такий вид структурованих алгоритмів особливо добре підходить для складних задач. Дослідження поведінки цих алгоритмів дає кращі результати з точки зору якості знайденого рішення, часу виконання та кількості оцінок функцій [14].

### ***1.2.3 Географічна інформаційна система***

Для управління великою кількістю просторових даних ГІС є ефективним інструментом для визначення місць, відстані, доступності та близькості. Це концепція стандартизованої системи кодування, тобто унікальної ідентичності для кожного елемента, такого як сміттєві баки, пункти збору тощо. Переваги ГІС включають своєчасне реагування громадськості, краще прийняття рішень, всебічне представлення інформації, своєчасне оновлення, зменшення

надмірності, покращення точності, покращення послідовності, покращення сумісності, покращена доступності – даних, та покращений обмін ними.

ГІС є ефективним інструментом для багатьох областей застосування, таких як веб-сайт вибір та пошук оптимального маршруту в галузі поводження з твердими побутовими відходами, міського транспорту, водопостачання та зрошення.

При поводженні з твердими побутовими відходами для визначення місцезнаходження використовується ГІС збірники, вибравши альтернативне місце для сміттєзвалища, а також для оптимального прокладання збірних та транспортних засобів. Для вибору придатних місць для розміщення смітника або сміттєзвалища використовується аналіз накладання.

Автор [15] на своєму особистому веб-сайті опублікував використання ГІС для вибору відповідних місць для сміттєвих баків. На веб-сайті автора основна увага приділяється розташуванню сміттєзбірника за допомогою аналітичної мережі ArcView PC з відстанями: 100, 150 та 200 метрів між точками збору відходів. Метою дослідження було з'ясувати, чи є ГІС ефективним рішенням ПТВ.

Конкретними цілями є:

- визначити сучасну практику ПТВ з позиції клієнтів та перевізників побутових відходів у досліджуваній зоні;
- проаналізувати поведінку сторін та взаємодію між ними в процесі ПТВ;
- розробити модель, засновану на ГІС, щоб запропонувати відповідне розташування контейнерів для сміття;
- оцінити роль ГІС для ПТВ в існуючому контексті.

На основі цього, була розроблена модель ПТВ з використанням ГІС для розміщення сміттєвих контейнерів.

Баки для сміття повинні розташовуватися та розподілятися таким чином, щоб люди могли їх ідентифікувати на зручній відстані. Припущення, що зроблені в моделі, наведено нижче.

1. Були враховані такі фізичні умови, як розподіл домогосподарств, щільність, ширина дороги, соціально-економічне та існуюче поводження з твердими побутовими відходами.
2. Вибрано врахування реального часу та чисельність населення на момент дослідження.
3. Мешканці можуть вільно обирати послугу між приватними будинками та утилізацією відходів загальний смітник.

У тому ж напрямку, автор [16] опублікував досвід розробки географічної інформаційної системи управління на основі GPS (ГІС-ІСУ-GPS) для ПТВ в умовах типового міського середовища. У даному випадку 80% інформації, що використовується, має просторову складову. Для інтеграції об'ємних даних використовується ГІС.

Складові елементи методології, яка використовується для розробки моделі, наведені нижче:

- вивчення та аналіз існуючої картини стану, атрибутивних даних, звітів та механізмів моніторингу;
- створення вихідних даних та деталей кількості відходів;
- оцифровка / демаркація існуючих меж санітарних зон;
- покращення програмного забезпечення для включення деталей, для введення даних (модуль введення даних – редагування), модуля перегляду даних (запит та аналіз), звіту ІСУ та сумісності з мережею;
- введення просторових даних та атрибутивних деталей бункерів, маршрутів, кількості відходів;
- створення карт санітарних зон з усіма існуючими деталями;
- доопрацювання програмного забезпечення та інтеграція трьох модулів ГІС, ІСУ та GPS;
- мережа та встановлення систем та моніторингу;
- навчання відповідальної особи управлінню системою та оновленню даних.

Автори [17], які пішли оптимальним шляхом, для швидкої допомоги та пожежної служби, використовували модуль ROUTE в Arc-Info. У даному випадку, маршрут, що має мінімальний час у дорозі, надає перевагу маршруту з найменшою відстанню. ГІС можна використовувати для вирішення цілей пошуку оптимального маршруту між даними пунктами відправлення та призначенням. За його допомогою можна дізнатися маршрути, що включають найкоротші відстані, а також найкоротший час у дорозі. Однак, для досягнення реальних результатів, обсяг даних про дорожній рух повинен бути в реальному часі. Передача обсягу трафіку в реальному часі здійснюється через супутник або через Інтернет; за допомогою місцевих мікрохвильових передавачів.

У роботі [18] автори розробили базу даних ГІС для міських доріг у та обговорили стратегії вдосконалення. Дана база розроблена для всієї дорожньої мережі з використанням простої мови макросів (ПММ) в графічному інтерфейсі користувача (ГІК). Модель створена методом аналітичного ієрархічного процесу (АІП). В роботі [19] на тему: "Застосування ГІС для моніторингу автобусних перевезень" займалися розробкою прототипу ГІС моніторингу дотримання графіку для загальних транспортних інженерних програм та планування, з використанням обстеження вузлів та точкових обстежень.

У науковій роботі [20] під назвою «Розрахунок часу подорожі за допомогою ГІС в оптимізації розташування залізничних станцій» детально обговорено формулювання проблеми та обчислення часу поїздки, за допомогою модуля аналітики мережі. Встановлено, що Network Analyst дуже ефективно розраховує час подорожі за найкоротшими маршрутами між двома пунктами. Ефективність алгоритму залежить від різних факторів, таких як точність моделювання маршрутної мережі, підрахунок вартості поїздки тощо.

#### ***1.2.4 Генетичний алгоритм***

Одним із дієвих алгоритмів, що використовується в задачах оптимізації, є генетичний алгоритм. Велика кількість дослідників використовували

генетичний алгоритм як інструмент оптимізації, особливо при проектуванні транспортних мереж. Завдання використання ГА в транспортній мережі базується на аналітичній моделі, що забезпечує синтетичний аналіз ефективності мережевих процедур оптимізації. Це застосовується для вирішення проблем у проектуванні мережі шляхом визначення транзитних маршрутів, та розміщення основних транзитних центрів.

Генетичні алгоритми – це алгоритми пошуку, засновані на концепціях природного відбору та природної генетики, і використовуються як алгоритм оптимізації загального призначення. Він відрізняється від інших методів пошуку тим, що одночасно здійснює пошук серед сукупності точок і працює з параметрами кодування, а не з самими значеннями параметрів.

Евристичний метод проектування транзитної мережі, запропонований у роботі [21], передбачає надання матриці походження / призначення, характеристик дорожньої мережі та пропускної спроможності транспортного засобу, а також експлуатаційних витрат та витрат користувачів.

Основні рамки моделі встановлюються на наступних трьох етапах:

Фаза 1 – евристичний алгоритм для створення набору можливих маршрутів.

Фаза 2 – генетичний алгоритм для пошуку оптимальної підмножини маршрутів із пов'язаними частотами.

Фаза 3 – остаточне вдосконалення конфігурації мережі.

Автор [22] обговорив проблему пошуку шляху мінімальних витрат у мережі мульти-видів громадського транспорту. Для пошуку оптимального шляху в транспортній мережі розглядається мінімальний загальний час, а не мінімальна відстань.

Автори [23] описують, як імітувати транзитну мережу в ГА. Ця стаття використовує простий підхід, заснований на двійковому кодованому генетичному алгоритмі, для оптимального розподілу розміру парку та планування з урахуванням передачі для транзитної системи. Задача

сформульована як нелінійна змішана цілочисельна задача програмування, показана у рівнянні (1.2).

$$\sum_{\forall i} \sum_{\forall j} \sum_{k=1}^{n_i} \sum_{l=1}^{n_j} \delta_{i,j}^{k,l} (d_j^l - a_i^k) \omega_{i,j}^k \quad (1.2)$$

Ця формула представляє собою час трансферу пасажирів з  $k$ -того автобуса  $i$ -того маршруту до  $l$ -того автобуса  $j$ -того маршруту. Загальний час очікування пасажира приймається як сума загального початкового часу очікування пасажирів всіх автобусів та маршрутів, та загального часу пересадки до всіх автобусів всіх маршрутів.  $n_{i,j}$  – це розмір автопарку  $i$ -того чи  $j$ -того маршруту,  $a_i^k$  – це час прибуття  $k$ -того автобуса  $i$ -того маршруту,  $d_j^l$  – це час відправлення  $l$ -того автобуса  $j$ -того маршруту,  $\omega_{i,j}^k$  – це число пасажирів, які прибувають до трансферної зупинки  $k$ -того автобуса  $i$ -того маршруту і хочуть пересісти до  $l$ -того автобуса  $j$ -того маршруту,  $\delta_{i,j}^{k,l}$  – це коефіцієнт, який приймає значення або 0, або 1, при цьому 1 означає наявність трансферу, а 0 – його відсутність.

Використання ГА особливо підходить для проблеми планування, що зпрощує ускладнення, які виникають через велику кількість змінних і обмеження, дискретну природу змінних та нелінійності, пов'язані з цільовою функцією і відповідними обмеженнями.

В задачах оптимізації на дорожній мережі, працює алгоритм мінімального шляху Флойда [24]. Інший маршрут, встановлений для досліджуваного району, буде вважатися початковим набором маршруту, в якому час прибуття буде оптимальним [25].

Генетичний алгоритм є високорівневим моделюванням, а біологічно мотивована адаптивна система є інструментом вибору оптимальної маршрутної мережі. Є два методи, засновані на схемі кодування, які можуть використовуватись для розв'язання задачі за допомогою генетичного алгоритму, а саме фіксованого рядка кодування довжини та кодування довжини змінної довжини.

У кодуванні з фіксованою довжиною рядка маршрути розглядаються як змінні а кількість шляхів, що розглядаються під час генетичної операції, залишається фіксованою. Це вимагає ітерації кількості маршрутів, щоб досягти оптимальної конфігурації. Але в кодуванні змінної довжини рядка кількість маршрутів і набір маршрутів вибирається одночасно, таким чином уникаючи будь-якої ітерації за кількістю маршрутів.

Архітектура мережі за традиційним підходом має значну кількість ускладнень через комбінаторний характер проблеми. Так, ГА використовується для подолання цих ускладнень.

Техніка штучного інтелекту генетичних алгоритмів використовується для мінімізації загальних витрат на поїздки при проектуванні мережі. Є така кількість транспортних заявок, що вимагають використання евристики алгоритмів найкоротшого шляху, а не один із стандартних, оптимальних алгоритмів. Це пов'язано, перш за все, з вимогами деяких транспортних програм де найкоротші шляхи потрібно швидко визначити, тому що потрібна негайна реакція або тому, що повинні бути неодноразово перераховані найкоротші шляхи. З цієї причини існує низка евристичних підходів, що виступають за зменшення часу обчислення найкоротшого шляху [26].

Автори [27] досліджують відносно новий підхід до оцінки ризиків транспортування небезпечних матеріалів (НМ) шляхом інтеграції ГС та ГА. Набір критеріїв оцінки, які використовуються для маршрутизації транспортних засобів НМ визначається та оцінюється. Розглянуті критерії пов'язані з витратами і що більш важливо, з безпекою. Для кількісної оцінки факторів використовуються ГС кожного перевезення в мережі, що сприяє критеріям оцінки можливого маршруту, тоді як ГА застосовується для ефективного визначення значення різних факторів в ієрархічній формі, що дозволяє обчислювати відносні загальні витрати на альтернативні маршрути. Тому кожен маршрут може бути кількісно визначеним узагальненою функцією витрат, з якої визначається придатність маршруту для перевезення НМ.

Перевагами пошуку оптимальних маршрутів є зменшення витрат палива та вартості праці, що стає можливим внаслідок оптимального проектування характеристик маршрутів ТЗ. Крім того, оптимальна архітектура може зменшити витрати на технічне обслуговування автомобіля та покращити умови дорожнього руху в міських районах.

Оптимальні маршрути розробляються відповідно до інтуїтивних методологій та досвіду на місцях. Однак все більша увага приділяється інноваційним підходам, таким як ті, що здатні імітувати складні системи збору. Для аналізу складності, використовуються додатки для оперативних досліджень. Вони типово засновані на впровадженні евристичних процедур, що дозволяють отримати високу якість рішення поставленої задачі.

Генетичний алгоритм можна розуміти, як алгоритм пошуку, мотивований принципами природної генетики, обраний для вирішення проектних характеристик транзитних маршрутів завдяки простоті, надійності та здатності обробляти великі, багатоцільові та складні задачі. ГА забезпечують ефективне представлення проблеми, а аспект кодування за своєю суттю відповідає за обмеження / граничні умови та доцільність прийняття змінних [28].

Основним недоліком моделі на базі ГА є затратна оцінка придатності в кожному поколінні для кожної одиниці і для проблеми проектування мережі комбінованих маршрутів. Однак, кожна з оцінок придатності для кожної особи в поколінні не залежить від інших осіб. Ця особливість моделі ГА може бути використана в паралельному обчислювальному середовищі для зменшення часу обчислювання [29].

Поетапна процедура представлення структури, процес ініціалізації популяції, відбору, та поточних змін в ГА пояснив [30], як визначення багатоцільової мети проблематики маршруту. Позиції оптимального розподілу автобусів із традиційним підходом мають значні труднощі через комбінаторний характер проблеми та складний характер моделі вибору маршруту.

Отже, генетичні алгоритми ГА пропонуються як обчислювальний інструмент через їх здатність обробляти великі і складні задачі. Стаття автора [31] на тему: «Генетичний алгоритм модель планування транзитної мережі », пропонує роботу на двох рівнях. Перший рівень – це мінімальна частота автобусів, необхідних на кожному маршруті, з гарантією доцільності навантаження, визначається з урахуванням кожного маршруту індивідуально. Другий рівень – це розмір парку першого рівня, приймається за верхній розмір пропускної смуги, та парк знову зводиться до мінімуму, враховуючи всі маршрути разом і за допомогою ГА.

Автор [32] запропонував структуру моделювання даних, що дозволяє легко моделювати асоціацію розподілених систем ГА. Це дає змогу вирішити проблему планування та перепланування і застосовується до встановленого маршруту (транспортна система поїзд / метро / автобус).

У роботі [33], автор вивчав конкретні випадки. Це була оцінка нормального, аварійного та оптимального шляхів для твердих відходів. Стаття зосереджена на виявленні оптимальних шляхів від збірних пунктів до місць захоронення, за алгоритмом найкоротшого маршруту, з урахуванням проблем транспортування. Пояснена авторами проблема транспортування мала на меті мінімізацію транспортних витрат від кожного пункту передачі до місця захоронення.

### ***1.2.5 Обмеження класичних методів***

Деякі дослідники використовували для оптимізації ГІС-інструменти, еволюційні алгоритми, такі як ГА, ОКМ, штучна нейронна мережа (ШНМ) та Fuzzylogic. Та не значна клькысть інтегрованих еволюційні алгоритми з ГІС мають гібридний підхід. Більшість авторів використовували ГІС ArcView з накладеним аналізом. У гібридному підході пріоритет може бути встановленим за допомогою будь-якого з еволюційних алгоритмів.

Для моделювання маршруту збору, більшість авторів розглядали цю проблему з точки зору постачальника, звідки вже формується проблематика

транспортування. В не значній мірі використовувалася концепція проблеми маршруту транспортних засобів, яка є частиною саме транспортної системи.

У питаннях маршрутизації транспортних засобів є два категорії, а саме прості проблеми зі збором та доставкою, та забір і доставка з питанням урахування часового вікна.

Системи поводження з твердими відходами застосовується у більшості міст світу. В них переважають звалища, компостування та використання спалювальних установок, але не переробка. Це пов'язано з низькою економічною вартістю звалищ та відносною простотою їх експлуатації. Однак, серед усіх сміттєзвалищ є такі звалища, що потребують інтенсивнішого розширення займаної земельної площі. Цей пов'язано зі щорічним збільшенням виробництва відходів. З іншого боку, земля – це ресурс, доступність якого зменшується в умовах міст.

Дійсно, міська земля є обмеженим ресурсом, а також є хорошим ринком зі зростаючою вартістю. Таким чином, існує серйозна проблема суперечливої поведінки пропозиції і попиту на землю в містах. Тому наша робота має враховувати сучасні вимоги до ефективного використання площі звалищ. Також потрібно приділити увагу часовим інтервалам у питаннях збору та маршрутизації транспортних засобів ТПВ.

### **1.3 Висновки до розділу 1**

Задля досягнення найкращих результатів при розробці майбутньої системи, необхідно провести аналіз існуючих рішень. У сфері поводження з твердими відходами ці рішення залежні від різних видів сміття, а також від способів їх утилізації. Тому в цьому розділі було узагальнено класифікацію твердих відходів, а також досліджено усі найпоширеніші методи утилізації з урахуванням економічної та територіальної складових. На отриманих узагальнених даних буде базуватися інформаційне забезпечення АС ЗТ ТПВ.

Усі проаналізовані системи поводження з твердими відходами мають спільну складову, що складається з розробки оптимальної стратегії

планування, яка описується цільовою функцією (1.1), та методів побудови маршрутів транспортних засобів. Більшість рішень також включають в себе такий інструмент, як ГІС, яка дозволяє легко проводити створення та редагування картографічних даних, що в свою чергу потрібні для мікро- та макромаршрутизації.

Транспортна проблема є ключовою в даній сфері. При аналізі наукових робіт та розробок можна побачити, що дослідники часто використовують концепцію еволюційних алгоритмів, як одних з найбільш революційних в поєднанні з сучасними обчислювальними машинами, адже вони дозволяють паралелізацію своїх обчислень.

Більшість науковців та дослідників часто зводять транспортні системи поводження з твердими відходами та інші транспортні системи у сфері комунальних послуг, наприклад, громадський транспорт. Але дане ототожнення призводить до деяких проблем. Найголовнішим негативним чинником є сама природа транспортованих об'єктів, тобто сміття. Воно часто негативно впливає на навколишнє середовище та громадськість на всьому шляху свого переміщення. Тому при розробці майбутньої АС ЗТ ТПВ постає додаткове обмеження – мінімізація взаємодії з іншими муніципальними сферами послуг та потоками міста.

Викладене вище, підтверджує думку, що система з часовим вікном є одним з найефективніших засобів у муніципальному середовищі збору відходів і оптимізації маршруту транспортування. Основна ідея полягає в аналізі транспортних потоків міста та виведенні оптимальних часових рамок для кожного з маршрутів, при цьому забезпечуючи покриття усієї мережі місць збору ТПВ (звалищ, контейнерів, баків) шляхами переміщення сміттєзбирального транспорту. Це дозволяє не тільки отримати найбільш ефективне використання транспортних засобів, а й знизити до мінімуму негативний вплив ТПВ на навколишнє середовище та громадян.

## РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ВІДХОДАМИ

### 2.1 Розрахунок об'ємів накопичення твердих відходів

Об'єми накопичення твердих побутових відходів, в тому числі у малих містах, розраховуються, виходячи з кількісної оцінки населення міста, або району, в залежності від варіанту реалізації системи ПТПВ.

Середнє значення твердих побутових відходів на душу населення за день можна обчислити різними способами. Перший базується на показнику внутрішнього валового продукту (ВВП), а другий базується на даних спостереження. При цьому, потрібно враховувати, що для міст України добова кількість утворених ТПВ на душу населення становить –  $0,68 \div 0,83$  кг.

#### 2.1.1 Методи, що використовуються для оцінки кількості відходів

Кількість відходів, як правило, оцінюється на основі даних, зібраних шляхом проведення дослідження характеристик відходів, з використанням попередніх даних про утворення відходів або комбінації двох підходів.

Методами, які зазвичай використовуються для оцінки кількості ТПВ, є аналіз підрахунку навантажень, аналіз маси та обсягу; аналіз балансу маси матеріалів.

У цьому контексті буде корисним пам'ятати, що більшість результатів вимірювань кількості відходів не співпадає з прогнозованими значеннями. Наприклад, при прогнозуванні швидкості утворення побутових відходів вимірjana норма рідко відображає справжню норму, оскільки існують незрозумілі фактори (наприклад, зберігання на місці та використання альтернативних місць захоронення), що ускладнює оцінку реальних об'ємів.

#### *Аналіз розрахунку навантаження*

У цьому методі кількість конкретного навантаження та відповідні характеристики відходів (види відходів, розрахунковий обсяг) зазначаються протягом певного періоду часу. Якщо доступні вага, дані про вагу також

фіксуються. Коефіцієнти генерації одиниць визначаються з використанням польових даних та, за необхідності, опублікованих даних.

