

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КІЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Факультет прикладної математики

Кафедра прикладної математики

«На правах рукопису»  
УДК 656.073

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_  
О. Р. Чертов  
(підпис)

«\_\_\_\_\_» 2015 р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 8.04030101 «Прикладна математика»

на тему: Спосіб оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей  
Рівненської атомної електростанції

Виконала: студентка 2 курсу, групи КМ-31М

Маркова Наталя Миколаївна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Науковий керівник

доцент, канд. техн. наук, ст. наук. співроб.  
Маслянко П. П.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант із  
нормоконтролю

старший викладач Мальчиков В. В.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент

професор, д-р техн. наук, проф.  
Зайцев В. Г.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студентка \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2015 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»**

Факультет прикладної математики  
Кафедра прикладної математики  
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)  
Спеціальність 8.04030101 «Прикладна математика»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
О. Р. Чертов  

---

(підпис)  
« \_\_\_\_ » 2015 р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студентці  
Марковій Наталії Миколаївні**

1. Тема дисертації: «Спосіб оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей Рівненської атомної електростанції», науковий керівник дисертації Маслянко Павло Павлович, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., затверджені наказом по університету від «20» березня 2015 року № 785-С.
2. Термін подання студентом дисертації: «18» червня 2015 р.
3. Об'єкт дослідження: бізнес-процеси автотранспортного підприємства в складі РАЕС, існуючі рішення в області керування запасами, моделі логістики, алгоритми розв'язку задач маршрутизації транспорту, існуючі програмні засоби.
4. Предмет дослідження: спосіб оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей Рівненської атомної електростанції.

**5. Перелік завдань, які потрібно розробити:**

- проаналізувати існуючі рішення та встановити переваги і недоліки існуючих систем в області матеріально-технічного забезпечення підприємства;
- формалізувати модель оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей Рівненської атомної електростанції у вигляді структурного і динамічного представлення;
- розробити спосіб оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей Рівненської атомної електростанції;
- розробити програмне забезпечення для генерації оптимальних маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей Рівненської атомної електростанції та моделювання руху ТМЦ під час безперервного виробництва електроенергії;
- перевірити спосіб оптимізації на адекватність.

**6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:**

- порівняльні таблиці систем в області матеріально-технічного забезпечення підприємства, систем керування запасами та алгоритмів оптимізації маршрутів;
- діаграми компонентів;
- діаграма випадків використання;
- діаграма послідовностей;
- діаграма класів;
- діаграма впровадження;
- діаграми інфологічного та дата логічного проектування;
- скріншоти програмного забезпечення.

**7. Орієнтовний перелік публікацій:**

- VII наукова конференція магістрантів та аспірантів «Прикладна математика та комп’ютинг – ПМК’2015»;
- 17 міжнародна наукової конференції «System Analysis and Information Technologies – SAIT’2015».

**8. Дата видачі завдання «25» жовтня 2015 р.**

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Визначення об'єкта та предмета дослідження	2 лютого–16 лютого 2015	
2	Вивчення літературних джерел	16 лютого–27 лютого 2015	
3	Розгляд існуючих систем в області матеріально-технічного забезпечення	27 лютого–6 березня 2015	
4	Розгляд існуючих систем керування запасами підприємства	6 березня–11 березня 2015	
5	Розгляд існуючих методів розв'язку задачі маршрутизації транспорту	11 березня–16 березня 2015	
6	Підготовка тез для участі в конференціях	16 березня–1 квітня 2015	
7	Робота над текстом 1 та 2-ого розділу магістерської дисертації	1 квітня–21 квітня 2015	
8	Розробка математичного забезпечення	21 квітня–1 травня 2015	
9	Розробка архітектурного представлення програмного забезпечення	1 травня–10 травня 2015	
10	Розробка програмного забезпечення способу оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС	10 травня–30 травня 2015	
11	Написання 3-ого розділу магістерської дисертації	30 травня–7 червня 2015	
12	Написання 4-ого розділу магістерської дисертації	7 червня–14 червня 2015	

Студентка

\_\_\_\_\_

Н. М. Маркова

(підпис)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

П. П. Маслянко

(підпис)

## **РЕФЕРАТ**

**Актуальність теми.** Основою надійного та безперебійного виробництва електроенергії є якісна і своєчасна система товарно-матеріального забезпечення, адже майже половина витрат на товарно-матеріальні цінності в собівартості електроенергії припадає на організацію та обслуговування перевезення матеріалів, обладнання та комплектуючих атомної електростанції. Оптимізація маршрутів дозволить суттєво зменшити обсяг коштів, які витрачаються на доставку товарно-матеріальних цінностей.

В роботі досліджується спосіб оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей Рівненської атомної електростанції, який дозволить автоматизувати процес матеріально-технічного забезпечення станції.

**Об'єктом дослідження** є бізнес-процеси автотранспортного підприємства в складі РАЕС, існуючі рішення в області керування запасами, моделі логістики, алгоритми розв'язку задач маршрутизації транспорту, існуючі програмні засоби.

**Предметом дослідження** є модель оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей Рівненської атомної електростанції.

**Мета роботи:** автоматизувати процес доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС для скорочення термінів поставки, скорочення витрат на повторні поставки, створення довгострокових зв'язків з постачальниками і заводами-виробниками, підвищення ступеню забезпеченості виробництва матеріальними ресурсами, усунення залежаних і не використовуваних ресурсів, зменшення кількості збитків та пошкоджень.

**Методи дослідження.** В роботі використовуються методи математичного моделювання, методи дискретної оптимізації, об'єктно-орієнтоване програмування.

**Наукова новизна** роботи полягає в наступному:

1. Запропоновано модифікацію підсистеми поставок системи планування ресурсів підприємства.
2. Розроблено математичну модель та спосіб оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС на основі задачі маршрутизації транспорту.
3. Запропоновано комбінований метод розв'язку розробленої математичної моделі.

**Практична цінність** отриманих в роботі результатів полягає в тому, що запропонований спосіб оптимізації маршрутів та методи його обчислення дозволяють зменшити витрати на організацію поставок матеріального технічного забезпечення атомної електростанції. Розроблена модель, математичне і програмне забезпечення придатні для практичного розрахунку ефективних маршрутів для підприємств з безперебійним виробництвом продукції, які мають велику кількість постачальників з обмеженим часом роботи та свій автомобільний парк.

**Апробація роботи.** Основні положення і результати роботи були представлені та опубліковані на VII наукова конференція магістрантів та аспірантів «Прикладна математика та комп'ютинг – ПМК'2015» та 17 міжнародна наукової конференції «System Analysis and Information Technologies – SAIT'2015» [1, 2].

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків.

**У вступі** надано загальну характеристику роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, виконано оцінку сучасного стану проблеми, обґрунтовано актуальність напрямку досліджень, показано наукову новизну отриманих результатів і практичну цінність роботи.

У першому розділі розглянуто існуючі системи в області матеріально-технічного забезпечення і системи керування запасами; наведено порівняльні таблиці вище перерахованих; обґрутовано вибір системи для планування ресурсами станції та керування запасами; досліджено методи розв'язку задачі маршрутизації транспорту з врахуванням вантажопідйомності автомобільного транспорту, «часових вікон» постачальників, обмежень часу маршрутів та обмежень автотранспортного парку; наведено порівняльну таблицю, за допомогою якої обґрутовано вибір методу оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей Рівненської атомної електростанції.

У другому розділі розроблено математичні моделі для локальних та зовнішніх перевезень; обґрутовано вибір методів оптимізації локальних та зовнішніх перевезень; розглянуто та вибрано засобі реалізації способу оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей.

У третьому розділі детально описано розробку способу оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей з урахуванням обмеженості парку транспортних засобів РАЕС, вантажопідйомності автомобілів, «часових вікон» постачальників та тривалості маршруту.

У четвертому розділі описано архітектурне та динамічне представлення програмного забезпечення, представлена інструкція користувача та скріншоти інтерфейсів компонентів програмного продукту.

У висновках проаналізовано отримані результати роботи.

У додатках наведено ілюстративний матеріал та код програмного забезпечення.

Робота виконана на 113 аркушах, містить 4 додатки та посилання на список використаних літературних джерел з 35 найменувань. У роботі наведено 22 рисунки та 5 таблиць.

**Ключові слова:** математична модель, оптимізація маршрутів, матеріально-технічне забезпечення атомної електростанції, РАЕС, задача маршрутизації транспорту.

## РЕФЕРАТ

**Актуальность темы.** Основой надежного и бесперебойного производства электроэнергии является качественная и своевременная система товарно-материального обеспечения, потому что почти половина расходов на товарно-материальные ценности в себестоимости приходится на организацию и обслуживание перевозки материалов, оборудования и комплектующих атомной электростанции. Оптимизация маршрутов позволит существенно уменьшить объем средств, которые тратятся на доставку товарно-материальных ценностей.

В работе исследуется способ оптимизации маршрутов доставки товарно-материальных ценностей Ровенской атомной электростанции, который позволит автоматизировать процесс материально-технического обеспечения станции.

**Объектом исследования** является бизнес-процессы автотранспортного предприятия в составе РАЭС, существующие решения в области управления запасами, модели логистики, алгоритмы решения задач маршрутизации транспорта, существующие программные средства.

**Предметом исследования** является модель оптимизации маршрутов доставки товарно-материальных ценностей Ровенской атомной электростанции.

**Цель работы:** автоматизировать процесс доставки товарно-материальных ценностей РАЭС для сокращения сроков поставки, сокращение расходов на повторные поставки, создание долгосрочных связей с поставщиками и заводами-производителями, повышение степени обеспеченности производства материальными ресурсами, устранение залежалых и не используемых ресурсов, уменьшение количества убытков и повреждений.

**Методы исследования.** В работе используются методы математического моделирования, методы дискретной оптимизации, объектно-ориентированное программирование.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Предложена модификация подсистемы поставок системы планирования ресурсов предприятия.

2. Разработана математическая модель и способ оптимизации маршрутов доставки товарно-материальных ценностей РАЭС на основе задачи маршрутизации транспорта.

3. Предложено комбинированный метод решения разработанной математической модели.

**Практическая ценность** полученных в работе результатов заключается в том, что предложенный способ оптимизации маршрутов и методы его вычисления позволяют уменьшить расходы на организацию поставок материального технического обеспечения атомной электростанции. Разработанная модель, математическое и программное обеспечение пригодны для практического расчета эффективных маршрутов для предприятий с бесперебойным производством продукции, которые имеют большое количество поставщиков с ограниченным временем работы и автомобильный парк.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты работы были представлены и опубликованы на VII научной конференции магистрантов и аспирантов «Прикладная математика и компьютеринг – ПМК'2015» и 17 международная научной конференции «System Analysis and Information Technologies - SAIT'2015» [1, 2].

**Структура и объем работы.** Магистерская диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений.

**Во введении** предоставлено общую характеристику работы, сформулированы цели и задачи исследований, выполнена оценка современного состояния проблемы, обоснована актуальность направления

исследований, показано научную новизну полученных результатов и практическую ценность работы.

В первом разделе рассмотрены существующие системы в области материально-технического обеспечения и системы управления запасами; приведены сравнительные таблицы выше перечисленных; обоснован выбор системы для планирования ресурсами станции и управления запасами; исследованы методы решения задачи маршрутизации транспорта с учетом грузоподъемности автомобильного транспорта, «временных окон» поставщиков, ограничений времени маршрутов и ограничений автотранспортного парка; приведена сравнительная таблица, с помощью которой обоснован выбор метода оптимизации маршрутов доставки товарно-материальных ценностей Ровенской атомной электростанции.

Во втором разделе разработаны математические модели для локальных и внешних перевозок; обоснован выбор методов оптимизации локальных и внешних перевозок; рассмотрены и выбраны средства реализации способа оптимизации маршрутов доставки товарно-материальных ценностей.

В третьем разделе подробно описано разработку способа оптимизации маршрутов доставки товарно-материальных ценностей с учетом ограниченности парка транспортных средств РАЭС, грузоподъемности автомобилей, «временных окон» поставщиков и продолжительности маршрута.

В четвертом разделе описано архитектурное и динамическое представление программного обеспечения, представлены инструкции и скриншоты интерфейсов компонентов программного продукта.

В выводах проанализированы полученные результаты работы.

В приложениях приведены иллюстративный материал и код программного обеспечения.

Работа выполнена на 113 листах, содержит 4 приложения и ссылки на список использованных литературных источников из 35 наименований. В работе приведены 22 рисунки и 5 таблиц.

**Ключевые слова:** математическая модель, оптимизация маршрутов, материально-техническое обеспечение атомной электростанции, РАЭС, задача маршрутизации транспорта.