### ***Ваго-об'ємний аналіз***

Використання детальних вагових об'ємних даних, отриманих шляхом зважування та вимірювання кожного вантажу, безумовно, надасть достовірнішу інформацію про питому вагу різних форм твердих відходів у певному місці.

#### **Аналіз балансу маси матеріалів**

Єдиний спосіб визначити утворення та переміщення твердих відходів з будь-яким ступенем надійності – це провести детальний аналіз балансу маси матеріалів для кожного джерела вироблення, такого як індивідуальне житло чи комерційна, або промислова діяльність. У деяких випадках для отримання даних, необхідних для перевірки відповідності державним програмам утилізації, буде необхідний метод аналізу залишків матеріалів.

Серед вищезазначених методів для кількісної оцінки ТПВ використовується аналіз вагових об'ємів. У досліджуваному районі, щоб отримати кількість зібраного сміття, проводять детальний контроль протягом 6 місяців. Кількісна оцінка сміття базується на прямому зважуванні зібраного сміття за допомогою зважувального обладнання потужністю 1000 кг, для зважування сміттєвих контейнерів.

### **2.1.2 Статистичний аналіз виміряних величин відходів**

При розробці систем ПТПВ часто доводиться визначати саме статистичні характеристики спостережуваних показників утворення твердих побутових відходів. Наприклад, для багатьох підприємств було б недоцільним забезпечити ємність контейнерів для переробки найбільшої мислимої кількості твердих відходів, що утворюються за певний день – такої ж ємності, що і сміттєві баки в суспільних точках збору ТВП.

Забезпечувана місткість контейнера повинна базуватися на статистичному аналізі показників вироблення та характеристик системи збору.

Першим кроком при оцінці статистичних характеристик серії спостережень є визначення того, спостерігається нормальне розподілення, чи присутні певні «перекоси». Характер розподілу можна визначити найбільш легко, побудувавши дані на арифметичній та логарифмічній ймовірностях. Як тільки природа розподілу відома, статистичні показники, які використовуються для опису розподілу, включають: середнє значення, режим, і середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіацій, коефіцієнт перекосу та коефіцієнт ергономічності.

Коефіцієнт множення для знаходження теоретичної кількості отримують діленням загальної кількості сміття на кількість населення. При цьому, в систему потрібно додати 20% «плаваючого населення», щоб отримати ближчу до дійсної оцінку загальної чисельності населення.

Проводять кореляційний аналіз між фактичним утвореним сміттям та заявленою кількістю мешканців, що реалізується застосуванням коефіцієнта кореляції Пірсона, який становить 0,89 [34]. Це означає, що існує кореляція між фактичним утворенням сміття та кількістю населення.

Ефективна система поводження з твердими побутовими відходами повинна відповідати наступним вимогам:

- відповідати правилам поводження з міськими твердими побутовими відходами (збір та утилізація);
- передбачати регламент навчання поводженню з ТПВ для всіх вікових категорій населення;
- ефективна система поводження з ТПВ повинна бути спрямована на мінімізацію ручного поводження та 100% збору та транспортування твердих відходів, що більш актуально для малих населених пунктів;
- повинно здійснюватись заохочування до сегрегації відходів, тобто відходи, що підлягають переробці, повинні бути ефективно використані;

- система повинна бути спрямована на мінімізацію, та в кінцевому підсумку на усунення шкідливих факторів, які впливають на навколишнє середовище і здоров'я мешканців;
- повинно заохочуватись державно-приватне партнерство для економічної стійкості;
- має розвиватись екологічність та чистота міста, з тенденцією до нульового рівня засміченості.

## **2.2 Прогнозування обсягів утворення твердих відходів**

Прогнозування обсягів утворення твердих побутових відходів та оптимальне розміщення їх у відповідних контейнерах, із легкодоступними дискретними розмірами, може призвести до більш раціональної та ефективної архітектури систем збору, транспортування та утилізації.

Аналіз був проведений з використанням триангульованої нерегулярної мережі (ТНМ) для оцінки відходів, розподілу по бункерах та визначення частоти вивезення, беручи до уваги наявний об'єм сміття, тип та можливості розміщення. Це основні параметри системи збору відходів та визначають вимоги до системи транспортування відходів від сміттєвих контейнерів до місця утилізації. Критерії прив'язки ТНМ до конкретного пункту збору, на основі найкоротшої відстані та низхідного схилу.

Динамічне моделювання об'ємів утворення ТПВ також можливе в середовищі АС ЗТ ТПВ. Модель розроблена для кількісної оцінки взаємозв'язку між об'ємами утворення та утилізації.

Логістика ТПВ може контролюватися за допомогою моделей ГІС, дотримуючись мети збільшення дохідної бази місцевих органів та ефективного надання послуг шляхом прийняття відповідних механізмів планування та управління [35].

При оцінці та розподілу твердих побутових відходів у смітників, за допомогою ГІС можна використовувати концепцію ТНМ. Виходячи з цього, зона управління розподілом відходів до певного смітника, як правило,

розташована таким чином, щоб маршрут пролягав у напрямку пунктів збору для зручності транспортування.

Представлені обчислювальні результати розташування сміттєзвалища, типу, розміру та частоти вивезення для типового міського району з відомою щільністю населення, розподілом доходів за групами, мережею доріг та топологією відповідної землі для утилізації відходів із використанням ГІС та методів моделювання. Заснований на прогнозах зростання чисельності населення, розростання міст та утворення відходів, метод може дозволити особам, що приймають рішення, визначати масштаб проблеми дефіциту землі в майбутньому.

Процедура може надати інформацію для керівництва розробкою та графіком програми зменшення та утилізації відходів, і потенційно може призвести до кращого використання земельних ресурсів [36].

ГІС використовується для розроблення індексу обізнаності та участі в освіті з питань переробки (ІОПП) для районів Нью-Йорка [37]. ГІС швидко стає звичним інструментом охорони здоров'я, і існує безліч прикладів використання ГІС для картографування хвороб. Автори [38] представили, як покращити роботу інспекторів охорони здоров'я (ІОЗ) і ефективність використання ГІС оптимальної технології маршрутизації. Мета проекту – оцінити значення оптимальної технології маршрутизації, збільшити кількість перевірок, проведених ІОЗ, зменшити час, витрачений на керування ІОЗ, та розробити процес використання оптимальної технології маршрутизації.

Відповідно до муніципальної ГІС, автор [39] представив досвід Абу-Дабі, зазначивши, що географічні інформаційні системи є дуже важливою частиною щоденних операцій у багатьох містах. Важливо ефективно використовувати та підтримувати дані. Успіх муніципальної ГІС залежить не тільки від виділених коштів для фінансування, але й від відповідних прийнятих рішень. Просторові дані повинні бути краще керованими і в той же час більш доступними для більших груп користувачів.

Веб-програми повинні підтримувати робочий процес організації та впорядковувати всі послуги, що пропонуються громадянам. Автор [40] представив аналіз попиту на воду на основі ГІС для комунального застосування. Потреба у воді вказує як поточне, так і очікуване споживання води в будь-якій даній місцевості протягом певного періоду часу. Через різні вимоги та просторово чіткі характеристики окремих користувачів, потреба у воді повинна визначатися окремо для окремих груп користувачів. Кілька споживачів води можна диференціювати залежно від попиту на питну воду, промислових / комерційних процесів, а також зрошення. Переваги використання ГІС для цього аналізу полягають у тому, що він допомагає первинній ідентифікації поставок, візуальній перехресній перевірці зі статистичними даними, і забезпечує платформу для представлення аналізу міським чиновникам для огляду. Є підстави сподіватись, що представлене тут дослідження створює основу, на якій майбутні дослідження можуть вивчити фінансові та екологічні наслідки стратегічної політики збереження води. Автор [41] представив досвід роботи в муніципальних ГІС.

Муніципальна ГІС на сьогоднішній день є одним з найбільш важливих напрямків використання ГІС. Майже всі міста повинні будуть провести подібні навчання протягом наступних кількох років через серйозні муніципальні фінансові складнощі, хоча, як правило, це передбачається кожні п'ять років. Масштаб фінансової вигоди від цього таких рішень є суттєвим. Після успішного завершення початкового етапу дослідження ГІС результати були представлені перед представниками комісії, яка дала вказівку муніципальній ГІС розпочати в усіх містах. У роботі [42] представлено план застосування добрив на основі ГІС.

Розроблено основу для розробки плану внесення добрив на основі ГІС, і представлено конкретний план для підводного водозбору в басейні Мюррей-Дарлінг, Південно-Східний Квінсленд, Австралія. Наявність даних, паралельність та точність мають вирішальне значення при розробці обґрунтованого плану. Подальше вдосконалення плану має зосередитись на

отриманні останніх, достовірних та релевантних даних, підвищенні точності картографування розподілу врожаю та добрив та вдосконаленні наявної інформації як про потреби в поживних речовинах, так і про вміст поживних речовин у добривах.

Розробка цього плану додала нового виміру в управління добривами шляхом:

- надання посібника із внесення добрив для усього підвидбору, одночасно прописуючи норми внесення добрив для окремих господарств;
- призначення внесення добрив на основі поєднання соціальних, економічних, екологічних та сільськогосподарських факторів;
- використання даних про хімічний склад ґрунту як основу для розрахунку норми внесення добрив та включення екологічної відповідності остаточним рекомендаціям щодо подальших дій;
- рекомендуючи практики зменшення ризику, пов'язаного із внесенням добрив в районах з меншою придатністю;
- надання необхідної інформації для конкретного місця внесення азотистих добрив на основі кількості амонійного азоту, доданого в ґрунт.

Автор [43] розробив модель розвитку шосе з використанням ГІС, ГА та візуалізації. Представлена модель розвитку магістралі, яка може покращити можливості прийняття рішень при виборі переважної альтернативи магістралі. Це також може покращити суспільну та політичну прийнятність завдяки ефективній візуалізації майбутніх поліпшень транспорту. ГІС служить основним джерелом необхідних даних та карт, а ГА використовуються для оптимізації вирівнювання маршрутів.

Різні операції візуалізації, описані в дослідженні, виконуються для ефективної демонстрації майбутніх умов. Служби автомобільних доріг часто виявляють, що альтернатива автомагістралей з мінімальною вартістю не приймається громадськістю, і підтримка адміністрації має вирішальне значення для успіху проекту. Це пов'язано з нематеріальними факторами,

наслідки яких не враховуються при мінімізації витрат. Вплив цих параметрів може бути очевидним лише завдяки детальному проектуванню та візуалізації. Відгуки, отримані від детального проектування та візуалізації майбутніх удосконалень, можуть використовуватися як обмеження при оптимізації, якщо це необхідно. Це також може сприяти більш широкій участі осіб, які приймають рішення, на ранніх етапах та допомогти передбачити або уникнути проблем.

Впровадження запропонованого підходу до візуалізації у прикладі дослідження забезпечило значну економію часу та витрат і покращило процес затвердження проекту. Для пошуку оптимальних маршрутів автобусного сполучення найкраще використовувати ГІС, і багато авторів [44; 45; 46] розробили методологію на основі Інтернету для обслуговування транспортних служб у середовищі ГІС. У цій роботі обговорюється Інтернет-ГІС-Т (ГІС-транзит) для оптимізації діяльності пасажирів автобусів. Варіанти проектування та стратегії розвитку методології детально описані для того, щоб надати розробникам перевезень уявлення про компоненти, припущення та проблеми Інтернет-ГІС-Т.

З одного боку, методологія забезпечує пасажирів автобусів поїздками, а з іншого боку, це допомагає транспортним службам динамічно планувати автобусні маршрути та ефективно пропонувати автобусні послуги клієнтам. Хоча мінімальна кількість перевезень між пунктами обговорюється як один із критеріїв у методології, можна налаштувати модуль маршрутизації відповідно до інших бажаних критеріїв, такі як час подорожі. Загалом, структура методології дозволяє налаштувати відповідно до вимог інших служб автобусних перевезень та інших застосувань, таких як маршрутизація шкільних автобусів.

Методологія, представлена в цій роботі, забезпечує автобусні послуги, використовуючи різні критерії. Бажаний приклад, який був представлений для мінімальної кількості пересадок між автобусами. Розроблено прототип версії методології, який називається iBus. Прототип не використовує графіки

транспортного засобу при обчисленнях. Водієві автобуса, можливо, доведеться довго чекати в точці пересадки, тоді як інші альтернативні послідовності маршрутів можуть дати коротший час у дорозі (навіть при більшій кількості пересадок). Включаючи розклади транспортних засобів у модуль маршрутизації методології, можна розрахувати більш практичні послідовності маршрутів.

Топологія автобусних маршрутів суворо враховує, що автобусні маршрути, що є активними, мають спільні автобусні зупинки. Однак водій часто робить пересадку пасажирів на сусідній зупинці, яка не знаходиться на тій самій вулиці. Цей тип передачі не розглядається в поточному прототипі, оскільки два автобусні маршрути не суміжні (з'єднані) на графіку. Оскільки такий тип трансферу може значно скоротити час у дорозі, при обчисленні оптимального маршруту слід використовувати буфер біля точок трансферу.

Алгоритм Дейкстри може призвести до низької продуктивності, коли протяжність автобусних маршрутів стає досить значною. У цьому випадку можуть бути розглянуті альтернативні підходи, такі як евристичні методи. Продуктивність картографування можна також покращити, використовуючи простіший користувацький інтерфейс на базі клієнта, який базується на HTML та .NET, особливо коли клієнтська система не оновлюється або пропускна здатність обмежена.

Автори [47] представили тематичне дослідження для вдосконалення транзитних послуг із використанням ГІС. Проблема оптимізації сформульована як проблема, що походить від багатьох напрямків, з метою мінімізації відстані та часу подорожі користувачів. Обмеження, що враховуються, це характеристики для перехрестя, типу дороги та швидкості. ГІС з'явився як кращий інструмент для дуже точного та швидкого вирішення таких складних проблем.

Також, автори [48] розробили алгоритм із використанням модельованого аналізу для пошуку в базі даних ГІС відповідних географічних місць для захоронення небезпечних твердих відходів. Результати моделювання

порівнювали із вичерпним методом, який послідовно здійснює пошук шарів карти ГІС по одній растровій комірці за раз. Автори розробили бальну модель для встановлення місця захоронення небезпечних відходів.

Розглянувши усі роботи, які наведено вище, можна прийняти рішення, що використання стандартних підходів прогнозування обсягів утворення твердих відходів є достатнім для цієї задачі. Отже, необхідно більш детально розглянути даний алгоритм прогнозування.

Основою цього процесу є збір статистичних даних та розробка географічної бази даних (Рисунок 2.1). Для цього необхідно:

- зробити класифікацію призначення земельних ділянок, наприклад, житлові приміщення, навчальні заклади, спортивні майданчики тощо;
- заповнити дані про приблизну кількість людей, що проживають на певній ділянці;
- затвердити еталонну кількість сміття, яке генерує 1 громадянин (в даній роботі взято 0.8 кг на день).

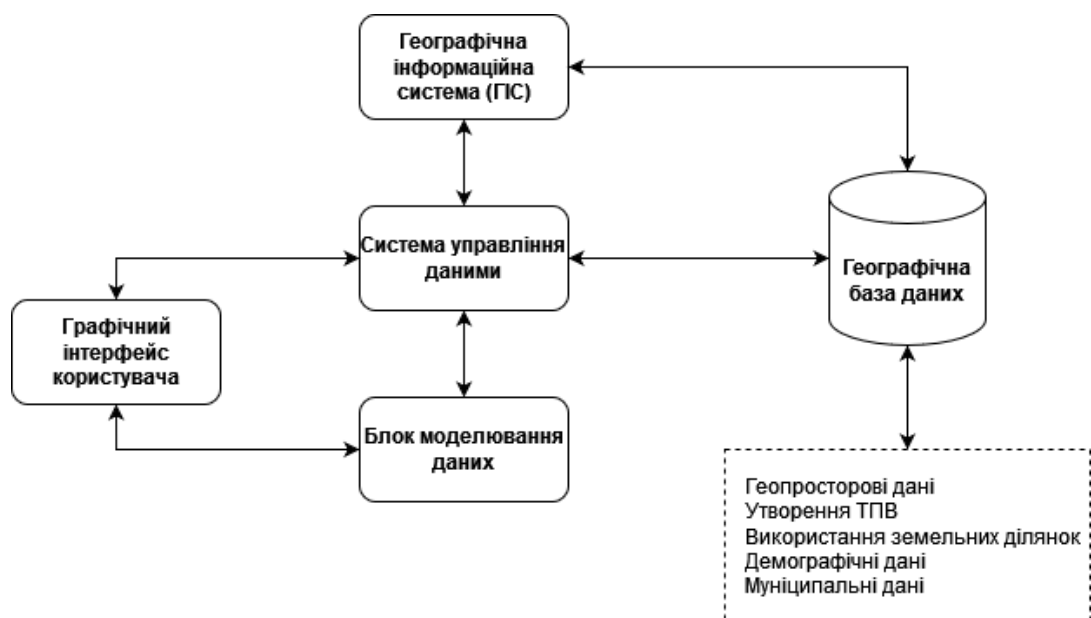


Рисунок 2.1 – Система моніторингу та прогнозування утворення ТПВ

Прогнозування кількості утвореного ТПВ може бути вирішено за допомогою регресивного аналізу, а саме алгоритму лінійних найменших

квадратів [54]. Цей алгоритм є найбільш прийнятним, тому що він не потребує великих обчислювальних потужностей відповідного устаткування, а також може використовувати як початкові дані географічної бази даних, так і дані отримані від зважування отриманої кількості ТПВ при проходженні маршрутів. Приклад отриманих результатів роботи алгоритму наведено на Рисунку 2.2.

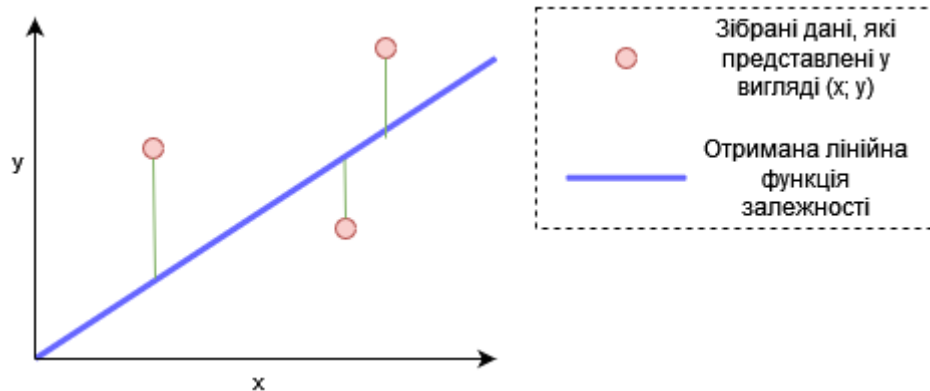


Рисунок 2.2 – Приклад отриманих результатів роботи алгоритму лінійних найменших квадратів

У випадку вирішення задачі прогнозування утворення ТПВ, дані (позначені червоним кольором) можуть бути постійно додані до алгоритму, що призведе до збільшення точності отримуваних результатів. В якості залежності можна обрати наступні показники:  $x$  – це кількість людей, що проживають в певному регіоні, а  $y$  – це кількість ТПВ, що було згенеровано.

### 2.3 Якісна характеристика твердих відходів

До поняття «Якість відходів» включають фізичні та хімічні властивості ТПВ, які розглянуто далі.

#### *Фізичні властивості*

Для будь-якої запропонованої системи управління обов'язковим є вивчення фізичних якостей ТПВ. Вона включає щільність, вміст вологи та склад.

### *Щільність*

Інформація про щільність відходів, тобто маса на одиницю об'єму ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) має важливе значення для архітектури всіх елементів ПТВ. З щільності ТПВ повідомляється, що в різних містах є коливання в межах певного діапазону –  $350\text{-}550 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Відходи високої щільності відображають високу частку біологічно-розкладних органічних речовина і вологи. З іншого боку, відходи низької щільності вказують на високу частку паперу, пластику та інших горючих матеріалів [49].

Значні зміни щільності відбуваються під час переміщення відходів до джерела утилізації належним чином до очищення, обробки, змочування та сушіння (за рахунок атмосферного впливу) та ущільнення у кузові транспортного засобу.