## ABSTRACT

**Theme urgency.** The basis for reliable and uninterrupted of electricity production is high quality and timely system of inventory, because almost half of spending on inventories in the cost of electricity spend for the organization and maintenance of transportation of materials, equipment and components of nuclear power plants. Optimizing routes will significantly reduce the amount of funds spent on the delivery of inventory.

In the paper investigate the method of delivery route optimization inventory of Rivne nuclear power plant, which will automate the process of logistics.

**The object of research** is a business process transport company as part of Rivne nuclear power plant, existing solutions for inventory control, logistics models, routing algorithms for solving the problem of transport, existing software.

**The subject of research** is the way of delivery route optimization of inventory of Rivne nuclear power plant.

**Research objective:** To automate the process of delivering inventory RNPP to reduce the time of delivery, reducing the cost of repeated delivery, creating long-term relationships with suppliers and manufacturing plants, to raise the supply of production material resources, elimination of obsolete and unused resources, reduce losses and damages.

**Research methods.** In this paper, using methods of mathematical modeling, methods of discrete optimization, object-oriented programming.

**The scientific novelty** of the work is as follows:

1. Modification subsystem supplies enterprise resource planning.
2. The mathematical model of delivery route optimization of inventory of Rivne nuclear power plant.
3. A combined solution method developed mathematical model.

**Practical value of results** is that the proposed method of route optimization to reduce the costs of organizing logistic of nuclear power. The model, mathematical and software suitable for practical calculation of effective routes for enterprises with uninterrupted production of products that have a large number of suppliers with a limited operating time and a car park.

**Approbation.** Substantive provisions and results were presented and published at the VII scientific conference of graduate and post-graduate "Applied mathematics and computing - PMK'2015" and 17 international scientific conference «System Analysis and Information Technologies - SAIT'2015» [1, 2].

**Structure and content of the thesis.** Master's thesis consists of introduction, four chapters, conclusions and applications.

The introduction provided the general characteristics of formulated goals and tasks of research, the estimation of the current state of the problem, the urgency towards research, the scientific novelty of the results and practical value of the work.

In the first chapter deals with existing systems in the field of logistics and inventory control systems; the comparative table of them; the choice of systems for resource planning and inventory control station; methods vehicle routing problem solution with limited of number of road transport, "time windows" of suppliers, time constraints limit; choice of method of delivery route optimization of inventory of Rivne nuclear power plant.

In the second chapter deals mathematical models for local and external transport; the choice of methods for optimizing local and external transport; explaining of implementing the method of delivery route optimization inventory.

In the third chapter describes in detail the development of the method of delivery route optimization of inventory considering the limited fleet of vehicles RNPP duty vehicles, "time windows" suppliers and duration of the route.

In the forth chapter describes the architectural and dynamic presentation software presents, user interfaces and screenshots of the software components.

In the conclusions of the results of analyzes.

The appendixes provides illustrations and code software.

The thesis is presented on 113 pages, it contains 4 appendixes and 35 references to the used information sources. 22 drawings and 5 tables are also presented.

Keywords: mathematical model, optimization of routes, logistical support nuclear power, RNPP, vehicle routing problem.



## ЗМІСТ

СПИСОК ТЕРМІНІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ .....	17
ВСТУП .....	19
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	22
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА МЕТОДІВ .....	23
1.1 Огляд існуючих рішень в області матеріально-технічного забезпечення підприємства.....	23
1.1.1 MRP .....	24
1.1.2 MRP II .....	25
1.1.3 ERP .....	27
1.2 Огляд існуючих систем управління запасами .....	28
1.2.1 Система управління запасами з фіксованим розміром замовлення	28
1.2.2 Система управління запасами з фіксованою періодичністю замовлення .....	29
1.2.3 Система управління запасами з встановленою періодичністю поповнення запасу до постійного рівня .....	30
1.2.4 Система «мінімум-максимум» .....	31
1.3 Огляд існуючих алгоритмів оптимізації маршрутів .....	32
1.3.1 Алгоритм Кларка-Райта .....	33
1.3.2 Послідовний алгоритм вставки Моля-Джеймсона .....	34
1.3.3 Модельований (імітований) відпал .....	35
1.3.4 Детермінований відпал .....	36
1.3.5 Генетичний алгоритм .....	37
1.4 Порівняльний аналіз .....	40
Висновки до розділу .....	45
2 ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ .....	47
2.1 Алгоритм Кларка-Райта для локальних перевезень .....	47
2.2 Генетичний алгоритм для зовнішніх перевезень .....	48
2.3 Вибір і обґрунтування засобу для моделювання.....	54
Висновки до розділу .....	58

<b>3 СПОСІБ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ДОСТАВКИ ТОВАРНО-МATERIALНИХ ЦІННОСТЕЙ РІВНЕНСЬКОЇ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ .....</b>	<b>59</b>
3.1   Діаграма компонентів процесу доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС .....	59
3.2   Діаграма випадків використання процесу доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС .....	61
3.3   Діаграма діяльності в процесі доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС .....	63
3.4   Компонента модель способу оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС .....	63
3.5   Діаграма класів способу оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС .....	65
Висновки до розділу .....	66
<b>4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....</b>	<b>67</b>
4.1   Архітектурне представлення програмного забезпечення .....	67
4.1.1 Структура програмного забезпечення .....	67
4.1.2 Інфологічне проектування .....	68
4.1.3 Даталогічне проектування .....	70
4.2   Програмна реалізація .....	71
4.3   Керівництво користувача.....	73
4.4   Адекватність способу оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС .....	76
Висновки до розділу .....	79
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>81</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>83</b>
Додаток А. Ілюстративний матеріал.....	87
Додаток Б. Дані перевезень ТрЦ ВП РАЕС.....	89
Додаток В. Лістинг ПЗ.....	91
Додаток Г. Слайди презентації .....	105

## СПИСОК ТЕРМІНІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

**АСКРО** – це комплекс автоматизованих постів контролю радіаційної обстановки.

**АТОМНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ (АЕС)** – комплекс технічних споруд, призначених для вироблення електричної енергії, шляхом використання енергії, яка виділяється при контролюваній ядерній реакції.

**ЗАДАЧА МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАНСПОРТУ (ЗМТ)** – задача комбінаторної оптимізації, в яких для парку транспортних засобів, розташованих в одному або декількох депо, повинен бути визначений набір маршрутів до декількох віддалених точок-споживачів.

**КОМПОНЕНТНА МОДЕЛЬ** – статична структурна модель, що показує розбиття програмної системи на структурні компоненти та зв'язки (залежності) між компонентами. В якості компонентів можуть виступати файли, бібліотеки, модулі, виконувані файли, пакети і т. п.

**ЛОГІСТИКА ПОСТАЧАННЯ** – це підсистема, яка забезпечує надходження матеріального потоку в логістичну систему. Сировина, основні та допоміжні матеріали, комплектуючі вироби та запасні частини надходять з ринку закупівель на склад підприємства безпосередньо, або через мережу проміжних складів торгово-посередницьких організацій [3].

**ЛОГІСТИЧНИЙ ЛАНЦЮГ, ЛАНЦЮГ ПОСТАВОК** – лінійно-впорядкована множина фізичних та / або юридичних осіб (постачальника, посередників, перевізників та ін.), які безпосередньо брали участь у доведенні конкретної партії продукції до споживача [3].

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ** – система математичних спiввiдношень, якi описують дослiджуваний процес або явище.

**МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ (МТЗ)** – комплекс заходів з планування, своєчасного і комплексного забезпечення

виробництва матеріалами, деталями, виробами, інструментами для виконання будівельно-монтажних та ремонтних робіт [4].

**ТОВАРНО-МАТЕРІАЛЬНІ ЦІННОСТІ (ТМЦ)** – матеріали та обладнання, запасні частини, інструменти, приладдя і комплектуючі, які необхідні для виконання експлуатаційних і ремонтних робіт, а також з метою забезпечення реконструкції та капітального будівництва.

**СТМЗ** – система товарно-матеріального забезпечення.

**СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ (СУЗ)** – це комплекс заходів щодо створення та поповнення запасів, організації безперервного контролю та оперативного планування поставок [5].

**ERP** (Enterprise Resource Planning – планування ресурсів підприємства) – організаційна стратегія інтеграції виробництва і операцій, управління трудовими ресурсами, фінансового менеджменту та управління активами, орієнтована на безперервну балансування та оптимізацію ресурсів підприємства за допомогою спеціалізованого інтегрованого пакету прикладного програмного забезпечення, що забезпечує загальну модель даних і процесів для всіх сфер діяльності [6].

**MRP** (Material Requirements Planning – планування потреб в матеріалах) – концепція планування потреб виробництва в матеріальних ресурсах, яка для визначення потреб використовує інформацію про структуру і технологію виробництва кінцевого продукту, календарний план виробництва, дані складських запасів, договорів поставки матеріалів і комплектуючих тощо [7].

**MRP II** (Manufacturing Resource Planning – планування виробничих процесів) – стратегія виробничого планування, що забезпечує як операційне, так і фінансове планування виробництва, і забезпечує більш широке охоплення ресурсів підприємства, ніж MRP [8].

## ВСТУП

Сьогодні Рівненська АЕС – одне з провідних підприємств атомно-енергетичного комплексу України, що динамічно розвивається і модернізується. Основою надійної експлуатації енергоблоків є якісна і своєчасна система товарно-матеріального забезпечення, адже на сьогоднішній день витрати на товарно-матеріальні цінності в собівартості виробництва енергії підприємства становлять не менше 20-30%. Майже половина цих витрат припадає на організацію та обслуговування перевезення матеріалів, обладнання та комплектуючих АЕС [9]. Оптимізація маршрутів дозволить суттєво зменшити обсяг коштів, які витрачаються на доставку товарно-матеріальних цінностей.

У загальному вигляді задача матеріально-технічного забезпечення полягає у визначенні потреби підприємством достатньої кількості матеріальних ресурсів відповідної якості, в необхідний час, у необхідному місці від надійних постачальників, за своєчасного виконання всіх своїх обов'язків та досягнення оптимальних сукупних витрат управління матеріальним потоком [4].

При формуванні замовлень на ті чи інші матеріальні ресурси слід враховувати не тільки відповідність їх виробничим потребам, але й затрати при наступній обробці. Значна частина витрат полягає в запасах цих ресурсів. Виробничі запаси – засоби виробництва, що знаходяться на складах, призначені для виробничого процесу, але ще не увійшли до нього. Запас являє собою обов'язковий елемент будь-якої економічної системи, згладжує нерівномірність виробництва, обміну, розподілу і потреби матеріальних благ [10].

Відсутність запасів ТМЦ може стати причиною виникнення додаткових витрат, до основних видів яких відносяться:

- втрати від простою виробництва (у тому числі втрати від затримки введення в експлуатацію виробничих об'єктів);
- додаткові витрати на закупівлю (включаючи доставку) ТМЦ за більш високою ціною або використання більш дорогих видів транспортних засобів, а також їх сукупності для термінового задоволення незапланованої потреби підприємства в ТМЦ.

Найбільший вплив управління запасами ТМЦ на діяльність підприємства спостерігається в секторі атомної енергетики. Оптимізація управління логістикою атомної електростанції – одне з ключових завдань її управління: втрати від нераціональної організації бізнес-процесів МТЗ налічують десятки мільйонів доларів щорічно.

Під запасами матеріально-технічних ресурсів на АЕС слід розуміти матеріали та обладнання, запасні частини, інструменти, приладдя і комплектуючі, які необхідні для виконання експлуатаційних і ремонтних робіт, а також з метою забезпечення реконструкції та капітального будівництва.

Ефективність функціонування атомної станції, відповідність виконання комплексу ремонтно-експлуатаційних, будівельно-монтажних робіт, які відповідають проектним вимогам і календарним планам визначається своєчасністю і якістю ресурсного забезпечення підрядних цехів, а також оптимальністю параметрів логістичних рішень. Тому досить важливим питанням в організації товарно-матеріального забезпечення є питання організації та обслуговування перевезень матеріалів, обладнання та комплектуючих для АЕС (див. рисунок 1.1). У цьому випадку значну увагу слід приділяти вибору каналів фізичного руху ТМЦ в рамках складського терміналу, між терміналами, АЕС та постачальниками, а також формуванню транспортного парку, як ключового елементу системи матеріально-технічного забезпечення розвитку АЕС.