Середня щільність ТПВ для міст становить  $500 \text{ кг}/\text{м}^3$  і середня щільність інертних матеріалів, коли вони потрапляють на сміттєзвалище є близько  $850 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

### *Вологомісткість*

Вміст вологи є критичним фактором при обробці відходів та визначення відповідних методів. Високий вміст вологи призводить до розкладання біорозкладаних фракцій відходів швидше ніж в сухих умовах. Це також робить відходи непридатними для термічного використання відновлення для енергії, оскільки спочатку для виведення вологи потрібно подавати тепло. Діапазон з вологи становить 45 до 50%.

### *Склад*

Склад утвореного ТПВ визначають із використанням методики відбору проб. Кількість відібраних зразків становить 4, по одному в кожній відповідній зоні, і методи відбору проб детально обговорюються, як показано нижче.

### *Вимірювання складу ручним відбором проб*

За планом відбору проб проводиться дослідження складу відходів. Навіть якщо процедура відбору проб проводиться адекватно, це нічого не означає, якщо план не може дати достовірних результатів. По-перше, відходи

повинні бути точно представлені шляхом правильного вибору навантаження, щоб не упереджувати остаточний аналіз. Вміст кузову відповідного транспортного засобу, який потрібно проаналізувати, повинен якомога точніше відображати середнє виробництво відходів у районі міста [50].

Після вибору навантаження повинна бути встановлена методологія отримання зразка, достатньо малого для аналізу, але достатньо великого, щоб статистично репрезентативно представляти ТПВ. Найбільш часто використовуюваною методологією для визначення кількості зразків, необхідних для досягнення статистичної достовірності є методика американського товариства випробувань та матеріалів (АТВМ), стандартний тест для визначення складу необроблених ТПВ. Цей метод надає сценарій для поводження при проведенні дослідження складу сміття, включаючи статистично обґрунтований метод визначення кількості зразків, що бажані для характеристики відходів. Кількість зразків, необхідна для досягнення бажаного рівня точності вимірювання, є функцією розгляданого компонента (компонентів) та бажаного рівня достовірності.

Розрахунки є інтерактивним процесом, починаючи із запропонованого середнього значення вибірки та стандартного відхилення для компонентів відходів. Зазвичай для більшості досліджень достатньо рівня достовірності до 90%. Як груба перша оцінка, сортування та аналіз понад 90 кг у кожній вибірці мало б статистичну перевагу. Питання полягає в тому, скільки зразків необхідно лаборантам, щоб статистично впевнитись в результатах.

Щоб отримати репрезентативні зразки вагою 90 кг, АТВМ рекомендує сегментування та конусування.

Сегментування – це поділ вантажівки відходів на послідовні сегменти після ретельного перемішування вмісту за допомогою фронтального навантажувача. Потім зразки знову конусують і знову сегментуються, поки вони не будуть становити близько 90 кг. Чим більша бажана точність, тим більшою буде кількість проаналізованих зразків.

Наприклад, якщо буде оброблено 50 зразків по 90 кг кожен, то очікувана точність для органічної фракції буде приблизно + 15%. Точність для газетного паперу, алюмінію та чорних металів буде близько + 15%. А точність для гофрованого картону буде близько + 25%. Як і слід було очікувати, чим більші виробу, тим більше їх потрібно для досягнення прийнятної точності.

На початку програми відбору проб важливо вирішити, що слід виміряти, тобто скільки категорій відходів використовувати. Це рішення, звичайно, залежить від того, для чого слід використовувати дані. В одному дослідженні, яке було проведено для оцінки можливості перенаправлення відходів із звалища шляхом попередження та переробки.

*Кількість зразків, що збираються*

Тверді відходи дуже неоднорідні за своєю природою, і їх склад змінюється залежно від місця та часу. Зразки, отримані з одного місця (пункту відбору проб) протягом 24 годин, але в різний час можуть мати абсолютно різні характеристики. Отже, метод, за допомогою якого відбирають зразок та кількість зібраних зразків, є критичним.

При плануванні вибіркового обстеження завжди досягається етап, на якому має бути прийнято якесь рішення щодо розміру вибірки. Це рішення надзвичайно важливо, оскільки надмірно велика кількість зразків призводить до втрати ресурсів, тоді як невелика кількість зразків зменшує точність та корисність результатів.

Метод визначення кількості зразків за допомогою статистичної техніки описаний нижче.

Дані фізичного аналізу твердих побутових відходів представлені у відсотках. Оскільки відсоток однієї складової сильно відрізняється від іншої, дані слідують за мультиноміальним розподілом. Таким чином, дані піддаються нормалізації за допомогою функції  $\arcsin$ .

$$Y = 2 \arcsin X \quad (2.1)$$

де,  $X$  – початкове відсоткове значення компонента, виражене у десяткових числах.  $Y$  – перетворене значення  $X$ .

Для визначення кількості зразків, необхідних для аналізу суміші, використовується наступна формула.

$$NS = (Zt / \delta)^2, \quad (2.2)$$

де  $NS$  – номер зразків;  $Zt$  – стандартне нормальне відхилення для бажаного рівня достовірності (зазвичай 95%);  $S$  – розрахункове середньоквадратичне відхилення (трансформована основа);  $\delta$  – чутливість (трансформована основа).

Значення для  $A$  встановлюється відповідно до бажаного рівня точності. Вибір знака для  $X + A$  є позитивним, якщо  $X < 0,5$ . Для будь-якої складової відходів, що відповідає верхньому та нижньому значенням очікуваного діапазону, значення  $\delta$ -нижчих та  $\delta$ -верхніх розраховуються, використовуючи наведене вище рівняння. Згодом визначаються відповідні розміри (кількість) зразків  $NS$ -нижнє та  $NS$ -верхнє. Кількість зразків, які потрібно відібрати для різних складових, представлена в Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Рекомендована кількість відбору зразків для аналізу ТПВ [51]

Категорія	Очікуваний діапазон (%)	SD	$\Delta$	$\delta$		NS (кількість зразків)	
				Нижнє	Верхнє	NS-нижнє	NS-верхнє
Папір	3-6	0,0742	0,01	0,0545	0,0405	7	13
Гума	0,3-0,8	0,0298	0,001	0,017	0,0109	12	29
Скло	0,3-0,9	0,0285	0,001	0,017	0,01	11	31
Метали	0,3-0,8	0,0277	0,001	0,017	0,0109	10	25
Органіка	30-60	0,1766	0,1	0,199	0,166	3	4
Інше	46-60	0,0731	0,1	0,184	0,166	1	2

За допомогою цього методу також можна визначити кількість зразків для будь-якого хімічного параметра.

З Таблиці 2.1 видно, що кількість відібраних зразків у будь-якому випадку не перевищує значення 31. Тобто для отримання повної картини складу ТПВ потрібно зібрати 31 зразок ТПВ вагою приблизно 90 кг. Хоча велика кількість зразків збільшить точність, необхідна кількість зразків для підвищення точності зростає з дуже великою непропорційною швидкістю, що робить аналіз не лише важким завданням, але й неекономічним. Основною метою має бути отримання вибірки, яка є компромісом між економією та точністю.

#### *Збір зразків твердих побутових відходів*

Місця для збору зразків ТПВ обрані таким чином, щоб охоплювати велику значну кількість населення. Залежно від типу району, такого як житлова, комерційна та промислова, ринок тощо, пункти відбору проб розподіляються рівномірно по всій досліджуваній території.

Приблизно 10 кг ТПВ збирається з кожного з десяти пунктів ззовні та всередині осередку накопичення твердих побутових відходів. Загальну кількість зібраних таким чином відходів (90 кг) ретельно перемішують і згодом зменшують методом сегментації до отримання зразків такого розміру, які можна обробляти в лабораторії. Отриманий таким чином зразок піддають фізичному аналізу, визначенню вологості і після цього зразок обробляють для подальшого хімічного аналізу.

Зразки, відібрані для фізико-хімічного аналізу (10-12 кг), упаковують у поліетиленові пакети. Кожен поліетиленовий пакет упаковується в інший поліетиленовий пакет, щоб забезпечити безпечне транспортування, запечатується та відправляється в лабораторію для аналізу. Результати аналізу наведено в Таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Склад ТПВ за методом АТВМ [51]

№ з/п	Опис компонента	Склад, %
1	Овочеві та фруктові відходи	29,4
2	Харчові відходи	24,3

## Продовження Таблиці 2.2

3	Пластикові	1,0
4	Листя	8,1
5	Мул	30,4
6	Трава	1,5
7	Ґрунт	0,9
8	Рибні відходи	1,3
9	Інші	3,1

*Хімічні властивості*

Знання хімічних характеристик має важливе значення при виборі та проектуванні об'єктів переробки та захоронення відходів. Хімічний склад ТПВ, що утворюється з МК, наведено в Таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Хімічні характеристики ТПВ (середні значення) [51]

№ з/п	Характеристика	Одиниці	Середні значення
1	Волога	% маси	50,7
2	Окремо ТВП	% маси	17,3
3	Зола	% маси	30,7
4	Вуглець	% маси	1,3
5	Сульфат	мг / кг	3000
6	Фосфат	мг / кг	1457
7	Хлорид	мг / кг	1499
8	TKN	мг / кг	1105
9	Натрій	мг / кг	1302
10	Калій	мг / кг	3315
11	Кальцій	мг / кг	5600

## 2.4 Методи управління щодо зменшення ресурсоемності поводження з твердими відходами

Методологія зниження енергетичних, фінансових та організаційних затрат є досить складною системою, яка включає ефективну реалізацію ряду структурних елементів, які розглянуто у даній частині роботи.

Повсякденне управління твердими відходами – складне та затратне заняття. Функції утилізації потрібно шукати в майбутньому, загальною метою є мінімізація шкідливих наслідків для навколишнього середовища, спричинених невідповідною утилізацією твердих відходів. Це першорядне значення для здоров'я, охорони навколишнього середовища, управління природними ресурсами та сталого розвитку. Розвинені країни застосували складні практики управління. Імпорт таких продуктів у країни з низьким рівнем доходу є економічно неефективним, технічно вигідним та соціально прийнятним. Однак стратегії управління, які мають бути прийняті для країн з низьким рівнем доходу, повинні забезпечувати максимальну безпеку навколишнього середовища.

Стратегії управління повинні складатися таким чином, щоб виконувати наступні функції:

- охорона навколишнього середовища та здоров'я населення;
- покращення стану навколишнього середовища;
- підтримка ефективності та продуктивності економіки;
- формування зайнятості та доходів населення;

Тверді відходи можуть забруднювати всі життєво важливі компоненти середовища проживання (тобто повітря, землю та воду).

Нижче перелічено деякі небезпеки, спричинені твердими відходами:

- забруднення повітря від диму шляхом спалення відходів та небезпеки для здоров'я людей через вдихання пилу та диму;
- небезпека для здоров'я працівників, що займаються відходами через безпосередній контакт з відходами;

- можливість поширення інфекційних хвороб;
- неестетичний вигляд;
- якість поверхневих та ґрунтових вод у зоні скидання з кожним днем погіршується.

### ***Функціональні елементи ТПВ***

Для ефективної реалізації ТПВ наступним функціональним елементам слід надати першочергове значення:

- скорочення об'ємів надходження;
- зберігання на місці;
- збір, передача та транспортування;
- прийом та обробка;
- утилізація.

Вищезазначені функціональні елементи представлені на Рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Компоненти підсистеми поводження з твердими побутовими відходами АС ЗТ ТПВ

### *Зберігання*

Зберігання відходів до остаточної утилізації здійснюється на наступних рівнях:

- зберігання на місці утворення;
- зберігання на перевантажувальних пунктах.

Тверді відходи часто зберігаються на місці утворення, доки їх не збирають відповідні співробітники або не викидають у відкритий простір, чи сміттєвий контейнер.

### *Зберігання на перевантажувальній станції*

Перевантажувальні станції створені з економічних причин у містах, які мають велику відстань до місць остаточного захоронення. Менші машини для збору привозять відходи, зібрані у джерелі їх утворення, або з міських сміттєзвалищ, а більші транспортні засоби доставляють їх до пунктів остаточного захоронення. Перевантажувальні станції також використовуються як пункти збору, сегрегації та зберігання вторинної сировини.

### ***Методи збору ТПВ***

#### *Бордюрний збір*

Цей метод застосовується на ширших вулицях, де автомобілі можуть зручно проїжджати. Власники будинків залишають контейнер для сміття на краю тротуару. Співробітників збирає відходи з бордюру або спорожнює контейнер у транспортний засіб, коли проходить вулицею у встановлений час доби (вікно часу).

#### *Блоковий збір*

Транспортний засіб прибуває у визначене місце у встановлений день та час, щоб забрати відходи з домогосподарств. Домогосподарства привозять свої контейнери для сміття і спорожняють прямо в транспортний засіб.

#### *Смітники*

Сміттєві баки розміщуються у зручному місці, куди член громади має можливість прийти і залишити відходи.

### *Маршрути збору*

Маршрути збору повинні бути розроблені виходячи з обладнання та вимог до робочої сили, щоб обидва колектори та обладнання використовувалося ефективно. Загалом, схема збору шляхів передбачає низку випробувань. Не існує універсального набору правил, який можна застосовувати до всіх ситуацій. Таким чином, маршрутизація транспортних засобів залишається сьогодні евристичним процесом.

Деякі рекомендації, які слід враховувати при складанні маршрутів, наведено нижче:

- необхідно визначити існуючу методику та правила, що стосуються таких предметів, як пункт збору та періодичність збору;
- існуючі характеристики системи, такі як склад бригади та типи транспортних засобів, повинні бути узгоджені;
- там, де це можливо, маршрути прокладаються так, щоб вони починалися і закінчувалися поблизу районних вулиць, використовуючи топографічні та фізичні бар'єри як межі маршрутів;
- у горбистій місцевості маршрути повинні починатися вгорі і рухатися вниз під час завантаження транспортного засобу;
- маршрути слід прокладати так, щоб останній контейнер, що збирається на маршруті, знаходився найближче до місця зберігання;
- відходи, що утворюються в місцях із заторами, повинні збиратися якомога раніше на початку дня;
- джерела, в яких утворюється надзвичайно велика кількість відходів, слід збирати / обслуговувати протягом першої частини дня;
- розсосереджені пункти прийому (де утворюються невеликі кількості твердих побутових відходів), які отримують однакову частоту збору, повинні, якщо це можливо, обслуговуватися протягом однієї поїздки або в той же день.

### *Варіанти утилізації*

Кінцевим пунктом призначення твердих побутових відходів є утилізація. Більшість твердих побутових відходів в містах та селищах засипаються та скидаються. У багатьох країнах, що розвиваються, доступний широкий спектр варіантів утилізації, і деякі з них перелічені нижче:

- неінженерна утилізація;
- санітарне заповнення земель;
- компостування;
- спалення;
- пелетизація.

### *Неінженерна утилізація*

Це найпоширеніший метод утилізації в країнах з низьким рівнем доходу, які не мають контролю або мають лише незначний або помірний контроль. Вони як правило, залишаються на більш тривалий час, і деградація навколишнього середовища може бути високою, включаючи розмноження комах та гризунів, забруднення повітря і води, деградацію земель.

### *Санітарне заповнення земель*

Санітарне сміттєзвалище – це повністю розроблений варіант утилізації, який дозволяє уникнути шкідливих наслідків неконтрольованих звалищ шляхом розповсюдження, ущільнення та покриття пустирів, ретельно спроектованих перед використанням. Завдяки правильному вибору місця, підготовці, управлінню та експлуатації можна мінімізувати наслідки витоків та утворення газу як сьогодні, так і в майбутньому. Цей варіант підходить, коли земля доступна за доступною ціною. Доступні людські та технічні ресурси для роботи і управління сайтом.

### *Компостування*

Компостування – це біологічний процес розкладання, що здійснюється в контрольованих умовах вентиляції, температури, вологи та організмів у самих відходах, що перетворює їх у гумусоподібний матеріал, діючи на органічну частину твердих відходів. Якщо проводити ефективно, фінал

стабільний, не має запаху, не приваблює мух і є хорошим відновлювачем для ґрунту.

Компостування розглядається тоді, коли біологічно-розкладна речовина доступна у значній частині в масі відходів, а компост використовується або продається на добрива. Централізована установка компостування для сектору може бути реалізована лише за наявності відповідної кваліфікованої робочої сили та обладнання, отже, на рівні домогосподарств та практика компостування на малому рівні повинна бути ефективними, що потребує обізнаності персоналу.

#### *Спалення*

Спалення – це контрольоване спалювання відходів у спеціальній споруді. Процес стерилізує та стабілізує відходи. Для більшості відходів це зменшить їх обсяг менше ніж на чверть від початкового значення ваги. Більша частина горючого матеріалу перетворюється на діоксид вуглецю та золу. Широка зразкова програма [52] показує, що більшість відходів слабкорозвинених країнах мають теплотворну здатність лише 3350 дж/г, у порівнянні з 9200 дж/г у країнах з високим рівнем доходу. Спалювання може бути використано як варіант утилізації, лише коли заповнення землі неможливе і маса відходів складається з високогорючого паперу. Для роботи та обслуговування заводу потрібні відповідні технології, інфраструктура та кваліфікована робоча сила.

#### *Грануляція*

Грануляція – один із методів ущільнення ТПВ. Ущільнене відхідне паливо при спалюванні, газифікації або піролізі, яке називається гранулами, може бути отримане з ТПВ. ТПВ можна перетворювати в гранули розміром з корм для собак за допомогою гранулятора. Ущільнені паливні гранули, отримані з відходів, виготовлені з цукрового буряку, використовуються для палива когенераційних установок на цукровому заводі.

### *Громадська освіта*

Мотивація громадськості на підтримку програми поводження з твердими побутовими відходами включає різноманітну культуру, коло людських менталітетів та думок, вимагає міжособистісного підходу.

Допомога державним освітнім програмам у поясненні необхідності участі громадськості у правильному поводженні з ТПВ є одним з найважливіших факторів у питаннях зменшення об'ємів накопичення, та ефективної утилізації побутових відходів.

Розглянувши усі основні методи можна представити отримані дані у вигляді Таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Автоматизація методів управління

Метод управління	Опис методу	Можливість автоматизації
Зберігання	Зберігання ТПВ на місці утворення чи на перевантажувальних пунктах	Автоматизується
Бордюрний збір	Спорожнення контейнера у транспортний засіб у встановлений час	Автоматизується
Блоковий збір	Транспортний засіб прибуває до домогосподарства в зазначений час і домогосподарство власноруч спорожняють сміття до транспортного засобу.	Автоматизується у частині створення ефективного часового вікна
Маршрути збору	Побудова ефективних маршрутів збору ТПВ з урахуванням усіх географічних обмежень, при цьому покривши всю мережу утворення ТПВ	Автоматизується

## Продовження Таблиці 2.4

Неінженерна утилізація	Утворення хаотичних сміттєзвалищ	Не автоматизується
Санітарне заповнення земель	Проектування спеціальних сміттєзвалищ, де наявний контроль за перебігом розкладання	Автоматизується у частині контролю перебігу розкладання
Компостування	Проектування сміттєзвалищ для органічного ТПВ з утворенням компосту	Автоматизується
Спалення	Контрольоване спалення відходів	Автоматизується
Грануляція	Ущільнення ТПВ з утворенням палива у вигляді гранул	Автоматизується
Громадська освіта	Проведення мотиваційної діяльності для громадян з метою зменшення об'ємів ТПВ та їх сортування	Не автоматизується

## 2.5 Висновки до розділу 2

В розділі описано основні складові АС ЗТ ТПВ та деталізовано підсистеми: розрахунку об'ємів накопичення твердих відходів, прогнозування об'ємів утворення ТПВ, створення карти мережі зберігання ТПВ. Першим важливим етапом є розрахунок об'ємів накопичення твердих відходів. Серед розглянутих методів було обрано саме метод аналізу вагових об'ємів, бо він є найпростішим, при цьому покриваючи усі потреби, адже в порівнянні з іншими методами він не включає будь-яку класифікацію відходів, що є надмірною інформацією.

Прогнозування об'ємів утворення ТПВ є ключовою ланкою всієї системи. Взявши до уваги усі вищезгадані роботи різних дослідників та

науковців, можна прийти до висновку, що класичний підхід до прогнозування об'ємів є достатнім та ефективним. Для цього необхідна певна робота з географічною базою даних розроблюваної місцевості, а також збір статистичних даних при кожному проходженні маршруту транспортним засобом, або ж час від часу з узгодженим інтервалом. Зазвичай для прогнозування об'ємів ТПВ використовують алгоритм лінійних найменших квадратів, що дасть змогу отримати на виході лінійну функцію залежності кількості громадян на тій чи іншій ділянці та об'єму ТПВ, що вони генерують.