Рисунок 1.1 – Сутності системи товарно-матеріального забезпечення [9]

Одним з способів економії витрат на доставку товарно-матеріальних ресурсів є використання автоматизованих систем в області транспортної логістики. Однією з ключових функцій цієї системи є можливість розрахунку і побудови ефективних з точки зору вартості об'їзду маршрутів різного призначення на транспортній мережі [11]. Робота присвячена дослідженню однієї з таких задач, що складається в знаходженні маршрутів для відвідування заданої кількості складів деякою кількістю одиниць транспортних засобів з обов'язковим поверненням в початкове місце розташування після закінчення поїздки.

Отже, метою дослідження є автоматизувати процес доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС для скорочення термінів поставки, скорочення витрат на повторні поставки, створення довгострокових зв'язків з постачальниками і заводами-виробниками, підвищення ступеню забезпеченості виробництва матеріальними ресурсами, усунення залежаних і не використовуваних ресурсів, зменшення кількості збитків та пошкоджень.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

За темою магістерської дисертації формалізовано постановку задачі. Формалізація постановки задачі передбачає розгляд об'єкту, предмету та мети дослідження. Зокрема предмет дослідження встановлює основні результати, які мають бути досягненні в результаті виконання роботи.

Об'єкт дослідження – бізнес-процеси автотранспортного підприємства в складі РАЕС, існуючі рішення в області керування запасами, моделі логістики, алгоритми розв'язку задач маршрутизації транспорту, існуючі програмні засоби.

Предмет дослідження – модель оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей Рівненської атомної електростанції.

Мета дослідження – автоматизувати процес доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС для скорочення термінів поставки, скорочення витрат на повторні поставки, створення довгострокових зв'язків з постачальниками і заводами-виробниками, підвищення ступеню забезпеченості виробництва матеріальними ресурсами, усунення залежаних і не використовуваних ресурсів, зменшення кількості збитків та пошкоджень.

## 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА МЕТОДІВ

### 1.1 Огляд існуючих рішень в області матеріально-технічного забезпечення підприємства

На теперішній час існує велика кількість автоматизованих систем в сфері матеріально-технічного забезпечення підприємства, як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва. Впровадження цих систем в різні області промисловості несе ряд цілей, а саме:

- пришвидшення виконання операцій по збору і обробці даних;
- підвищення рівня контролю та виконавчої дисципліни;
- підвищення оперативності управління;
- зниження витрат особою, яка приймає рішення на виконання допоміжних процесів;
- підвищення ступеню обґрунтованості прийнятих рішень [12].

Якщо розглядати розробку автоматизованої системи для АЕС, то першочерговим фактором, якому вона повинна відповідати це забезпечення безпеки та безперебійного виробництва електроенергії. Враховуючи те, що регулювання тарифів на електроенергію належить державі, при чому відчувається явне недофінансування з її сторони, і те, що енергетичні підприємства не мають змоги самостійно збільшити тарифи на власні послуги, бюджети на розвиток інформаційних технологій є обмеженими, тому й автоматизація в АЕС проходила вибірково. На сьогоднішній день в РАЕС діє автоматизована система контролю радіаційного стану [13]. Спостереження проводиться безперервно в автоматичному режимі, що дозволяє оперативно отримувати необхідну для систематичного аналізу і прогнозу інформацію. Комплекс АСКРО за кількістю, частотою і точністю параметрів та характеристик є унікальним не лише в Україні, але й одним з кращих у світі.

Виходячи з теперішнього стану подій в Україні, Рівненська АЕС почала активне розірвання договорів з Росією і пошук виробників ТМЦ в Україні та Європі. Тому враховуючи, збільшення витрат на своє матеріально-технічне забезпечення, постало питання автоматизації процесу доставки товарно-матеріальних цінностей.

В області керування товарно-матеріальними цінностями підприємства виділяють наступні рішення.

### **1.1.1 MRP**

MRP – концепція планування потреби виробництва в матеріальних ресурсах, яка для визначення потреб використовує інформацію про структуру і технологію виробництва кінцевого продукту, календарний план виробництва, дані складських запасів, договорів поставки матеріалів і комплектуючих тощо [7].

Основна мета систем класу MRP полягає у тому, що будь-яка облікова одиниця ресурсів (товарно-матеріальних цінностей) має бути наявною в потрібний час і в потрібному місці. Принципи функціонування MRP-системи базуються на формуванні, контролі і за необхідності відбувається коригування параметрів надходження матеріальних ресурсів у такий спосіб, щоб всі матеріали, необхідні для виробництва, надходили до моменту їх споживання. Практична реалізація MRP-системи дала змогу оптимально регулювати поставки матеріалів і комплектуючих для виробничого процесу, контролюючи їх витрати у виробництві і складські запаси (див. рисунок 1.2).

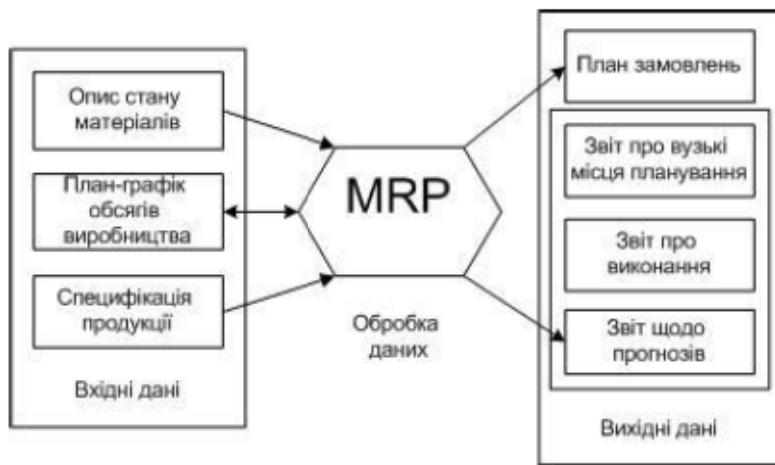


Рисунок 1.2 – Структура системи класу MRP [11]

У MRP є серйозний недолік. Його суть в тому, що, розраховуючи потреба в матеріалах, не враховуються (як мінімум) виробничі потужності, їх завантаження, вартість робочої сили [14]. А впровадження системи для керування матеріальним забезпеченням РАЕС буде невіправдане, тому що вона є застарілою технологією, тому що на ринку з'явились більш розвинені програмні комплекси MRP II та ERP.

### 1.1.2 MRP II

MRP II – концепція управління виробничим підприємством, що ґрунтується на взаємопов'язаному плануванні виробничих потужностей, потребі в матеріалах, фінансах і кадрах [8].

Завдання інформаційних систем класу MRP II – оптимальне управління потоками матеріалів (сировини), напівфабрикатів і готових виробів. Ці проблеми розв'язуються шляхом інтеграції всіх основних процесів, що реалізовуються підприємством: постачання, управління запасами, виробництво, прямий продаж і дистрибуція.

Системи класу MRP II здійснюють:

- планування діяльності підприємства й управління від організації закупівлі до відвантаження товару споживачу;
- оптимізацію матеріальних і фінансових потоків;
- систематизацію управління інформацією: інформація заноситься в систему тільки один раз в місці виникнення і використовується всіма зацікавленими користувачами [14].

MRP II-системи дозволяють досягти узгодженості роботи різних підрозділів, знижуючи при цьому адміністративні витрати. Ці системи підвищують ефективність управління і прийняття управлінських рішень. Використання MRP II дає змогу досягти конкурентних переваг шляхом оптимізації більшості господарських процесів підприємства.

В основі технології MRP II встановлено ієрархію планів (див. рисунок 1.3). Плани нижніх рівнів визначаються характеристиками планів вищих рівнів. Планування здійснюється ітераційно, тобто формування плану нижчого рівня може вплинути на перегляд планів вищого рівня. Отже, виконується координація попиту і пропозиції ресурсів на всіх рівнях планування.



Рисунок 1.3 – Ієрархія виробничих планів в системі класу MRP II

Перевагами цієї системи для РАЕС є скорочення тривалості виробничих циклів, зменшення запасів, швидка реакція на зміни попиту і ін. Недоліком системи класу MRP II є організація постачань, яка не враховує ряд важливих обмежень: часових вікон пунктів доставок, обмеження транспортного парку, вантажопідйомності, доступності географічних точок.

### 1.1.3 ERP

ERP – концепція узгодженого рішення завдань обліку, контролю, планування й управління виробничими і фінансовими ресурсами підприємства. ERP-система – інтегрована інформаційна система управління, що дає змогу створити єдине інформаційне середовище для автоматизації планування, обліку, контролю, управління й аналізу всіх основних господарських процесів підприємства, що реалізовує концепцію ERP [6]. На рисунку 1.4 показано основні функціональні модулі, що входять до складу ERP-систем.



Рисунок 1.4 – Модулі системи класу ERP [11]

Різниця між концепціями MRP II і ERP полягає в тому, що перша орієнтована на виробництво, а друга – на бізнес. Наприклад, такі речі, як умови кредитування замовника з відвантаження готової продукції, потрапляють в поле зору ERP, але не MRP II [15]. А основним недоліком цієї системи для керування матеріально-технічним забезпеченням РАЕС є висока складність, вартість впровадження, не врахування специфіки робіт станції (забезпечення виробництва електроенергії та безпечної роботи, проведення ремонтних та реконструктивних робіт).

## **1.2 Огляд існуючих систем управління запасами**

В кожній системі товарно-матеріального забезпечення повинна функціонувати ефективна система управління запасами.

Система управління запасами – сукупність правил і показників, які визначають момент часу й обсяг закупівлі продукції для поповнення запасів зі встановленою нормою [5].

Норма запасу – розрахунковий мінімальний рівень запасів, який має бути на складі для забезпечення безперебійної реалізації товарів [3].

### **1.2.1 Система управління запасами з фіксованим розміром замовлення**

Розмір замовлення в цій системі – основоположний параметр, який визначається в першу чергу. Він строго зафікований і не змінюється ні за яких умов роботи системи. Замовлення подається в момент, коли поточний запас досягає порогового рівня. Якщо замовлення, яке надійшло, не

поповнює систему до порогового рівня, то нове замовлення проводиться в день надходження замовлення.

Пороговий рівень запасу розраховується, як об'єм запасу, який закінчиться за час поставки, з урахуванням зберігання страхового запасу. При відсутності збойв у постачанні, надходження замовлення відбувається у момент, коли розмір запасу досягає страхового рівня. Страховий запас задовільняє попит на час максимально можливої затримки постачання. Поповнення страхового запасу відбувається у ході наступних поставок. При відсутності збойв у постачанні та оптимальному розмірі замовлення, запас поповнюється до максимально необхідного рівня. На відміну від страхового та порогового, максимально необхідний рівень запасу не впливає на функціонування системи в цілому. Цей рівень запасу визначається для відстеження завантаженості площі складу [3].

Істотним недоліком цієї системи є те, що вона передбачає безперервний облік залишків матеріальних ресурсів на складах, щоб не пропустити момент досягнення «точки замовлення». Крім цього, ця система не орієнтована на облік частих збойв в об'ємах постачання.

### **1.2.2 Система управління запасами з фіксованою періодичністю замовлення**

У системі з фіксованим інтервалом часу між замовленнями замовлення робляться в строго визначені моменти часу через рівні інтервали часу (наприклад, два рази на тиждень або 1 раз на місяць).

В кінці кожного періоду перевіряється рівень запасів і, на підставі цього, визначається розмір партії поставки. Таким чином, у системі з фіксованою періодичністю замовлення змінюється розмір замовлення (обсяг партії), який залежить від рівня витрат (споживання) матеріальних

ресурсів у попередньому періоді. Величина замовлення визначається як різниця між фіксованим максимальним рівнем, до якого відбувається поповнення запасу, і фактичним його обсягом у момент замовлення.

Регулюючими параметрами даної системи є максимальний розмір запасу і фіксований період замовлення, тобто інтервал між двома замовленнями або черговими надходженнями партій.

Перевагою даної системи є відсутність необхідності вести систематичний облік запасів на складах логістичної системи. Недолік же полягає в необхідності робити замовлення іноді на незначну кількість матеріальних ресурсів, а за умови прискорення інтенсивності споживання матеріалів (наприклад, через зростання попиту на готову продукцію) виникає небезпека використання запасу до настання моменту чергового замовлення, тобто виникнення дефіциту [5].

### **1.2.3 Система управління запасами з встановленою періодичністю поповнення запасу до постійного рівня**

У цій системі замовлення проводяться не тільки в фіксовані планові моменти часу, але і при досягненні запасом порогового рівня. Обсяг замовлення визначається за принципом заповнення запасу до максимального бажаного рівня відповідно від поточного або від порогового рівня запасу (з урахуванням споживання за час поставки).