Задля створенні якісної карти мережі зберігання ТПВ також необхідно провести дослідження їх якісних характеристик. Це дасть змогу залучати до транспортування підходящу техніку, що дозволить збільшити спектр методів утилізації, до яких включено і переробку, наприклад, органічних відходів. В результаті було отримано таблиці з розрахунками кількості складових в загальній масі сміття верхніх рівнів (папір, скло тощо), а також нижніх рівнів (хімічний склад). Це відкриває багато можливостей створення сировини вторинного використання.

Для зменшення ресурсоемності АС ЗТ ТПВ було розглянуто безліч методів управління та здійснено порівняння їх можливостей. Ключовим аргументом використання того чи іншого методу була можливість автоматизації відповідного методу. Результати цього порівняння наведено у Таблиці 2.4.

## РОЗДІЛ 3 ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АС ЗТ ТПВ

### 3.1 Основні поняття

Дані щодо фізико-хімічних характеристик, кількості утвореного та зібраного сміття, виду транспорту, що використовується для збору, частоти збору, місткості та розташування пунктів збору відходів, типу дороги, дорожньої мережі та маршрутів збираються шляхом проведення досліджень на місцевості. Карта для кожного району складається з використанням зібраних даних, а також дорожньої мережі реалізується за допомогою системи глобального позиціонування (GPS).

Міжнародний науково-дослідний інститут навколишнього середовища (NEERI) [53] провів всебічне дослідження ПТВ у різних країнах, використовуючи звітну інформацію за період 1978-1992 рр. Згідно з цим дослідженням кількість побутових відходів, що утворюються, коливається в межах від 0,2 до 0,6 кг/жителя/день.

Згідно з відповідними правилами, повинні виконуватись функції ТПВ, такі як збір, сегрегація, зберігання, транспортування, переробка та утилізація ТПВ.

Основні функції цих правил включають:

- заборона та адміністративна відповідальність за засмічення вулиць;
- організувати збір домашніх (у окремих випадках промислових) відходів та інформувати громадськість про графік та методологію збору;
- проведення обізнавальних програм для поширення інформації серед громадськості та проведення регулярних зустрічей з керівниками територіальних громад;
- розробити способи збору відходів з антисанітарних та складних територій, таких як ринки, окремі випадки закладів харчування, офісні комплекси та стихійні торгові площі;
- підготовка належних сховищ з урахуванням щільності населення, щоб запобігти переповненню надмірною кількістю відходів;

- встановлювати контейнери для відходів із кольоровим кодом, щоб сприяти розподілу відходів у джерелі – зелений для біологічно-розкладних, білий для відходів, що переробляються, і чорний для інших відходів.
- відходи підлягають перевезенню лише у закритих транспортних засобах, щоб уникнути розповсюдження відходів по автошляхам;
- утилізація зібраних відходів шляхом використання будь-якого із встановлених методів, таких як компостування, анаеробне перетравлення, спалювання, грануляція тощо, а звалище має використовуватись для інертних відходів.

### **3.2 Підсистема збору і транспортування твердих відходів**

Основний графік для кожного маршруту збору повинен бути підготовлений для використання інженерним відділом та транспортним диспетчером. Для водія повинен бути підготовлений графік для кожного маршруту, який включає місце розташування та порядок кожного пункту прийому, що обслуговується. Крім того, а маршрутну книжку повинен вести кожен водій вантажівки. Водій використовує маршрутну книгу для перевірки розташування та стану рахунків. Це також зручне місце, де можна реєструвати будь-які проблеми з рахунками. Інформація, що міститься в книзі маршрутів, корисна для модифікації маршрутів збору.

Проектування планування маршруту збору транспортних засобів можна розглядати як систематичний процес прийняття рішень, що складається з п'яти етапів, а саме проектування мережі, частоти збору транспортних засобів, розробки часового вікна, планування руху збірної транспортної засобу та планування руху водія. Основна перевага в розробці маршруту збору призводить до значної економії ресурсів шляхом реорганізації шляху збору, а також частоти задоволення фактичного попиту. Огляд літератури розкриває різні підходи до маршрутизації та планування руху транспортних засобів збору та використовуваних обчислювальних інструментів.

### *Мікромаршрутизація*

Маршрутизація транспортного засобу для збору та транспортування на невеликій ділянці або для первинного збору певної території / палати називається мікромаршрутом. Тобто маршрутизацію транспортного засобу в призначеній йому зоні збору часто називають мікромаршрутизацією. Для мікромаршрутизації буде використана евристична маршрутизація. Маршрутизація транспортних засобів при збиранні сміття від дверей до дверей на вулицях і вузьких смугах АТВМ позначається як мікромаршрутизація.

### *Макромаршрутизація*

Це масштабні проблеми маршруту до місця захоронення та встановлення індивідуальних меж маршруту, широко відомих як макромаршрутизація або районування. Детерміновану маршрутизацію найкраще застосовувати для аналізу макромаршрутизації. Маршрутизація транспортних засобів при транспортуванні самоскидів із пунктів збору та транспортування відходів від тимчасової станції перевезення до кінцевого сміттєзвалища називається макромаршрутизацією.

### ***Проблеми маршруту транспортних засобів***

Транспортна модель – це особливий клас задач лінійного програмування. У ньому йдеться про ситуацію, коли товар транспортується від джерела до пункту призначення. Завдання полягає у визначенні суми, що відвантажуються з кожного джерела до кожного пункту призначення, що мінімізує загальну вартість доставки, одночасно задовольняючи як обмеження поставки, так і вимоги попиту. Модель передбачає, що вартість доставки на даному маршруті прямо пропорційна кількості одиниць, відвантажених на цьому маршруті.

Транспортна модель охоплює:

- проблему надавача транспортних послуг (ПНТП);
- проблему маршруту транспортних засобів (ВТП);
- проблему маршрутизації транспортних засобів із часовими вікнами (ВТПТ).

ВТП – це відвідування набору клієнтів із використанням парку транспортних засобів, дотримання обмежень щодо транспортних засобів, клієнтів, водіїв тощо. Мета – мінімізувати витрати на транспортування,

Типовий ВТП можна описати як проблему проектування маршрутів з найменшими витратами від набору географічно розкиданих пунктів збору до одного сміттєзвалища. Маршрути повинні бути спроектовані таким чином, що кожен пункт відвідує лише один раз рівно на одному транспортному засобі, всі маршрути починаються і закінчуються на сміттєзвалищі, а загальна потреба всіх пунктів на одному маршруті не повинна перевищувати потужність транспортного засобу.

ВТПТ – це узагальнення ВТП, що включає додаткову складність у тому, що кожен сміттєвий ящик повинен бути зібраний протягом певного періоду часу. Додаткові складності, з якими стикається ВТПТ, це обмеження довжини маршруту, що виникають через часові вікна депо та вартість часу очікування, що виникає, коли транспортний засіб прибуває занадто рано до місця вивезення сміття. Конкретні приклади проблем із часовими вікнами включають банківські доставки, поштові доставки, вивезення промислових / муніципальних відходів, маршрут руху шкільних автобусів та ситуації, коли клієнт повинен надати доступ, перевірку, або оплата при доставці товарної послуги, крім того, що це одна з найскладніших проблем для вирішення. Це досить близько до однієї з найвідоміших комбінаторних проблем оптимізації – ПНТП, де лише одна людина повинна відвідати всіх клієнтів. ПНТП є недетермінованою ймовірною, позначеною як СП – складна проблема. Вважається, що ніколи не можна знайти обчислювальну техніку, яка гарантуватиме оптимальні рішення для великих випадків для таких складних. Навіть для невеликих розмірів флоту та помірної кількості транспортних запитів завдання планування є дуже складним. Отже, не дивно, що люди, які планують роботу, незабаром перевантажуються, і вони повинні звернутися до простих місцевих правил маршрутування транспортних засобів.

У багатьох транспортних проблемах транспортні шляхи характеризуються двома або більше ознаками: довжина, вартість, час, транспорт, кількість сміття тощо. У деяких випадках різний атрибут можна розглядати як новий унікальний атрибут, а саме узагальнену вартість шляхом поєднання вихідних атрибутів. Такі проблеми класифікуються як багатокритеріальні транспортні проблеми.

Розвивається транспортна мережа з пунктами збору як вузлами. Вікна часу пов'язані з вузлами, коли прибуття та / або відправлення дозволяються лише протягом заданих інтервалів часу.

У цьому дослідженні для пошуку оптимізованих маршрутів було випробувано підсистему проектування оптимальних маршрутів та один із інструментів оптимізації, такий як генетичний алгоритм (ГА).

Розв'язання ВТП починається з генерації матриці місця відправлення з найкоротшим шляхом між усіма місцями замовлення та депо в мережі. Використовуючи цю матрицю витрат, він створює початкове рішення, вставляючи замовлення по черзі на найбільш підходящий маршрут. Початкове рішення потім вдосконалюється шляхом повторної послідовності порядку на кожному маршруті, а також переміщення замовлень з одного маршруту на інший та обміну заказами між маршрутами. Евристики, що використовуються в цьому процесі, базуються на метаевристиці пошуку обмежень і є власною, але вони протягом багатьох років постійно досліджуються та розробляються в і швидко дають хороші результати. Отже, підсистема проектування оптимальних маршрутів та ГА розглядаються окремо для цього дослідження.

### **3.3 Підсистема проектування оптимальних маршрутів**

Транспортні засоби рухаються по різних вулицях та збирають тверді відходи з кількох пунктів збору, а по завершенні рухаються до станції передачі / переробки / захоронення. В даний час маршрути руху цих транспортних засобів встановлюються довільно, як правило, керівником (санітарним інспектором) на основі його досвіду та зручності. Ці маршрути не обов'язково

є найкращими маршрутами, і, безумовно, не є оптимальними, що призводить до недостатнього використання транспортних засобів та збільшення вартості транспортування.

У менших містах, де функціонує одна установка з переробки та / або захоронення, планування маршрутів є простим, оскільки передбачає групування пунктів збору в такі маршрути, які потребують найменшої транспортної відстані. У великих містах, у яких є більше одного переробного та сміттепровідного устаткування, раціональне розподіл вимагає детальних вправ для групування пунктів, щоб отримати маршрути з найменшою транспортною відстанню. Це може стати важким, якщо кожна станція пересадки повинна обслуговувати більше одного місця утилізації.

Балансування району (палати / зони) та балансування маршруту планується таким чином, щоб забезпечити хороші дні роботи, щоб усім екіпажам було рівне навантаження. Маршрут включає ретельний аналіз маршрутів у кожній зоні обслуговування та мінімізацію транспортної відстані після ретельного врахування всіх відповідних факторів.

Проблему можна вирішити, використовуючи такі підходи:

- евристичний;
- детермінований;
- детермінований евристичний.

Евристичний підхід використовує ручну процедуру, використовуючи певні керівні принципи для досягнення розумного (не оптимального) рішення. Це хороший інструмент для використання досвідченим персоналом.

У детермінованому підході математична модель розробляється шляхом надання всіх відповідних вхідних даних, і модель визначає оптимальний маршрут.

У евристично-детермінованому підході комп'ютерна програма використовується для вивчення багатьох можливих альтернатив, з яких вибирається найкраща з можливих.

### ***Евристичний метод***

Стара система призначення маршрутів на основі досвіду та інтуїції систематизована шляхом формулювання деяких простих правил. Однак його ефективність залежить від досвіду користувача. Спочатку слід виконати макромаршрутизацію, а потім балансування маршрутів та мікромаршрутизацію. При макромаршрутизації місця збору призначаються об'єктам захоронення. Робота чесного дня визначається з урахуванням кілометрів, які потрібно подорожувати, здійснених поїздок та тоннажу, що перевозиться на день. Це допомагає визначити блоки або зони, які можуть обслуговувати транспортний засіб та його команда щодня. Потім мікромаршрутизація здійснюється за допомогою евристики, коли спочатку визначені блоки або області та їх конфігурація можуть бути змінені. Факторами, які слід враховувати при мікромаршрутизації, є наступними.

#### ***Стратегія щодо визначення частоти збору побутових відходів***

Маршрути не повинні бути фрагментованими або перекриватися

Час збору та транспортування повинен бути досить постійним для кожного маршруту, щоб вирівняти навантаження. Маршрут збору повинен починатися якомога ближче до гаража, беручи до уваги маршрути, що сильно проїжджали. Маршрути з інтенсивним рухом повинні обслуговуватися лише до або в години пік. Джерела, де утворюється велика кількість відходів, слід обслуговувати протягом першої частини дня. Маршрути збору повинні бути влаштовані таким чином, щоб останнє спорожнене сміття було найближчим до місця захоронення за цим маршрутом. У випадку вулиць з одностороннім рухом, найкраще починати маршрут з верхнього кінця вулиці, що працює вниз, у процесі циклу.

Загальними етапами використання вищезазначеного методу є:

- підготовка карти з джерелами та кількістю відходів;
- аналіз даних та підготовка зведених таблиць;
- визначення попередніх маршрутів та розробка збалансованих маршрутів шляхом слідів та помилок.

Ці методи широко використовуються в розвинених країнах для колекціонування від дому до обнадійливих результатів.

### ***Детермінований метод***

Ці методи використовують передові математичні прийоми. У існуючій системі доступна велика частина інформації щодо розташування збірних сміттєзвалищ, місць переробки та захоронення та кількостей, зібраних в окремих збірних сміттєзвалищах. При плануванні нової системи приймаються обґрунтовані цифри та використовуються методи моделювання. Були зроблені спроби вивчення та планування найекономічнішої системи в макромасштабі після оцінки альтернативних рішень всієї системи твердих побутових відходів, що передбачають утворення збір, переробка та транспортування. Для цих випадків також підготовлені конкретні моделі. У випадку мікродослідження здійснюється розміщення та відведення різних передавальних станцій на різні місця переробки та захоронення, а також розподіл маршрутів збору транспортних засобів.

### ***Використання перевантажувальних станцій***

Умови в країнах, що розвиваються, різні, тобто збір відходів вздовж вулиці не є рівномірним і безперервним, і транспортний засіб збирає відходи не з окремих будинків, а зі сміттєвих баків, розташованих на кутах вулиць. Крім того, станції передачі рідко використовуються, і транспортні засоби для відходів прямують безпосередньо до об'єкту переробки / утилізації. Отже, модель, що використовується в розвинених країнах, не може бути безпосередньо використана для країн, що розвиваються. У розвинених країнах, де використовується збір від дому до будинку, було розроблено низку моделей, які ґрунтуються на аналогії з проблемою китайської листоноші, оскільки відходи рівномірно розподіляються по маршруту. Однак це не можна використовувати в індійських умовах, коли відходи збираються із сміттєвих контейнерів, розташованих у окремих точках.

### **Метод рішення**

Ця проблема вирішується шляхом адаптації методу рішення для класичної транспортної проблеми. Для цього необхідно розглянути ситуацію наступним чином:

Оскільки кожен пункт прийому повинен відвідуватися один раз, кожен пункт прийому трактується як джерело (звідки можна доставити транспортний засіб), а також як раковина (де можна прийняти транспортний засіб) для одного транспортного засобу.

Подібним чином кожен термінал є джерелом, а також раковиною для зазначеної кількості транспортних засобів, де можна вмістити весь вміст усіх транспортних засобів.

Таким чином, у транспортній проблемі кількість джерел буде дорівнює кількості пунктів збору та терміналів, взятих разом. Це число також дасть кількість раковин, задіяних у проблемі.

### ***Структура системи***

Системний аналіз може бути використаний для проектування систем збору, щоб мінімізувати витрати. Відходи, що утворюються з усіх джерел, повинні бути розміщені на місці захоронення. Метою є досягнення мінімальних витрат на транспортування ТПВ.

Одночасно має бути виконано кілька вимог (обмеження в оптимізаційній моделі).

Місткість кожного місця захоронення (наприклад, звалища) обмежена.

Кількість утилізованих відходів повинна дорівнювати утвореній сумі.

Центроїди шляху збору не можуть виступати в якості місця захоронення; або загальна кількість відходів, вивезених з кожної зони збору, повинна бути більшою або дорівнювати нулю.

### ***Зроблені припущення***

Усі бункери вважаються місткістю 1,5 т незалежно від кількості зібраних відходів.

Вивіз сміття зі сміттям та розміщення порожнього смітника здійснюються в одне і те ж вікно часу.

Як початкова та кінцева точки маршрутів для перевезення сміття розглядається тільки одне депо та сміттевий майданчик.

Кількість відходів, що утилізуються з кожного маршруту, завжди менша за потужність перевантажувальної станції або потужність сміттєзвалищ.

### ***Обмеження***

Розглядається різна швидкість проходження доріг, що залежить від типу доріг, або наявність поворотів чи перехресть.

Враховуються такі показники як односторонній рух чи обмеження вантажопідйомності на деяких ділянках доріг.

Загальна кількість утвореного сміття завжди менше, ніж ємність смітника.

Загальна кількість ТПВ, зібраного з усього міста, менше, ніж місткість сміттєзвалища.

## **3.4 Підсистема створення карти мережі зберігання та маршрутизації збору ТПВ**

Система створення карти мережі розглядається як нова хвиля інформаційних технологій, і основним інструментом, що буде розглянуто в цій роботі є підсистема пошуку оптимізованого маршруту для збору та транспортування ТПВ АТВМ. Географічний аналіз зазвичай включає більше одного географічний набір даних і вимагає від аналітика пройти ряд кроків для досягнення рішення. У даній підсистемі доступні три найпоширеніші типи географічного аналізу, а саме: аналіз близькості, аналіз накладання та аналіз мережі. Технологія створення карти мережі використовує буферизацію для визначення близькості між об'єктами та використовується для пошуку відстані між об'єктами. Аналіз накладання можна зробити для поєднання шарів ґрунту та рослинності для розрахунку площі певного типу рослинності на конкретному типі ґрунту. Мережевий аналіз досліджує, як лінійні об'єкти

пов'язані та як легко ресурси можуть їх використовувати. У цьому дослідженні йдеться про маршрутизацію транспортного засобу, отже аналіз мережі обраний для аналізу оптимальних маршрутів. Діаграма підсистеми створення карти мережі зберігання та маршрутизації збору ТПВ наведена на Рисунок 3.1.

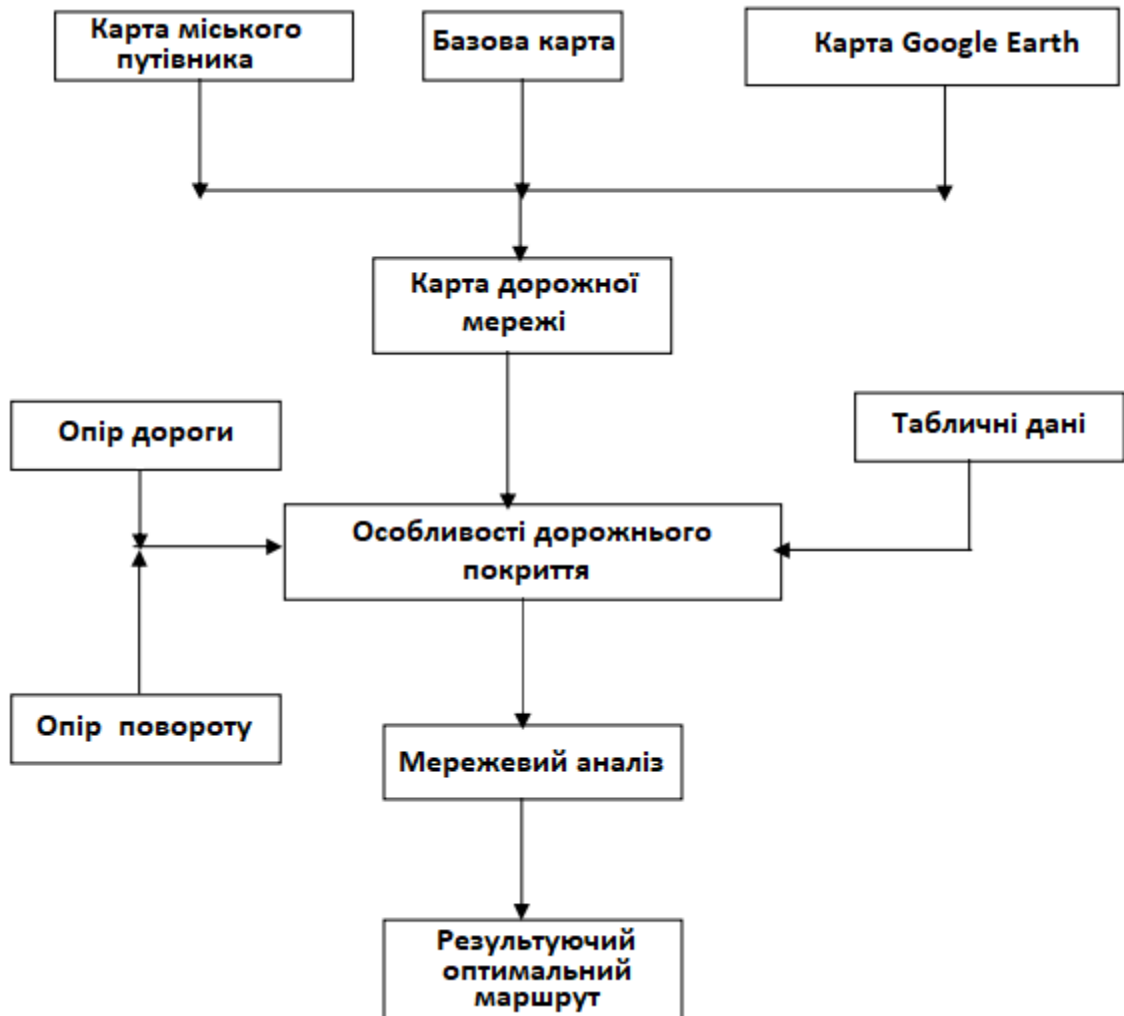


Рисунок 3.1 – Структура потоку підсистеми створення карти мережі зберігання та маршрутизації збору ТПВ

Для отримання журналу слідів досліджуваної області використовується GPS технології точності 1 метр як найменша одиниця дистанції. Карта Google Earth використовується для отримання всієї дорожньої мережі. Для регіональної точності журнал GPS-слідів порівнювали з картою Google Earth

для видалення неточностей в дорожній мережі. Точність карти Google Earth також враховується 1 метр як найменша одиниця дистанції.