Відмінною особливістю системи є те, що замовлення діляться на дві категорії:

- 1) планові  $Q_p$ , які подають через задані інтервали часу  $t$ ;
- 2) додаткові  $Q_d$ , при зниженні запасів на складі до порогового рівня.

Необхідність додаткових замовлень може з'явитися при відхиленні темпів споживання від запланованих.

Таким чином, дана система включає в себе елемент системи з фіксованим інтервалом часу між замовленнями (встановлену періодичність оформлення замовлення) і елемент системи з фіксованим розміром замовлення (відстеження порогового рівня запасів). На відміну від основних систем вона орієнтована на роботу при значних коливаннях споживання [5].

#### **1.2.4 Система «мінімум-максимум»**

У цій системі замовлення проводяться у фіксовані планові моменти часу, але за умови, що поточний запас у цей момент дорівнює або менше встановленого мінімального (порогового) рівня. Обсяг замовлення визначається за принципом заповнення запасу до максимального бажаного рівня (з урахуванням споживання за час поставки).

Границю рівень запасу в системі «мінімум-максимум» виконує роль «мінімального» рівня. Якщо у встановлений момент часу цей рівень пройдений, то замовлення оформлюється, в іншому випадку замовлення не видається. Відстеження порогового рівня, а також видача замовлення проводяться тільки через заданий інтервал часу  $t$ .

Ця система працює із двома рівнями запасів – мінімальним (пороговим) і максимальним і містить елементи системи з фіксованим інтервалом часу між замовленнями (постійний інтервал між поставками) і системи з фіксованим розміром замовлення (використання порогового рівня). Система «мінімум-максимум» орієнтована на ситуацію, коли витрати на облік запасів і витрати на оформлення замовлення настільки значні, що стають сумірні з втратами від дефіциту запасів [5].

### 1.3 Огляд існуючих алгоритмів оптимізації маршрутів

Частина коштів, яка витрачається на систему матеріально-технічного забезпечення, приходить на організацію та обслуговування доставки матеріалів, обладнання та інструментів. Тому для зменшення витрат на поставки ТМЦ необхідно вдосконалити підсистему логістики в складі СМТЗ за допомогою оптимізації маршрутів.

Оптимізації маршрутів представляється як розв'язок задачі маршрутизації транспорту. Класична постановка цієї задачі виглядає наступним чином [16]:  $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$  – множина всіх вершин (складів).  $v_0$  – вершина, з якої починається побудова маршруту і в якій маршрут закінчується (центральний склад).  $V' = V \setminus \{v_0\}$  – множина з  $n$  вершин для відвідування. Задається матриця відстаней  $C$ ;  $c_{ij}$  – відстань між складами  $v_i$  та  $v_j$ . Потрібно побудувати  $m$  маршрутів транспортних засобів мінімальною сумарною довжиною, які починаються і закінчуються в центральному складі  $v_0$ , і кожна вершина з  $V'$  повинна бути включена в маршрут одного транспортного засобу.

Загальний вид ЗМТ не завжди достатньо детально моделює практичні задачі, тому існує ряд додаткових модифікацій у вигляді різних обмежень. В роботі використано наступні з них:

- кожен транспортний засіб має обмежену вантажопідйомність;
- кожен склад виробників повинен бути відвіданий в певне «часове вікно»;
- кожен склад може обслуговуватись одночасно декількома транспортними засобами;
- доставка може здійснюватись на протязі декількох днів.

На сьогоднішній день відомо досить багато алгоритмів для розв'язку ЗМТ. Здебільшого це евристичні методи, для яких необхідна матриця відстаней (вартостей). ЗМТ є NP-складною задачею, тому найбільш

інтенсивно пошук ведеться в напрямку наближених алгоритмів. Адже час обчислення задачі, при застосуванні точних методів розв'язку, як, наприклад, метод гілок і меж, зростає занадто швидко. ЗМТ передбачає значно більшу кількість варіантів розв'язку, ніж звичайна задача комівояжера при однаковій кількості вершин [17].

Відомі підходи зазвичай орієнтуються на загальне формулювання ЗМТ, а в наведених нижче алгоритмах, вказуються додаткові уточнення постановки задачі.

### 1.3.1 Алгоритм Кларка-Райта

Алгоритм Кларка-Райта (Clarke and Wright) [18] – це один з найвідоміших алгоритмів для вирішення ЗМТ. Його ідея – це процес злиття дрібних маршрутів в більші, який проводиться до тих пір, поки є можливість зменшити сумарну відстань (вартість) об'їзду. Особливу роль у цьому алгоритмі відіграє поняття "збереження" – це зниження загальної вартості розв'язку, яке отримуємо при об'єднанні двох маршрутів.

Відомо два варіанти реалізації алгоритму: паралельний і послідовний. В обох випадках попередньо виконується підготовчий етап. Він полягає в:

1. Обчисленні збереження  $s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$  для  $i, j = 1, \dots, N$  і  $i \neq j$ .
2. Створенні  $n$  маршрутів транспортних засобів  $(0, i, 0)$  для  $i = 1, \dots, N$ .
3. Сортуванні збережень в порядку спадання.

Розглянемо спочатку паралельний варіант алгоритму:

1. Переглядається побудований список збережень з його початку і виконуються наступні дії:

2. Для поточного елементу списку –  $s_{ij}$ , визначається, чи існують два маршрути, один з яких містить дугу або ребро  $(0, j)$ , другий – дугу або ребро  $(i, 0)$ , і які можуть бути об'єднані в один загальний маршрут.
3. Якщо такі маршрути знайдені, то виконується їх об'єднання, видаляючи  $(0, j)$  і  $(i, 0)$ , а потім додаючи  $(i, j)$ .

Послідовний варіант можна представити таким чином:

1. Для всіх маршрутів  $(0, i, \dots, j, 0)$  виконаються наступні дії:
2. Проводиться пошук елемента в списку заощаджень  $s_{ki}$  або  $s_{jl}$ , який може бути використаний для об'єднання поточного маршруту з деяким, який містить дугу (ребро)  $(k, 0)$  або  $(0, l)$ .
3. Якщо елемент був знайдений, то виконується об'єднання і процедура застосовується ще раз до нового маршруту.
4. Якщо збереження знайти не вдалося, то здійснюється перехід до наступного маршруту і продовжується робота.
5. Робота завершується, коли об'єднання провести більш неможливо.