Дорожні мережі зберігаються як набори мережевих даних. Набір даних мережі створюється із джерела об'єктів або джерел, які беруть участь у мережі. Він включає вдосконалену модель підключення, яка може представляти складні сценарії, такі як мультимодальні транспортні мережі. Він також має багату модель мережевих атрибутів, яка допомагає опірам моделі, обмеженням та ієрархії для мережі. Набір даних мережі складається з простих функцій (таких як лінії та точки) та поворотів. Деякі параметри моделі використовуються для визначення коефіцієнту швидкості проходження певних ділянок доріг, такі як час у дорозі (залежить в основному від типу дороги) та кількості сміття, що потрібно зібрати на даній ділянці. Коефіцієнт може бути в діапазоні від 0 до 1, але зазвичай має наближене до одиниці значення. Ці атрибути пропорційні по краю; тобто вони розділені пропорційно по довжині ребра. Наприклад, якщо час подорожі змодельовано як атрибут витрат, то проходження половини по краю означає, що якщо час проїзду через ребро становить 3 хвилини, то для обходу половини краю потрібно 1,5 хвилини. Якщо здійснюється пошук 1,5-хвилинного маршруту по цьому краю, функція маршруту буде створена з першої половини краю.

Мережевий аналіз часто передбачає мінімізацію витрат (також відомих як опір) під час розрахунку шляху (також зниження як пошук найкращого маршруту). Поширені приклади включають пошук найшвидшого маршруту (мінімізація часу в дорозі) or найкоротшого маршруту (мінімізація відстані).

В ієрархія елементів мережі – це порядок оцінок, присвоєних маршруту. Маршрут – це шлях, яким рухається єдиний транспортний засіб для збору відходів протягом одного дня. Вулична мережа може мати ієрархію дорожніх класів для відокремлення міждержавних та місцевих доріг. Знаходячи найкоротший шлях від однієї точки до іншої, користувач вважає за краще брати або уникати міждержавних відносин, які можна моделювати за допомогою ієрархії. У розробленій підсистемі створення карти мережі

зберігання та маршрутизації збору ТПВ різні класи ієрархії можна згрупувати у три діапазони: первинні дороги, вторинні дороги та місцеві дороги. Будь-який аналіз мережі вимагає опірив, пов'язаних з кожною дорогою в мережі. За допомогою якого пріоритет може бути встановлений для різних шляхів для аналізу. Такі опіри дуже важливі для оптимального визначення маршруту.

В межах досліджуваної зони АТВМ є дороги різних типів, тобто національна магістраль, державна магістраль, основні дороги, другорядні дороги, вулиці та смуги. Швидкість для різних доріг також різна. У точці стику доріг опір виникає через поворот або через перешкоди інших транспортних засобів. Величина затримки відбудеться через перехрестя та залежить від руху транспортного засобу. Опір відрізняється залежно від кута руху від 10 секунд до 60 секунд. У багатьох випадках може знадобитися присвоїти значення опіру повороту або запобігти певним поворотам. Опір повороту може бути будь-яким додатним числовим значенням. Негативне значення в елементі опіру повороту означає, що поворот заборонено. Після присвоєння всієї інформації мережам підсистеми проводиться аналіз мережі.

#### *Підготовка тематичних карт*

Відомості щодо кількості вулиць у кожному районі, кількості та типу будівлі, смуги руху кожної вулиці / дороги, щільності руху дорожньої мережі, кількості контейнерів та їх розташування, типу збору та було зібрано сховище для всього міста. Була підготовлена карта районів, що відображає всі вулиці, розташування смітника та напрямок вивезення сміття.

Пропонований ПТВ базується на просторовій базі даних з географічними посиланнями, що підтримується підсистемою створення карти мережі зберігання та маршрутизації збору ТПВ.

Розроблювана підсистема є інструментом, який використовується для інтеграції просторових та непросторових даних. Ця підсистема є специфічно інтегрованою системою апаратного забезпечення, програмного забезпечення та процедури, призначена для підтримки, збору, управління, маніпулювання, аналізу та відображення просторово посиланих даних для вирішення складної

проблеми планування та управління. Дані атрибутів, наведені в Таблиці 3.1, пов'язані та поєднані з топологією мережі району.

Підсистему створення карти мережі зберігання та маршрутизації збору ТПВ можна ефективно застосовувати до будь-якого виду послуг, який залежить від мережі, наприклад, дорожньої мережі, водопостачання, електропостачання, каналізації тощо. Підсистема також служить сховищем географічної інформації та забезпечує просторові маніпуляції та управління базами даних.

У цьому дослідженні зосереджено увагу на пошуку оптимального шляху транспортування твердих побутових відходів. Інструмент маршрутизації, використовується для аналізу транспортної мережі та аналізуються отримані маршрути для різних пунктів збору / сміттєзвалищ та сміттєзвалища. Коли в маршруті передбачається зміна, необхідно змінити необхідний атрибут для цього сегменту дороги в базі даних, і відновлення мережі створить логічну таблицю, яку вирішувачі використовують для пошуку результатів.

Маршрут, що має мінімальний час у дорозі, має бути кращим, ніж той, що має найменшу відстань. З цією метою оптимізації часу подорожі при визначенні оптимального маршруту аналізуються різні фактори опіру, які відіграють важливу роль у визначенні часу подорожі, такі як обсяг перевезень, тип дороги, ширина дороги, кількість перехресть, поворотів тощо, маючи мінімальний час у дорозі. Для пошуку оптимальних маршрутних тематичних карт як шарів для кількості сміття, мережу доріг та розташування сміттєпроводу підготовлено для аналізу мережі. Зібрані відходи зберігаються або в ТТС, або в сміттєвих контейнерах.

Доступні дві дані мережевої системи, а саме геометрична мережа та набори даних мережі. Класи функцій можуть брати участь або в геометричній мережі, або в наборі даних мережі – не в обох.

Мережевий аналіз складається із створення рівня аналізу мережі шляхом вибору ВТП. ВТП слід виконати, а результати інтерпретувати. За потреби параметри в ВТП можуть бути змінені.

З урахуванням наявних даних міста та зібраних даних обстеження на місцях, різні шари, а саме: Route, Dground (смітник), Dbins (самоскиди), TS (тимчасова станція передачі), Roads та TransUTM ND були підготовлені до аналізу. ВТП дається з певним часовим інтервалом для досліджуваної області та отримані оптимізовані маршрути.

### *Кількість спеціалізованих транспортних засобів (СТЗ)*

Для кількісної оцінки всіх підопічних було проведено детальне опитування. Кількість СТЗ надходить шляхом зважування збору від дверей до дверей, а кількість смітєвих ящиків надходить на основі дорожніх відходів, відходів вуличних магазинів та відходів будинків на основних дорогах тощо. Збір від дверей до дверей здійснюється на вулицях, і ті ж дані використовуються для кількісної оцінки СТЗ.

Якщо будинок знаходиться на головній дорозі, то автотранспорт / транспортний засіб не може зупинитися на головній дорозі для збору відходів. Отже, для обчислення кількості смітника було використано відстань від центру до центру сусідньої довжини смітника. Відходи, що утворюються в житлових будинках на головних дорогах, магазинах, придорожні відходи, що лежать на цій конкретній довжині дороги, а також відходи, що утворюються плаваючим населенням, враховуються для розрахунку кількості сміття.

### **3.5 Генетичний алгоритм**

Це дослідження представляє застосування ГА як ефективного інструменту для оптимізації ВТП в управлінні ТПВ. Збір сміття класифікується як первинний збір та вторинний збір. Як первинний, так і вторинний збір сміття проводиться майже у всіх пунктах. У дослідному районі сміття збирається двома різними способами як вторинний збір. Існують контейнери для тимчасового зберігання, які називаються самоскидами

вантажопідйомністю 1,5 т. Вони розміщені на основних дорогах, які мають 2 смуги руху, а на другорядних / інших дорогах / вулицях та смугах сміття збирається як збір від дверей до дверей, і тимчасово зберігається на головних узбіччях доріг у вигляді відвалів, які називаються тимчасовою станцією передачі. Купи сміття прибирається авто / трактором / ізбірником / збірником сміття та транспортується до кінцевих звалищ / станції перевезення. Територія дослідження має будівлі змішаного типу, а саме житлові, комерційні, громадські та навчальні заклади.

#### *Робоче середовище*

ВТП можна вказати, оскільки існує  $N$  вузлів (збір на узбіччі дороги) та  $K$  кількість місць для утилізації (або станція передачі (або) площадка скидання). Кожен з транспортних засобів з  $N$  вузлів може утилізувати відходи до  $K$  за транспортну вартість одиниці транспортування відходів від  $i$  вузла до  $k$  місця захоронення, і фіксована вартість  $F_k$ , передбачена для маршруту збору  $ik$ . Кожен пункт збору  $i = 1, 2, \dots$ , має  $S$  одиниць кількості відходів кожного місця захоронення  $k = 1, 2, \dots, k$  має  $D_k$  одиниць утилізації.

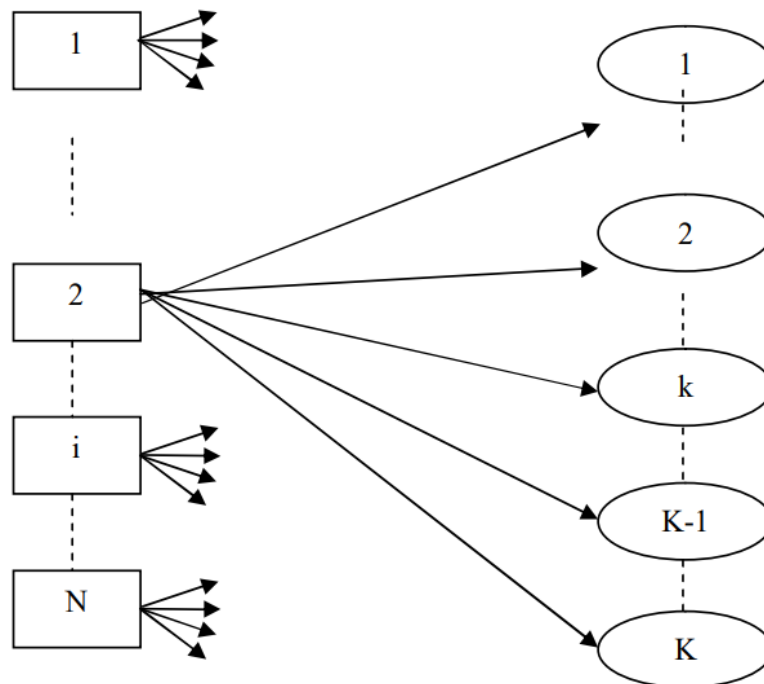


Рисунок 3.4 – Робоче середовище ВТП в ГА

Часовий інтервал для кожного відділення АТВМ передбачається на основі умов дорожнього руху у цій конкретній області.

### **3.6 Формалізація методології складання карти пунктів збору ТПВ**

Для побудови якісної карти пунктів збору ТПВ, яка буде використовувати підсистемою збору та транспортування ТПВ і підсистемою створення карти мережі зберігання та маршрутизації збору ТПВ, необхідно здійснити формалізацію її методології:

1. Необхідно децентралізувати територію населеного пункту задля ефективного розподілу ресурсів. Для цього місто ділиться на райони, які обслуговуються незалежно один від одного.
2. Кожен район має в собі деяку кількість шарів взаємодії, які представляються окремим шарами мапи: шар транспортної мережі, шар муніципальних структур, шар геопросторових даних і шар пунктів збору та утилізації ТПВ.
3. Шар муніципальних структур містить у собі перелік будівель різного призначення: підприємства, учбові заклади, домогосподарства тощо. Такий поділ гарантує більш ефективне прогнозування об'ємів утворення ТПВ.
4. Шар транспортної мережі містить у собі всі дороги міста разом з інформацією щодо поворотів, перехресть, середньої швидкості проходження дороги, дозволеної вантажопідйомності, завантаженості в залежності від часу тощо. Ці дані використовуються у підсистемі маршрутизації для знаходження найбільш ефективного маршруту.
5. Шар пунктів збору та утилізації ТПВ містить у собі усі контейнери, сміттєзвалища, пункти проміжного зберігання ТПВ, пункти утилізації та позиції автопарку сміттєзбирального транспорту. Цей шар є ключовим у побудові мапи, так як кожен маршрут має містити у собі як мінімум одну позицію автопарку, контейнера чи

сміттєзвалища та пункту утилізації. Також до кожного пункту збору ТПВ прив'язуються статистичні значення зібраних об'ємів, що покращує якість прогнозування об'ємів на майбутніх маршрутах.

6. До кожного пункту збору ТПВ прив'язуються певні муніципальні споруди, що також коригує маршрути збору та прогнозування об'ємів утворених ТПВ. Також при активній розбудові міста до кожного пункту збору буде прив'язуватися все більше і більше споруд, про що повинна сигналізувати створена мапа. Це може бути взято до уваги комунальними службами, які встановлять нові пункти. Це зумовить рівномірне покриття контейнерами та призведе до запобігання ситуацій перевантаження транспортної системи, що в свою чергу могло б постійно зменшувати її ефективність.
7. Також кожен пункт збору ТПВ повинен позначати на мапі свій тип збирання транспортним засобом. Адже в системі передбачено збір при ситуації, коли власники домогосподарств власноруч перевозять контейнери до точок збору, а також ситуації коли контейнери є стаціонарними і люди відповідно переносять ТПВ до цих контейнерів. Це допоможе точніше розрахувати час, який потрібно витратити на зупинку та завантаження транспортного засобу, іншими словами додатковий час, який сумується з часом проходження маршруту.

### **3.7 Висновки до розділу 3**

В даному розділі було розроблено основні підсистеми, які входять до АС ЗТ ТПВ, а саме підсистема збору і транспортування твердих відходів та підсистема створення карти мережі зберігання та маршрутизації збору ТПВ. До нововведень можна віднести збір статистичних даних попередніх збирань ТПВ, урахування завантаженості доріг в залежності від часу та заміна блоку мережевого аналізу.

Збір статистичних даних попередніх збирань проходить на постійній основі та включає в себе інформацію про вагу та склад ТПВ зібраних з конкретного пункту збору. Ці дані допомагають більш якісно спрогнозувати кількість ТПВ, що буде утворено на наступний маршрут, що призведе до більш ефективного використання транспорту.

Урахування завантаженості доріг дозволяє уникати заторів і взаємодії з навколишнім середовищем загалом, що є доцільним через природу об'єктів, що перевозяться.

Підсистема маршрутизації збору ТПВ бере за основу генетичний алгоритм. Генетичний алгоритм є доцільним для використання в даному випадку через свою можливість приймати безліч нових параметрів без значних змін ефективності (а розроблена система має багато параметрів, які потрібно враховувати, особливо значення часових вікон), можливість до паралельних обчислень через свою природу подібності до загальної теорії еволюції, а також він дає можливість до швидкого перерахунку маршрутів у динамічному середовищі, що дає змогу перебудувати маршрут навіть якщо він був вже початий.

Також у цьому розділі було формалізовано методологію складання карти пунктів збору ТПВ. Це дозволить операторам комунальних служб та робітникам сфери ІТ легко впровадити розроблену АС ЗТ ТПВ до вже створених систем.

Отже, розроблена АС ЗТ ТПВ бере до уваги вже наявні ефективні рішення, при цьому додаючи нові рішення та покращуючі старі. Дослідження та порівняння розробленої системи з існуючими проведено та описано в Розділі 4.

## РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

У даному розділі було проведено аналіз результатів застосування ГІС та АС ЗТ ТПВ в оптимальних напрямках збору та транспортування ТПВ, використовуючи вичерпні дані дослідження АТВМ. Результати, отримані за допомогою ГІС та АС ЗТ ТПВ, аналізуються на основі оцінки витрат ресурсів. Оптимізовані маршрути, отримані з використанням ГІС та АС ЗТ ТПВ з точки зору кошторису витрат, порівнюються також з існуючою системою перевезень.

### 4.1 Результати ГІС

Карта досліджуваної області доволіно побудована для створення транспортної топології. Топологію транспортування аналізують на будь-які перешкоди, самоперетинання або перекриття, і їх видаляють або виправляють. З транспортної топології створюється топологія мережі, яка планується для аналізу. Дані щодо кількості сміття, що утворюється у пунктах збору ТПВ, збираються та в подальшому зберігаються у системі. Кількість сміття розподіляється уздовж набору даних мережі відповідно до розташування смітника. Набір даних мережі був створений з подробицями дорожньої мережі, місцезнаходженням смітника та тимчасовою станцією передачі.

Дані атрибутів щодо кількості сміття, даних про населення, кількості сміття, типу дороги та смуги руху, дорожнього руху гучність були підготовлені в табличній колонці ArcGIS, об'єднані та пов'язані з набором даних мережі.

За допомогою інструмента мережевого аналітика в ArcGIS для аналізу вибирається проблема маршрутизації транспортного засобу. Властивості шару ВТП складаються із загального, шарів, джерела, параметрів аналізу, розширених налаштувань та розташування мережі. На загальній вкладці назва шару, опис шару та діапазон масштабу були вказані як властивості шару ВТП – BINS, який створений для аналізу маршрутизації пунктів збору сміття.

Подібним чином у якості властивостей шару були вказані місця навантаження, часове вікно, опір повороту, дорожні обмеження тощо. Максимальна потужність збірних транспортних засобів СТЗ та розвантажувальних самоскидів, а також часовий інтервал подані як вхідні дані.

Набір даних мережі був створений з даними дорожньої мережі, місцем розташування смітника та тимчасовою станцією передачі. Також дані атрибутів щодо кількості сміття, даних про населення та тип автомобіля для збору сміття з їх місткістю були пов'язані та об'єднані з цим шаром.

Набір мережевих даних представлений на Рисунку 4.1.

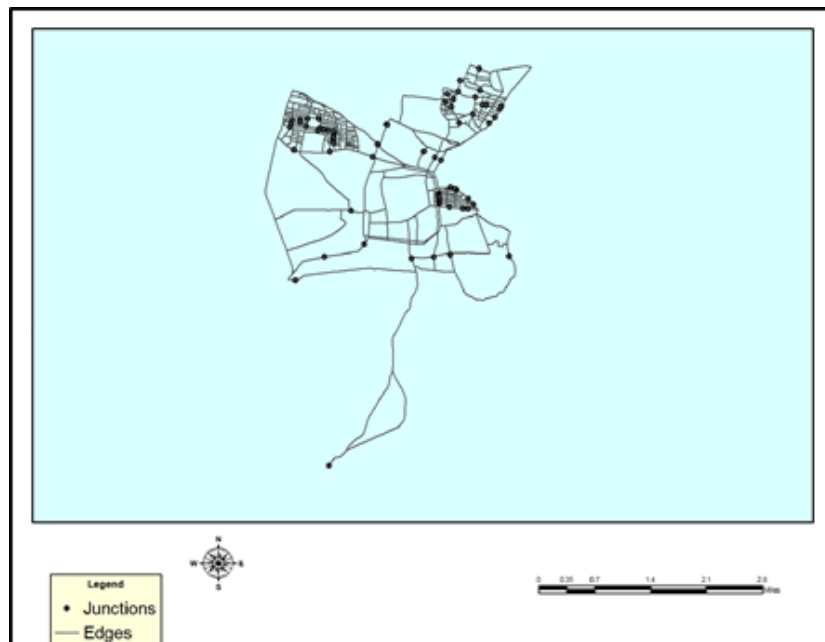


Рисунок 4.1 – Набір даних мережі дослідної зони

За допомогою інструменту мережевого аналітика вирішується проблема маршруту транспортного засобу з часовим вікном. Часове вікно для спорожнення смітєвих контейнерів дається як 2 години, тоді як часове вікно для транспортування ТПВ, процесу збору ТПВ з пунктів накопичення та процесу відвантаження ТПВ на смітєзвалищах чи переробних заводах є в атрибуті шару з 6 ранку до 24 ночі.

У розвантажувальних транспортних засобах (РТЗ, збирають лише з 2 пункти накопичення за один раз), великовантажний транспортний засіб

(ВВТЗ, збірник для сміття великих об'ємів, місткість 10 т), трактори (місткість 6 т) та самоскиди (місткість 10 т) доступні для збору сміття. Окрім цих основних машин для збору сміття, автомобілі, що збирають сміття та вивозять його або на тимчасову станцію передачі, або на сміттєзвалище. Для збору від дверей до дверей використовуються малогабаритні візки, а зібрані відходи зберігаються на тимчасових пунктах передачі, в основному, на вулиці, де збиральні машини можуть збирати для утилізації.

Параметри мережевого аналізу, а також компоненти мережевого аналізу наведені, як показано на Рисунках А.1-А.5.

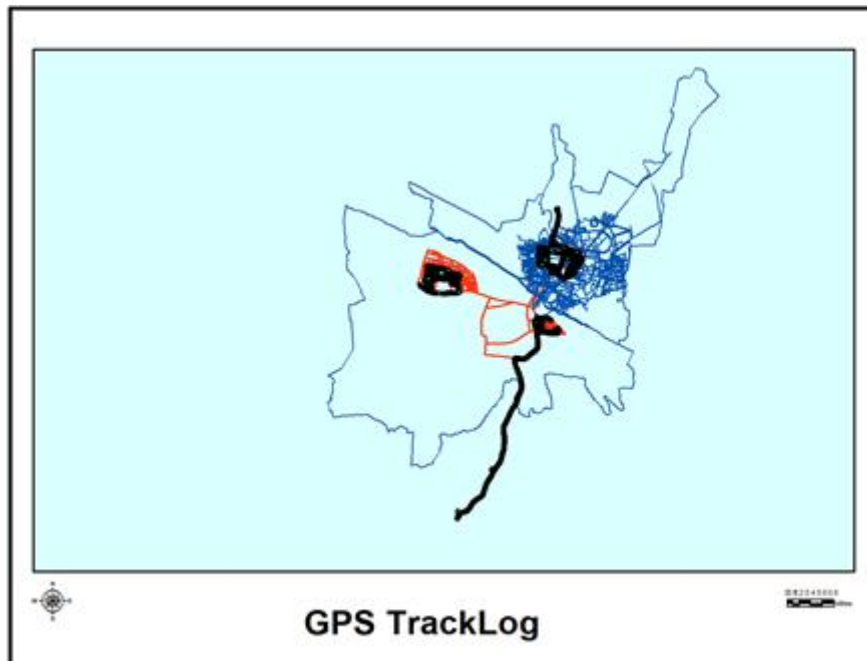


Рисунок 4.2 – Журнал відстеження GPS зони досліджуваної області

Таблиця 4.1 – Дані зібрані за допомогою ГІС для проведення дослідження

№ з/п	Назва маршруту	Всього дистанція (км)	Загальний час транспортування (год:хв)	Час очікування (хв)	Час початку	Час завершення	Точки збору
1	a1	21,0	2:30	3	9:00	11:40	22, 24
2	a2	14,6	2:01	0	15:30	17:32	5, 6
3	b1	18,7	2:28	7	9:00	11:38	16, 21

Продовження Таблиці 4.1

4	b2	19,1	2:22	0	11:42	14:04	11, 28
5	c1	18,9	2:28	7	9:00	11:38	17, 18
6	c2	15,9	2:03	0	15:30	17:33	2, 3
7	d1	19,0	2:28	6	9:00	11:38	14, 15
8	d2	18,7	2:20	0	11:40	14:01	13, 32
9	d3	14,8	2:02	0	15:30	17:32	4, 8
10	e1	19,6	2:30	6	9:00	11:40	12, 23
11	e2	20,2	2:25	0	11:41	14:06	26, 27
12	f1	18,4	2:27	7	9:00	11:37	19, 20
13	f2	19,6	2:23	0	11:40	14:03	30, 31
14	f3	15,0	2:01	0	15:30	17:31	1, 7
15	g1	19,0	2:30	7	9:00	11:40	9, 10
16	g2	20,1	2:25	0	11:44	14:06	25, 29

Для пілотного досліджуваного району було отримано 16 маршрутів для вивезення 32 сміттєвих ящиків, а результати представлені в Таблиці 4.1. З таблиці видно, що на маршрутах a1, b1, c1, d1, e1, f1 та g1 надійшов час очікування, і він становить від 3 хвилин до максимум 7 хвилин, оскільки РТЗ прибули раніше часу, ніж фактичний часовий проміжок часу конкретної області. Але буферний час + 10 хвилин для практичної реалізації може бути надано для врахування таких невизначеностей, як аварії, перекриття доріг тощо. З таблиці видно, що розвантажувач самоскиду долає мінімальну відстань 14,6 км за 2 години 01 хвилину і максимальну відстань 21 км за 2 години 30 хвилин. Останній маршрут – це маршрут з мінімальними умовами руху, а час для розміщення розвантажувача самоскидів розглядається з відхиленням у максимально додаткові 20 хвилин. Результати, отримані з використанням ГІС, є багатообіцяючими і можуть бути навіть кращими за існуючі рішення збору та транспортування ТПВ.

З наведених вище результатів видно, що в середньому кожному РТЗ потрібно трохи більше 2 годин для заміни самоскидів, включаючи час транспортування. На основі місцевого запиту з оператором транспортних засобів та польових робіт, для кількох підопічних було використано відповідний часовий інтервал. Також шляхом проведення випадкового вибіркового дослідження та на відстані, розташуванні підопічних було розраховано часове вікно, як показано в Таблиці 4.1.

Досліджуючи наведені маршрути, можна побачити, що приблизно однакові за дистанцією шляхи іноді мають різний час для їх проходження. Це зумовлено тим, що різні ділянки транспортної мережі міста можуть мати різні обсяги перевезень та навантаженості, що на пряму впливає на час, витрачений на подолання дистанції.

Отримано приблизний часовий проміжок, кількість сміттєвих баків та поєднання їх з окремими сміттєзвалищами для певної кількості РТЗ для відповідної області, як зазначено в Таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – План збору в залежності від часового вікна

№ з/п	Номер пункту збору	Кількість сміття (кг)	№ Пункта накопичення	Вікно часу
1	7, 11, 32, 33, 34, 35, 40, 48, 52, 55	115430	1	5:30-7:30
2	6, 8, 15, 31, 36, 38, 39, 56, 59, 63, 68	69150	1	7:30-9:30
3	1, 2, 3, 9, 10, 13, 14, 21, 23, 43, 45, 70	74650	2	9:30-12:00
4	12, 17, 18, 20, 24, 37, 47, 53, 58, 61, 62, 64, 65, 66	74450	2	12:00-14:00
5	19, 25, 26, 30, 42, 46, 51, 54, 57, 67, 69, 72	73650	3	14:00-16:00

## Продовження Таблиці 4.2

6	4, 5, 16, 22, 27, 28, 29, 41, 44, 49, 50, 60, 71	71330	4	16:00-18:30
<b>Всього сміття (кг)</b>		478660		

З Таблиці 4.2 та Таблиці 4.3 видно, що для вивезення сміття потрібно покриття з приблизно 90 РТЗ, що включає в себе запасні транспортні засоби, а для ефективного використання людських ресурсів – 120 водіїв, щоб експлуатувати машини у 2 зміни. Перша поїздка повинна розпочатися о 5:30 ранку зі сміттєзвалища для збору сміття.

Таблиця 4.3 – Фактичне сміття, вивезене із сміттєвих контейнерів

№ з/п	Назва	Широта	Довгота	Вага (кг)
1	Бак 1	9,9209	78,1285	344
2	Бак 2	9,9192	78,1306	98
3	Бак 3	9,9818	78,1316	20
4	Бак 4	9,9174	78,1305	164
5	Бак 5	9,9176	78,1272	174
6	Бак 6	9,9201	78,1252	522
7	Бак 7	9,9213	78,1247	66
8	Смітник 8	9,9174	78,1297	20
9	Бак 9	9,9382	78,1266	314
10	Бак 10	9,9368	78,1264	418
12	Бак 12	9,9372	78,1278	868
14	Бак 14	9,9363	78,1339	180
15	Бак 15	9,9364	78,1331	624
16	Смітник 16	9,9347	78,1313	391
17	Смітник 17	9,9361	78,1366	249

## Продовження Таблиці 4.3

18	Смітник 18	9,9356	78,1364	279
19	Смітник 19	9,9341	78,1354	356
20	Бак 20	9,9330	78,1344	222
22	Смітник 22	9,9389	78,1326	705
23	Смітник 23	9,9408	78,1290	1037
24	Смітник 24	9,9429	78,1324	1085
25	Смітник 25	9,9335	78,1009	326
26	Смітник 26	9,9333	78,0996	211
27	Бак 27	9,9322	78,1007	313
28	Смітник 28	9,9279	78,0986	1393
29	Смітник 29	9,9334	78,1031	20
29	Смітник 29	9,9334	78,1031	20

Рано вранці обсяг руху дуже низький. Це заощадить багато часу, щоб послідовні поїздки могли бути розміщені протягом часового вікна. Графік роботи водіїв можна розподілити на 2 групи. Одній групі персоналу може бути наданий часовий проміжок часу з 5 ранку до 12 дня, а іншій групі персоналу може бути наданий час з 12 ранку до 19 вечора.

Фактичне сміття, вивезене із сміттєвих контейнерів, показано в Таблиці 4.3, яка надходить із використанням прогнозованої кількості сміття. Для перевірки даних пропонується кореляційний аналіз між населенням та фактичною кількістю сміття як 0,89 кг на людину, і розраховується теоретична кількість.

Для ТТС розглядаються 3 типи транспортних засобів, а саме: великовантажний транспортний засіб, самоскид та трактор, а результати табулюються відповідним чином. Збір сміття з 12 пунктів накопичення за допомогою СТЗ становить 5 годин 25 хвилин. Для самоскидів збирання сміття з п'яти пунктів накопичення становить 5 годин 6 хвилин, а для тракторів – 4 години збирання сміття з 4 пунктів. Умовно, місто експлуатує самоскид і

трактор для збору сміття з бордюру. Після досягнення максимальної ємності транспортного засобу, комунальне сміття вивозиться до зони накопичення. Час відвантаження знаходиться в допустимих межах і може розглядатися як з наявністю запасу. Отримані результати не є складними в плані впровадження в будь-якому місті/районі.

#### 4.2 Результати АС ЗТ ТПВ

Для дослідження відповідної області, використовується розроблена АС ЗТ ТПВ. Тут застосовується реальний закодований генетичний алгоритм із загальним пошуком для аналізу, а результати заносяться у Таблицях 4.4 та 4.5.

Таблиця 4.4 – Результати АС ЗТ ТПВ для спорожнення баків

№ з/п	Назва маршруту	Загальна вартість (грн)	Час початку	Час завершення	Баки спорожені
1	a1	587,58	10:00	12:00	22, 24
2	a2	910,22	16:00	18:00	5, 6
3	b1	957,99	10:00	12:00	16, 35
4	b2	1065,66	12:00	14:00	28, 34
5	c1	814,68	10:00	12:00	17, 18
6	c2	676,88	16:00	18:00	2, 3
7	d1	833,42	10:00	12:00	14, 15
8	d2	685,70	12:00	14:00	32, 33
9.	d3	959,83	16:00	18:00	4, 8
10	e1	991,43	10:00	12:00	9, 23
11	e2	788,96	12:00	14:00	26, 27
12	e3	912,06	10:00	12:00	19, 20
13	f2	810,27	12:00	14:00	30, 31
14	f3	854,00	16:00	18:00	1, 7

## Продовження Таблиці 4.4

15	g1	680,55	10:00	12:00	10, 12
16	g2	518,13	12:00	14:00	25, 29

Таблиця 4.5 – Результати АС ЗТ ТПВ для збору сміття СТЗ

№ з/п	Назва транспортного засобу	Всього (грн)	Кількість СТЗ	Вантажопідйомність (кг)	СТЗ
1	Трактор з причепом	3380,71	3	6000	9, 10, 11
2	Самоскид	3568,12	8	10000	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Загальна вартість перевезення – це сума вартості перевезення та фіксованої вартості. Фіксована вартість включає вартість робочої сили, витрати на обслуговування, кількість обмежувачів швидкості, переїзд через рівень, сигнали, повороти з точки зору вартості і т.д., проаналізовано шляхом порівняння загальної вартості продукції АС ЗТ ТПВ із загальною вартістю, отриманою від ГІС.

Всі маршрути розглядаються для аналізу ефективності. Таблиця 4.6 показує результати зпорожнення бункерів для аналізу продуктивності.

Таблиця 4.6 – Результати ГІС та ГА для зпорожнення бункерів

№ з/п	Назва маршруту	Загальна вартість (грн.)			Відхилення від базової системи, %	
		Базова система	АС ЗТ ТПВ	ГІС	АС ЗТ ТПВ	ГІС
1	a1	1107,92	587,58	1157,53	46,96	-4,48
2	a2	793,00	910,22	804,76	-14,67	-1,39

Продовження Таблиці 4.6

3	b1	1036,26	957,99	1030,75	7,55	0,53
4	b2	1069,33	1065,66	1052,80	0,34	1,55
5	c1	1058,31	814,68	1041,77	23,02	1,56
6	c2	892,95	676,88	876,41	24,20	1,85
7	d1	1102,41	833,42	1047,29	24,40	5,00
8	d2	1058,31	685,70	1030,75	35,21	2,60
9	d3	826,80	959,83	815,78	-16,09	1,33
10	e1	1096,89	991,43	1080,36	9,61	1,51
11	e2	1135,48	788,96	1113,43	30,52	1,94
12	e3	1030,75	912,06	1014,21	11,52	1,60
13	f2	1096,89	810,27	1080,36	26,13	1,51
14	f3	843,34	854,00	826,80	-1,26	1,96
15	g1	1063,82	680,55	1047,29	36,03	1,55
16	g2	1124,45	518,13	1107,92	53,92	1,47

### 4.3 Зведення результатів дослідження

Показники ГІС та АС ЗТ ТПВ у порівнянні з базовою системою та аналіз ефективності наведені нижче.

Що стосується загальних витрат СТЗ, то відсоток відхилення є більшим для АС ЗТ ТПВ порівняно з ГІС від показників базової системи. Відсоток відхилення АС ЗТ ТПВ коливається від 4% до 18% для СТЗ, і це негативно, що означає, що значення витрат, при використанні АС ЗТ ТПВ, вищі в порівнянні з базовою системою.

Відсоток відхилень ГІС коливається від 13% до 20% для СТЗ. Для самоскидів загальна вартість в ГІС більша порівняно з базовим варіантом, тоді як для та трактора отримані результати значно зменшуються для оптимізованих маршрутів.

Відсоток відхилень для ГІС коливається від 0,53% до 4,5% від базового варіанту. За винятком маршрутів a1 та a2, загальна вартість зпорожнення сміттєвих контейнерів менша порівняно з базовим варіантом.

У випадку результатів ГІС, зниження витрат на один маршрут складає в середньому 1,5% від існуючої системи. Якщо враховувати всю територію невеликого міста, то за кожний часовий проміжок потрібно проїхати 8 маршрутів самоскидом, який буде випущено на маршрут зі значним обсягом економії коштів на оптимізованому варіанті транспортування.

Також порівняння загальних транспортних витрат ГІС та АС ЗТ ТПВ з базовою системою графічно представлено на Рисунках 4.3 та 4.4 відповідно для транспортування та використання СТЗ.

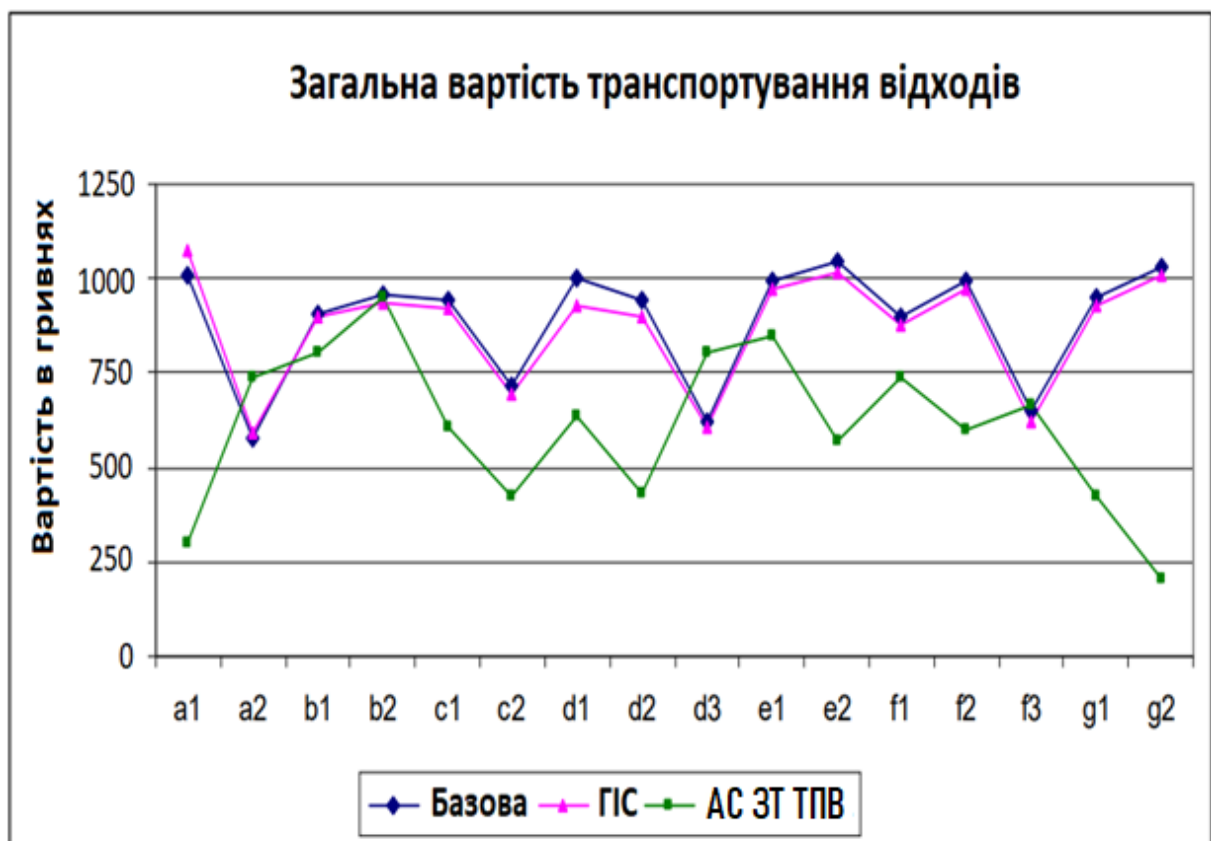


Рисунок 4.3 – Порівняння транспортних витрат ГІС, АС ЗТ ТПВ та базової системи ПТПВ

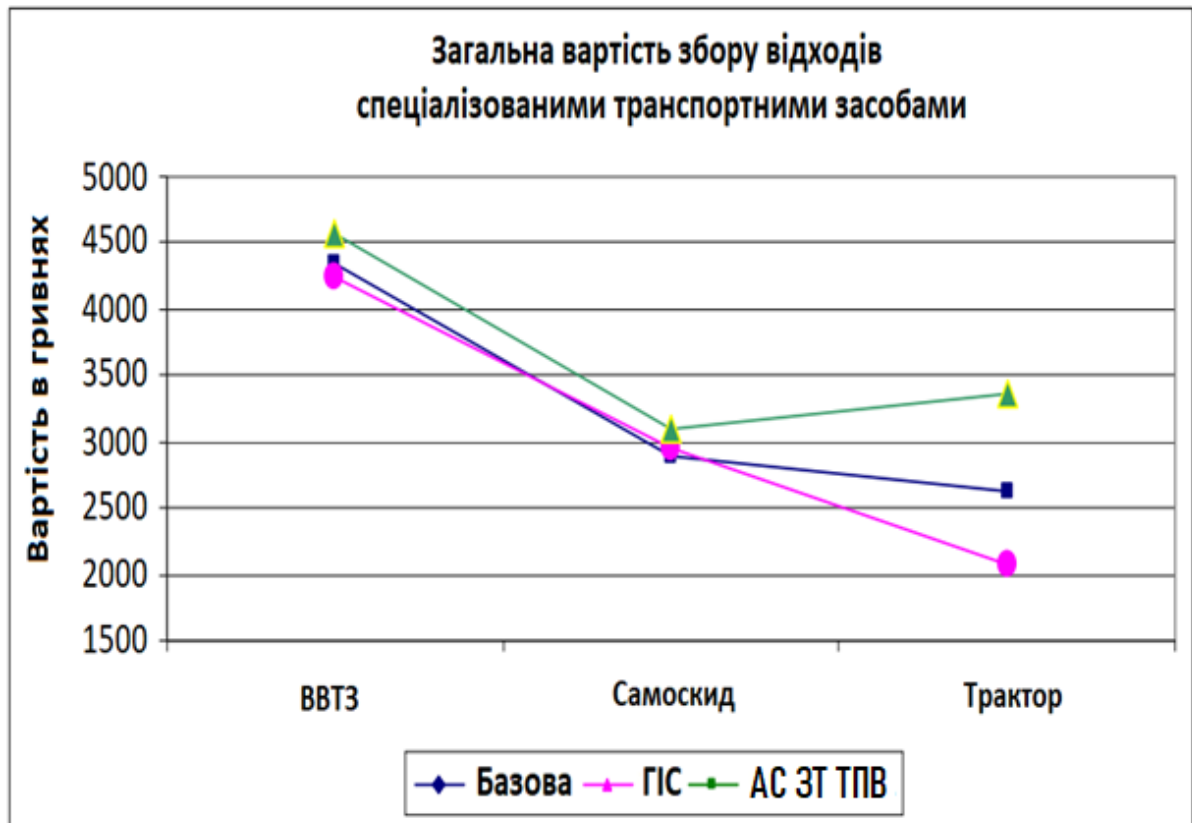


Рисунок 4.4 – Загальні транспортні витрати GIS, АС ЗТ ТПВ та базової системи ПТПВ

При аналізі АС ЗТ ТПВ користувач може негайно та інтерактивно впоратись із короткотерміновими змінами шляхом встановлення нових параметрів за допомогою інструментів, наданих на інтерфейсі. Тільки середньо- та довгострокові зміни повинні бути здійснені як зміни атрибутів. Отже, запропоноване рішення може бути використаним в будь-який час, які б не були зміни. З іншого боку, у запропонованому ГА частину кодування потрібно змінити, але це не є ресурсозатратною операцією.

Для досягнення зменшення витрат на технічне обслуговування транспортних засобів та покращення умов дорожнього руху в міських районах введена концепція часового вікна. Часове вікно певної операції вибирається залежно від дорожнього руху в цій місцевості. Наприклад, певні маршрути можуть пролягати через бізнес-центри або навчальні заклади.

За даними дослідження обсягу руху, протягом 10:00-14:00 вечора рух значно менший порівняно з іншими термінами. Отже, для цього відділення обрано часовий проміжок часу з 9:30 до 12:00, що зменшить час очікування через затори, а отже, транспортний засіб може підтримувати стабільну швидкість, зменшує витрати на технічне обслуговування.

ПМТЗЧВ є важливою складовою маршруту збору та транспортування транспортних засобів у ПТВ. Це дослідження зосереджене на пошуку оптимального шляху транспортування ТПВ із самоскидів та тимчасових перевантажувальних станцій. Оптимальні маршрути для перевезення смітєвих баків, а також для тимчасових станцій передачі також підходять за допомогою підсистеми створення карти мережі зберігання та маршрутизації збору ТПВ. Оптимальні маршрути були отримані на основі сміття, що утворюється в сучасному районі дослідження. Такі обмеження, як односторонній рух, обмеження вантажності транспортних засобів, також дотримувалися на оптимальних маршрутах. Оптимальні маршрути, отримані від АС ЗТ ТПВ, порівнювали з існуючою системою транспортування відходів. Також математична модель була розроблена та перевірена за допомогою одного з еволюційних інструментів оптимізації – генетичний алгоритм. Математична модель розроблена таким чином, щоб розрахувати загальну вартість транспортування. Вартість перевезення, яке надійшло від ГА, порівнюється з існуючою системою.

### ***Зведення результатів ГІС***

Завданнями пошуку оптимізованого маршруту є покращення показників збору та транспортування системи ТПВ. Аналіз оптимальних маршрутів показав, що вибрані маршрути мають низький рівень обсяг трафіку в порівнянні з іншими маршрутами в конкретне часове вікно. Оптимізовані маршрути були отримані з урахуванням максимального часу, необхідного для заміни смітєвих контейнерів у пунктах збору, а також на смітєзвалищі, отже отримана тривалість часу є максимальним часом, який забезпечить розвантаження та буферні терміни для невизначеності на цьому маршруті.

Деякі техногенні перешкоди, такі як публічні збори, впливають саме на цю галузь. Це може вплинути на роботу зі збору та транспортування у цьому конкретному часовому вікні, і це можна подолати, внівши незначні зміни в атрибутивні дані НА. Оскільки перешкоди, зроблені людиною, зазвичай відомі до 24 годин, розроблена модель може дати кращі рішення протягом декількох хвилин. Отриманий маршрут можна візуалізувати, а також вікно напрямку дасть поетапну маршруту транспортного засобу. Це допомагає органам керування ефективно розподіляти ресурси для вирішення критичної ситуації. Подібним чином, якщо перешкода зумовлена стихійними лихами, такими як повені чи урагани, найкращий можливий маршрут може бути обраний за допомогою розробленої ГІС-моделі маршруту.

Розподіл відходів до найближчого бака здійснюється за допомогою мережевого набору даних НА. У зоні пілотного дослідження було розміщено 29 сміттєвих баків, і дорога вздовж сміттєвого смітника буде розподілена таким чином, що половина дороги на будь-якому з смітників буде відведена саме для цього смітника. У цьому дослідженні всі баки приймаються місткістю 1,5 т. Максимальне навантаження, отримане від місця для сміття, для цих даних не перевищує 1,5 т. Район АТВМ в основному має житлові, комерційні будівлі та місця відпочинку. Визначена мережа доріг розроблена для дослідної зони.

Отже, збір відходів від дверей до дверей повинен здійснюватися вранці з 6 до 8 ранку (або) ввечері з 16 до 18 години, що спрощує тимчасовий збір на станціях передачі.

Аналіз збору та транспортування СТЗ виявляє, що рішення НА є економічно порівняним з існуючою системою.

Звідси можна зробити висновок, що сума економії – 5% у зборі сміття за поїздки самоскиду та 13% у випадку перевезення СТЗ за поїздки. З аналізу стає очевидним, що для транспортування сміттєвих відходів потрібно мінімум 75 поїздок транспортних засобів-самоскидів, щоб мати певний запас потужності, АС 3Т ТПВ потребує максимум 80 транспортних засобів-самоскидів, які

транспортуватимуть ТПВ за 6 поїздок. Отже, економія витрат на день становитиме значну суму, і якщо вона буде врахована протягом 1 місяця, то результати будуть доволі успішними. Подібним чином значна кількість економії коштів досягається і у випадку транспортування СТЗ.

### ***Зведення результатів АС ЗТ ТПВ***

З появою високошвидкісних комп'ютерів можна підвищити точність результатів за допомогою еволюційного алгоритму оптимізації для більшості теоретичних проблем дослідження. У цьому дослідженні результати генетичного алгоритму знаходяться в межах допустимого діапазону. Ефективність ГА в порівнянні з існуючою системою призводить до того, що лише 6% оптимальних маршрутів мають відхилення у більшу сторону від існуючої системи.

Проблема ВТПТ для мінімізації загальної вартості перевезення включала два види витрат, а саме, вартість перевезення та фіксовану вартість. Постійні витрати включають витрати на утримання, вартість робочої сили та витрати на утилізацію. Запропоновано евристичний метод, заснований на ГА, для розробки рішення для вищезазначеної рецептури. Запропонована загальна оцінка оцінюється за якістю рішення шляхом порівняння з існуючою системою. Порівняння показує, що АС ЗТ ТПВ генерує рішення краще, ніж базова система.

Поточна схема кодування ГА приймає параметри управління  $p\text{-cross} = 0,3$ ,  $p\text{-mut} = 0,5$ ;  $V = 0,00005$ , оператор РМХ та одинарний оператор випадкового перетворення. Чисельність популяції в запропонованій ГА визначена як 10, незалежно від розміру проблеми. Надійна модель може бути покращена за допомогою тонкої настройки параметрів ГА та співвідношення чисельності сукупності з розміром проблеми. У цій моделі розглядається 50 ітерацій. Для підвищення точності кількість ітерацій потрібно збільшити.

#### 4.4 Висновки до розділу 4

Задля порівняння запропонованого в цій роботі рішення (АС ЗТ ТПВ) та класичного підходу на основі ГІС було підготовлено та виконано відповідне дослідження. Для цього було побудовано карту міста, в якому був проведений експеримент. Після виконання обчислень побудови маршрутів та обрання для них часових вікон було отримано результати для ГІС з класичним підходом та результати для АС ЗТ ТПВ з урахуванням ГА.

Для порівняння цих підходів було створено відповідну Таблицю 4.6, що також бере до уваги значення системи, яка наразі є в експлуатації міста. Для більш зручного подання інформації було наведено графіки цих порівнянь на Рисунках 4.3 та 4.4.

В результаті було отримано співставлення вартості транспортування та збору ТПВ. Як можна побачити з графіків, використання АС ЗТ ТПВ при транспортуванні зменшує витрати в середньому більш, ніж на 30%, що є дуже гарним результатом. Якщо порівнювати показники збору ТПВ, то підхід з використанням АС ЗТ ТПВ майже не змінює кількість витрат (помітні зміни є тільки при використанні тракторного устаткування).

Тому можна стверджувати, що використання розробленої АС ЗТ ТПВ при пошуку маршрутів є економічно обгрунтованим, при цьому не ускладнюючи ні одну складову наявних систем та не використовуючи значних ресурсів для переходу на запропоноване рішення.

## ВИСНОВКИ

1. Дану роботу направлено на створення автоматизованої системи збору та транспортування твердих побутових відходів
2. У ході роботи було досліджено проблему утилізації відходів. Обмеженість матеріальних та економічних ресурсів країн, що розвиваються спонукає до підвищення ефективності наявних систем при цьому не підвищуючи, чи навіть зменшуючи, вартість впровадження та використання розробленої системи.
3. Було проаналізовано безліч прикладів та наукових праць на тему муніципальних служб та систем транспортування. Усі вони були змістовними та економічно обгрунтованими, але вони уникали одну важливу деталь, а саме часові вікна, адже при зборі та транспортуванні відходів, транспортні засоби та відходи в цілому повинні мати найменшу взаємодію з навколишнім середовищем, а також бути доставлені в найкоротший час для запобігання подальшого розкладання.
4. Для побудови моделі АС ЗТ ТПВ було здійснено аналіз та класифікацію методів поводження з відходами, самих відходів та рішень транспортних проблем. Також було описано процес прогнозування кількості утворених ТПВ, що здійснюється за допомогою алгоритму лінійних найменших квадратів.
5. При розробці АС ЗТ ТПВ найбільшу увагу було приділено окремим підсистемам, а саме підсистемі збору і транспортування твердих відходів та підсистемі створення карти мережі зберігання та маршрутизації збору ТПВ. Також у якості алгоритму пошуку ефективних маршрутів було обрано саме генетичний алгоритм, що показує чудові результати, при цьому дозволяючи працювати в динамічному середовищі з великою кількістю змінних.

6. Було формалізовано методологію складання карти пунктів збору ТПВ. Це дозволить операторам комунальних служб та робітникам сфери ІТ легко впровадити розроблену АС ЗТ ТПВ до вже створених систем.
7. Було проведено дослідження АС ЗТ ТПВ щодо ефективності використання саме цього рішення при побудові такої системи. Для цього було розроблено карту невеликого міста з усією інформацією, яка необхідна для обчислень. В результаті було отримано деталі маршрутів з підходом, використовуючи лише ГІС, та з підходом, який використовує також ГА.
8. Було проведено аналіз результатів дослідження та порівняння їх з маршрутами, які вже наразі існують без використання ГІС, та з маршрутами, що побудувала саме ГІС. У результаті було отримано порівняльні графіки кожної системи, з яких можна зробити висновок, що транспортування за маршрутами побудованими за допомогою ГА є більш, ніж на 30% дешевшим за транспортування за базовими маршрутами, чи тими, що побудувала ГІС.
9. Зроблено висновок, що мета дослідження була досягнута і ефективність системи збору та транспортування ТПВ була підвищена та витрати на саме транспортування було зменшено.

#### *Напрямок подальших досліджень*

Це дослідження відкриває певні напрямки для подальшої роботи. Запропонована модель ВТПТ в середовищі ГІС та ГА використовує лише статичні дані. Для підвищення продуктивності, а також для постійного оновлення, можна спробувати динамічне моделювання ВТПТ.

Модель ВТПТ працює на платформі ГІС або ГА. Як розширення роботи, ГА може бути використаний як інструмент для встановлення часового вікна у ВТП, і це ж може бути інтегровано з ГІС.

Іншим напрямком подальших досліджень є розробка веб-додатків для ТПВ, які підтримуватимуть робочий процес організації та впорядковуватимуть усі компоненти, пов'язані з ТПВ.

Модель ВТПТ в середовищі ГА може бути додатково розширено для стохастичних міркувань та міркувань надійності при плануванні, оптимальному розподілі ресурсів та плануванні на основі кінцевої пропускної спроможності.

Застосування інструменту ГА, модель ВТПТ, запропонована в цьому дослідженні можна продовжити за допомогою інших мета-евристичних прийомів, таких як нейронні мережі, а також нечіткої логіки.

Модель ВТПТ передбачає відсутність проміжного майданчика, такого як перевантажувальна станція, для подальшого розширення у цьому напрямку можна спробувати подвійну (етапну) методику вирішення проблеми.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Shekdar A. Municipal Solid Waste management / Shekdar A.V. // The Indian Perspective, Journal IAEM. – 1999. – №27 – с. 100-108.
2. Ramachandra T. Exploring the possibilities of achieving sustainability in Solid Waste Management / Ramachandra T.V., Saira Varghese K. // Indian Journal of Environmental Health. – №45(4). – с. 255-264.
3. Aarne V. Solid Waste Engineering / Aarne Vesilind R., Worrell W.A., Reinhart D.R. // Thomson Asia Pte. Ltd., Singapore. – 2022.
4. Raje D. An approach to assess level of satisfaction of the residents in relation to SWM system / Raje D.V., Wakhare P.D., Deshpande A.W., Bhide A.D. // Waste Management and Research. – 2001. – №19. – с. 12-19.
5. Everett J. Optimal Regional scheduling of Solid Waste System I: Model Development / Everett J.W., Modak A.R. // Journal of Environmental Engineering. – 1996. – с. 785-792.
6. Solano E. Life-cycle based solid waste management. I-Model development / Eric Solano, Ranji Ranjitham S., Morton A.B. and Downey Brill E. // Journal of Environmental Engineering. – 2002. – №128(10). – с. 981-992.
7. Bhide A. Regional overview of solid waste management in South East Asia Region / Bhide A. D. // World Health Organisation, New Delhi. – 1990.
8. Braysy O. Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows / Olli Braysy // Arpakannus 1/2001, Special issue on Bioinformatics and Genetic Algorithms. – 2001. – с. 33-38.
9. Nikolaoe V. Genetic algorithms for municipal solid waste collection and routing optimization / Nikolaoe V.K., Katerina Papatzelou, Vassidi G.L. // International Federation for Information Processing, Artificial Intelligence and innovations 2009: from theory to Application. – 2007. – №247. – с. 223-231.
10. Promentilla M. Evaluation of remedial countermeasures using the analytic network process / Promentilla M.A.B., Furuichi T., Ishii K., Tanikawa N. // Waste Management. – 2006. – №26. – с. 1410-1421.

11. Potvin J. A hybrid approach to vehicle routing using neural networks and genetic algorithms / Jean-Yves Potvin, Danny Dube, Christian Robillard // *Applied Intelligence*. – 1996. – №6. – с.241-252.
12. Chakroborty P. An asexual genetic algorithm for the general single vehicle routing problem / Partha Chakroborty, Arijit Mandal // *Engineering Optimization*. – 2005. – №37(1). – с. 1-27.
13. Jih W. Using family competition genetic algorithm in pickup and delivery problem with time window constraints / Wan-Rong Jih, Cheng-Yen Kao, Jane Yung-Jen Hsu // *Proceedings the 2002 IEEE International Symposium on Intelligent Control, Vancouver, Canada*. – 2002. – с. 496-501.
14. Alba E. Solving the Vehicle Routing Problem by using Cellular Genetic Algorithms / Enrique Alba, Bernabe Dorronsoro // *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization*. – 2005. – с. 1-9.
15. Anwar M. Use of GIS for Selecting Suitable Location of Waste Bins / Syed Mahmood Anwar // *Solid Waste Management and GIS*. – 2005. – с. 83-103.
16. Shanmugan S. GIS–MIS–GPS for Solid Waste Management / Senthil Shanmugan // *Advances in Science, Technology & Innovation*. – 2005. – с. 1-9.
17. Thirumalaivasan D. Optimal Route Analysis using GIS / Thirumalaivasan D., Gurusamy V. // *Maps of India 2000*. – 2000. – с. 1-4.
18. Papacostas C. GIS application to the monitoring of bus operation / Papacostas C. S. // *Maps of India 2000*. – 2000. – с. 5-10.
19. Sutapa S. Travel Time calculation with GIS in Rail Station location optimization / Sutapa Samanta, Jha M.K., Oluokun C.O. // *25th ESRI International User Conference*. – 2005. – с. 1-9.
20. Fusco G. A Heuristic transit network design algorithm for medium size towns [Электронный ресурс] // Gaetano Fusco, Stefano Gori, Marco Petrelli. – 2005. – с. 1-5. – Режим доступа до ресурсу: [http://www.iasi.cnr.it/ewgt/13conference/116\\_fusco.pdf](http://www.iasi.cnr.it/ewgt/13conference/116_fusco.pdf)

21. Jun C. Route selection in public transport network using GA [Электронный ресурс] // Chulmin Jun. – 2004. – с. 1-5. – Режим доступа до ресурсу: <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc05/papers/pap1874.pdf>
22. Chakroborthy P. Optimal fleet size distribution and scheduling of Transit Systems using Genetic Algorithm / Partha Chakroborthy, Kalyanmoy Deb, Rajkumar Sharma // Transportation Planning and Technology. – 2000. – №24. – с. 209-225.
23. Chakroborthy P. Optimum Route Network design for Transit Systems using Genetic Algorithms / Partha Chakroborty, Tathagat Dwivedi // Engineering Optimization. – 2002. – №34(1). – с. 83-100.
24. Patnaik S. Urban Bus Transit Route Network Design using Genetic Algorithm / Patnaik S.B., Mohan S., Tom V.M. // Journal of Transportation Engineering. – 1998. – с. 368-375.
25. Fu L. Heuristic shortest path algorithms for transportation applications: state of the art / Fu L., Sun D., Rilett L.R. // Computers and Operations Research. – 2006. – №33(11). – с. 3324-3343
26. Huang. B. GIS and genetic algorithms for HAZMAT route planning with security considerations / Bo Huang, Ruey Long Cheu, Yong Seng Liew // International Journal of Geographical Information Science. – 2004. – №18(8). – с. 769-787.
27. Chakroborthy P. Optimal scheduling of urban transit systems using Genetic Algorithm / Partha Chakroborty, Kalyanmoy Deb, Subrahmanyam P.S. // Journal of Transportation Engineering. – 1995. – с. 544-553.
28. Agarwal J. Transit Route network design using parallel Genetic Algorithm / Jitendra Agarwal, Mathew T.V. // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2004. – с. 248-256.
29. Zhang X. Using Genetic Algorithms to generate alternatives for multi-Objective corridor location problems / Xingdong Zhang // Department of Geography, The University of Iowa. – 2006. – с. 1-7.

30. Kidwai F. A Genetic Algorithm based bus scheduling model for transit network / Farhan Ahmad Kidwai, Baldev Raj Marwah, Kalyanmoy Deb, Mohamed Rehan Karim // Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – 2005. – №5. – с. 477-489.
31. Cunha J. Artificial intelligence applied to rescheduling and optimization / James Cunha Werner, Fogarty T. C. // Operational Research Society (UK), Simulation study group two days workshop. – 2002. – с. 1-7.
32. Srinivasalu G. Evaluation of Normal, Emergency Optimal paths for a solid waste management network of an Indian Town / Srinivasalu G., Radha Krishna Murthy B., Kumara Swamy N., Anji Reddy M. // Journal of the IPHE, India. – 2006. – №1. – с. 43-48.
33. Badran M. Optimization of municipal solid waste management in Port said, Egypt / Badran M.F., El-Haggar S.M. // Waste management. – №26. – с. 534-545.
34. Ogra A. Logistics Management and Spatial Planning for Solid Waste Management System using Geographic Information System / Aurobindo Ogra // Map Asia Conference 2003. – 2003. – с. 1-6.
35. Leao S. Assessing the demand of solid waste disposal in urban region by urban dynamics modeling in a GIS environment / Simone Leao, Ian Bishop, David Evans // Resources, Conservation and Recycling. – 2001. – №33. – с. 289-313.
36. Clarke M. Optimizing, recycling in all of New York City's neighborhoods: Using GIS to develop the REAP index for improved recycling education, awareness and participation / Clarke M. J., Maantay J. A. // Resources, Conservation and Recycling. – 2005. – с. 1-21.
37. Evack J. Improving Public Health Inspectors / Jennifer Evack, Rizwan Shahid, David Strong // Efficiency using Geographical Information Systems Optimal Routing Technology. – 2006. – с. 1-4.
38. Kunka M. Municipal GIS: The Abu Dhabi experience [Электронный ресурс] // Marcin Kunka, Marek Polak, Balaji Krishnamurthy, Abouseif A.M. – 2006. – с. 1-9. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.GISdevelopment.net>

39. Shandas V. A GIS based Water Demand Analysis for Municipal Application / Vivek Shandas, Marina Alberti, John Gibson, Steve Moddemeyer, Jacqueline Meijer-irons // Map India Conference 2003. – 2003. – с. 1-7.
40. Nandan V. Municipal GIS: The Gorakhpur experience [Электронный ресурс] // Vaishali Nandan. – 2003. – с. 1-5. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.gisdevelopment.net/application/urban/overview/pdf/224.pdf>
41. Basnet B. Geographic information system-based manure application plan / Basnet B.B., Apan A.A., Raine S.R. // Journal of Environmental Management. – 2002. – №64. – с. 99-113.
42. Jha M. Using GIS, Genetic Algorithms, and Visualization in Highway Development / Manoj K. Jha, Cyrus McCall, Paul Schonfeld // Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering. – 2001. – №16(6). – с. 399-414.
43. Karimi H. Finding Optimal Bus Service Routes: Internet – Based Methodology to Serve Transit Patrons / Karimi H.A., Ratchata Peachavanish, Jun Peng // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2004. – с. 83-91.
44. Khattak A. Highway safety assessment through Geographic Information System / Khattak A.J., Shamayleh H. // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2005. – с. 407-411.
45. Vijay R. Estimation and Allocation of solid waste to bin through geographical information systems / Ritesh Vijay, Apurba Gupta, Kalamdhad A.S., Sukkumar Derotta // Waste Management and Research. – 2005. – №23. – с. 479-484.
46. Karadimas N. An Innovative Algorithmic Approach for Urban Solid Waste Collection / Karadimas N.V., George Kouzas, Vassili Loumos, Elefterios Kayafas // Proceedings of the 14th International Symposium on New Technologies in Measurement and Instrumentation and 10th Workshop on ADC Modelling and Testing, Gdynia, Poland. – 2007. – с. 269-274.
47. Karadimas N. Genetic Algorithms for Municipal Solid Waste Collection and Routing Optimization / Karadimas N.V., Papatzelou K., Loumos V.G. // International Federation for Information Processing, Artificial Intelligence and Innovations. – 2007. – №247. – с. 223-231.

48. Magrinho A. Municipal Solid Waste disposal in Portugal / Alexandre Magrinho, Filipe Didelet, Viriato Semiao // Waste Management. – 2006. – №26. – с. 1477-1489.
49. Bhide A. Solid Waste Management Collection, Processing and Disposal, AICTE ISTE STTP on SOMUE / Bhide A.D., Sundaresan B.B. // Coimbatore Institute of Technology, Coimbatore. – 2001.
50. Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste // ASTM D5231. – 2016. – №92.
51. Solano E. Life-Cycle-based solid waste management II-Illustrative Applications / Eric Solano, Robert D.D., Kenneth W.H., Ranji Ranjitham S., Morton A., Barlaz A., Drowney Bril E. // Journal of Environmental Engineering. – 2002. – №128(10). – с. 993-1005.
52. Asnani, P. United States Asia Environmental Partnership Report / Asnani, P.U. // United States Agency for International Development, Centre for Environmental Planning and Technology, Ahmedabad. – 2004.
53. Guido P. The Unifying Role of Iterative Generalized Least Squares in Statistical Algorithms / Guido del Pino // Statistical Science. – 1989. – № 4(4). – с. 394-403.
54. Мелкумян К. Ю. Автоматизована система утилізації твердих відходів / К. Ю. Мелкумян, О. В. Сягровський // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2021. – №1(38). – ISSN 1560-8956. – С. 68-71.

## Додаток А

## Налаштування мережевого аналізу ArcGIS

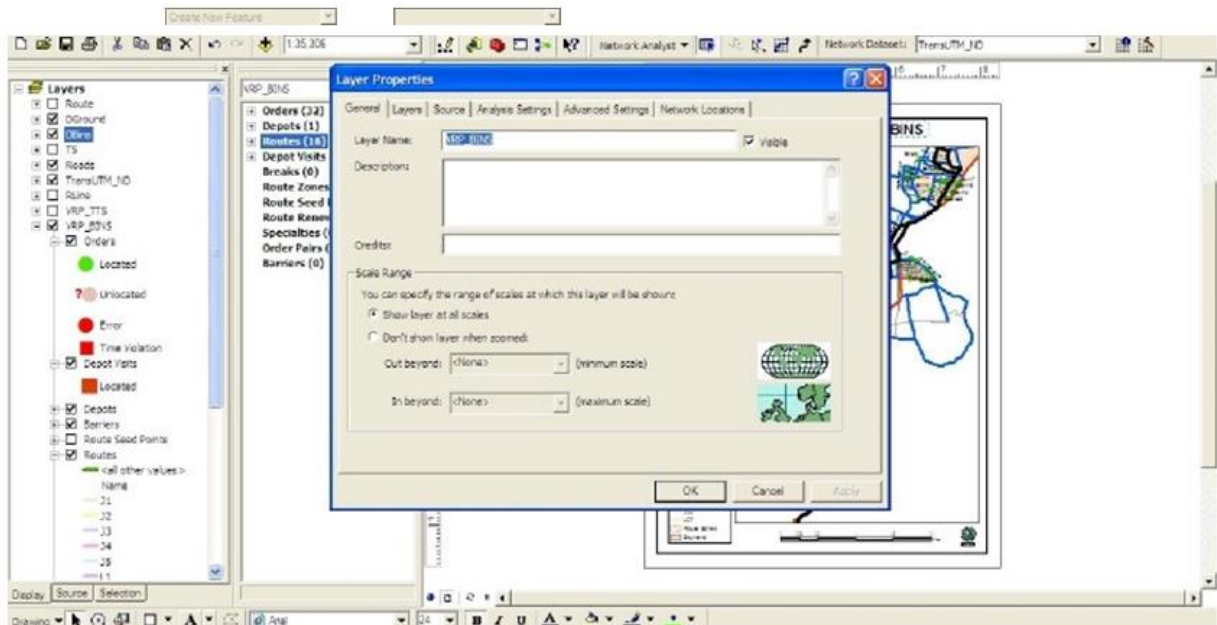


Рисунок А.1 – Знімок екрана загальних властивостей шару ArcGIS

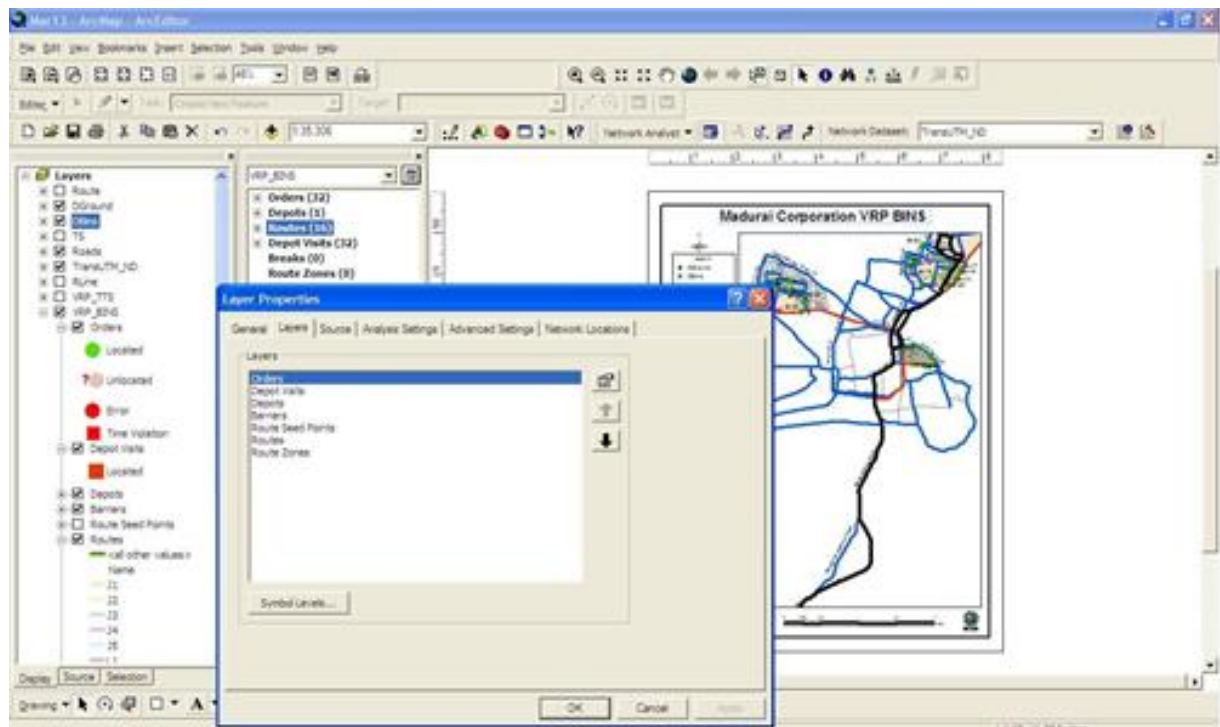


Рисунок А.2 – Властивості шару ВТП в НА

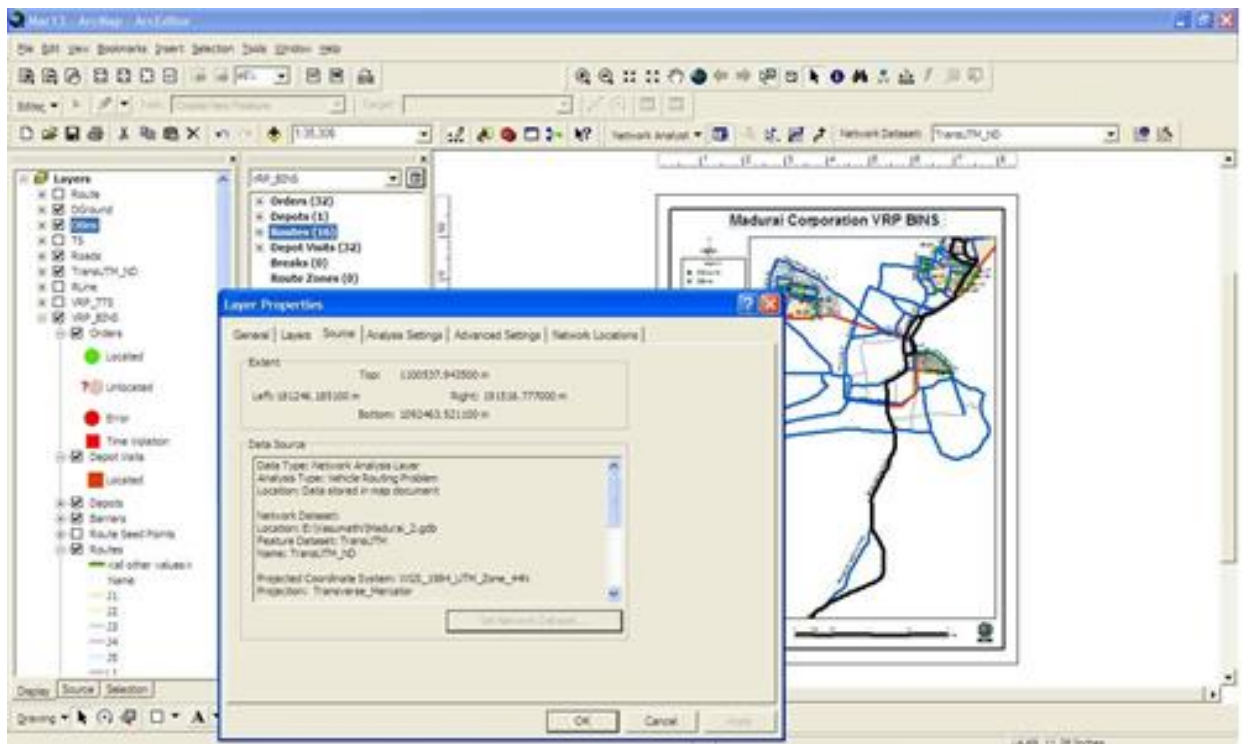


Рисунок А.3 – Знімок екрана, що показує джерело даних у властивостях шару

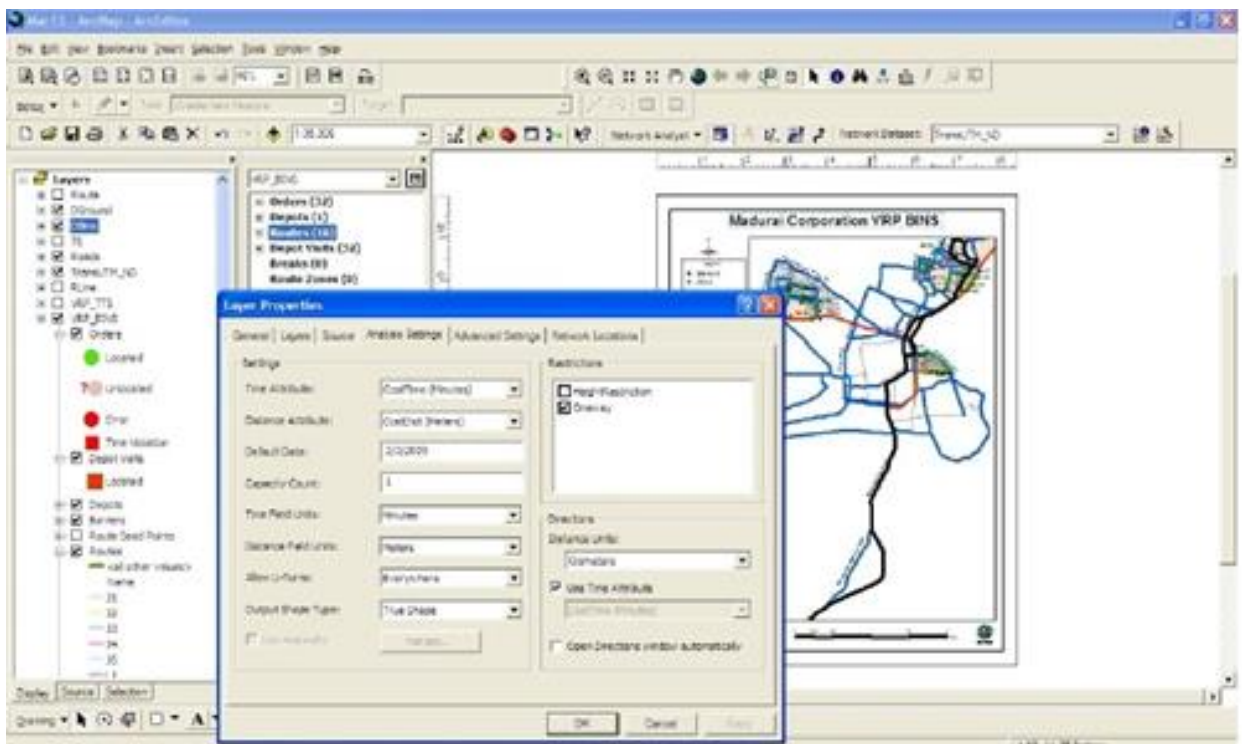


Рисунок А.4 – Параметр аналізу у властивостях шару НА

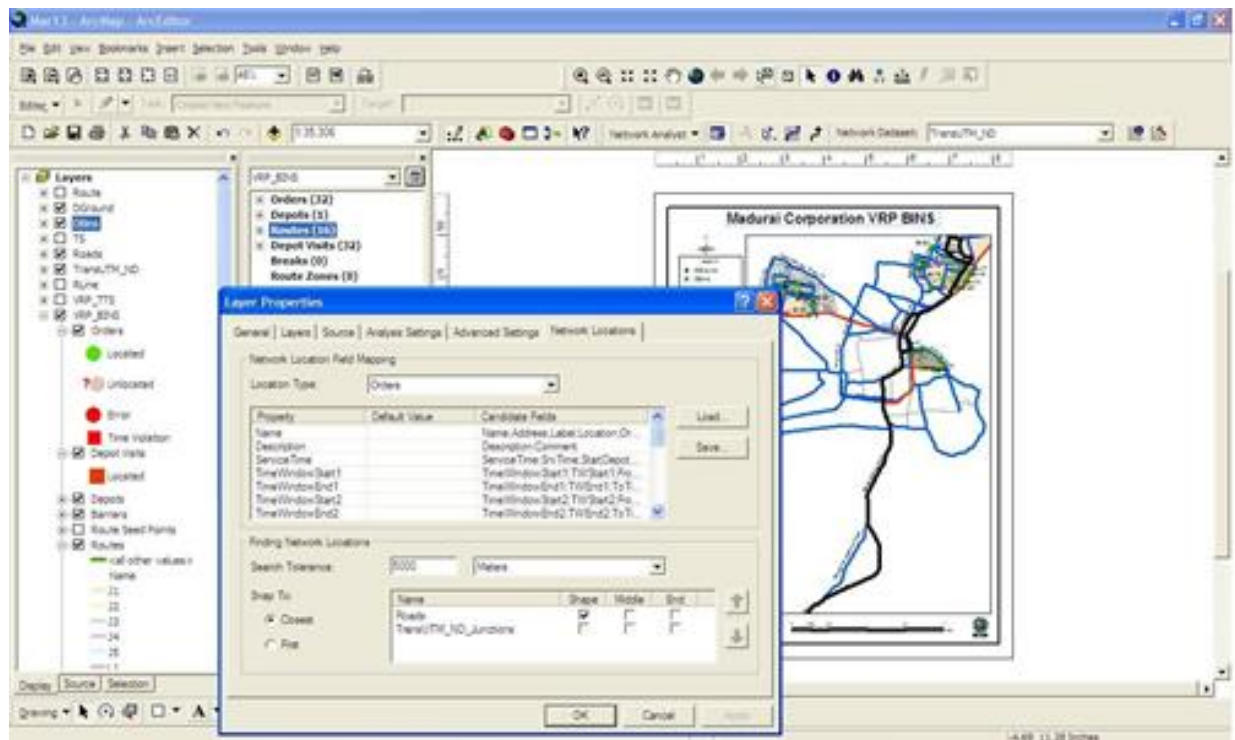


Рисунок А.5 – Розташування мережі у властивостях шару НА