### 1.3.2 Послідовний алгоритм вставки Моля-Джеймсона

Алгоритм Моля-Джеймсона (Mole and Jameson) [19] може застосовуватися для задач з невідомою заздалегідь кількістю транспортних засобів. Він використовує два параметри  $\lambda$  і  $\mu$ .

$$\alpha(i, k, j) = c_{ij} + c_{kj} - \lambda c_{ik} \quad (1.1)$$

$$\beta(i, k, j) = \mu c_{0k} - \alpha(i, k, j) \quad (1.2)$$

Робота алгоритму може бути представлена наступним чином:

1. Якщо немає невикористаних вершин, робота алгоритм завершується. В іншому випадку створюється новий маршрут  $(0, k, 0)$ , де  $k$  – будь-яка невикористана вершина.

2. Для будь невикористаної вершини  $k$  обчислюється вартість можливої вставки в новий маршрут  $\alpha^*(i_k, k, j_k) = \min \{ \alpha(k, k, s) \}$ , де  $r i s$  – будь-які дві сусідні вершини, що належать останньому створеному маршруту. Вершини  $i_k$  та  $j_k$  – дві вершини, які відповідають  $\alpha^*$ . Якщо можливих варіантів вставки не існує, повертаємося на крок 1. В іншому випадку вершину для вставки  $k^*$  вибирається така, щоб вона давала  $\beta^*(i_{k^*}, k^*, j_{k^*}) = \max \{ \alpha(i_k, k, j_k) \}$  серед усіх можливих  $k$ . Далі  $k^*$  додається між вершинами  $i_{k^*}$  та  $j_{k^*}$ .

3. Після додавання вершини виконаємо оптимізацію за допомогою процедури 3-опт [20] і повернемося на крок 2.

Правила вставки контролюються параметрами  $\lambda$  і  $\mu$ . Наприклад, якщо  $\lambda = 1$  і  $\mu = 0$ , алгоритм вставляє вершину, яка дозволить отримати мінімальну відстань. Якщо  $\lambda = \mu = 0$ , то вершина, яка вставляється буде відповідати мінімальній сумі відстаней між двома сусідніми вершинами. Якщо  $\mu = \infty$  і  $\lambda > 0$ , то вершина вставляється максимально віддалено від початкової вершини.

### 1.3.3 Модельований (імітований) відпал

Метод модельованого (імітованого) відпалу (Simulated Annealing) [21] – це алгоритм, дослідження якого велося з метою отримання евристики, здатної до подолання локальних екстремумів цільової функції в процесі пошуку.

Термін "модельований відпал" взято з фізики. Ідея методу з'явилася при спостереженні процесів, які відбуваються в металі в ході охолодження, після досягнення температури плавлення.

Алгоритм використовує поняття граничного розв'язку. До цього розв'язку входять всі рішення, які можуть бути отримані шляхом виконання фіксованої кількості елементарних перетворень з поточного розв'язку. Набір перетворень в кожному варіанті алгоритму різний і описується окремо.

На кожній ітерації роботи алгоритму т розв'язок  $x$  вибирається випадково з границі  $N(x_t)$ , де  $x_t$  – останній розв'язок, знайдений на попередніх ітераціях. Якщо вартість нового рішення  $f(x) < f(x_t)$ , тоді  $x_{t+1}$  встановлюється рівним  $x$ , в іншому випадку виконується одна з двох дій:

$$x_{t+1} = \begin{cases} x, \text{ з ймовірністю } p_t \\ x_t, \text{ з ймовірністю } 1 - p_t, \end{cases} \quad (1.3)$$

де  $p_t = e^{\frac{f(x)-f(x_t)}{\theta_t}}$ ,  $\theta_t$  – "температура" на ітерації  $t$ . Правило, що використовується для визначення  $\theta_t$ , прийнято називати "охолоджуючим розкладом" (cooling schedule). У більшості випадків  $\theta_t$  вибирається як спадна дискретна функція від  $t$ . Її початкове значення задається рівним  $\theta_1 > 0$  і множиться після кожної ітерації  $T$  на коефіцієнт  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ). Це призводить до зменшення ймовірності прийняття найгіршого рішення.

### 1.3.4 Детермінований відпал

Детермінований відпал (Deterministic Annealing) працює таким же чином, як і модельований відпал, за винятком того, що для ухвалення

рішення про наступний крок використовується явно детермінований механізм. Відомі два підходи детермінованого відпалу:

1. Поріг прийняття (Threshold accepting) [22]. Суть алгоритму в тому, що на деякій ітерації  $t$  розв'язку  $x_{t+1}$  приймається, якщо  $f(x_{t+1}) < f(x_t) + \theta_1$ , де  $\theta_1$  – параметр, що вказується користувачем.
2. Хід від рекорду до рекорду (Record to record travel) [23]. В цьому алгоритмі рекордом називається найкращий розв'язок  $x^*$ , яке зафіксоване в процесі пошуку. На деякій ітерації  $t$  рішення  $x_{t+1}$  приймається, якщо  $f(x_{t+1}) < \theta_2 f(x_t)$ , де  $\theta_2$  – параметр, що вказується користувачем і зазвичай має значення трохи більше одиниці.

### 1.3.5 Генетичний алгоритм



Генетичний алгоритм (genetic algorithm) – методика вирішення задач шляхом імітації процесів, які спостерігаються в ході еволюції натуральної природи. Вперше парадигма генетичного алгоритму була запропонована в [24], але знадобилося ще майже десять років, щоб на неї звернули увагу в широких наукових і дослідницьких колах. У чистому вигляді генетичний алгоритм – це загальна методика вирішення задач, яка потребує відносно невелику кількість інформації про предметну область.

Основна схема роботи генетичного алгоритму виглядає наступним чином. Він починає своє виконання з деякої початкової популяції хромосом  $X^1 = \{x_1^1, \dots, x_N^1\}$ , отриманої за допомогою генератора випадкових чисел. На кожній ітерації  $t = 1, \dots, T$  виконуються  $k$  раз кроки з 1 по 3, які наведені нижче ( $k \leq N/2$ ), а потім виконується крок 4.

- а) вибираються дві батьківські хромосоми з  $X^t$ .
- б) породжуються два нашадки на основі двох батьківських хромосом за допомогою оператора скрещування (crossover operator).

в) виконується операція мутації для кожного нащадка (з малою ймовірністю).

г) створюється  $X^{t+1}$  з  $X^t$  шляхом видалення  $2k$  найгірших рішень в  $X^t$  і заміни їх  $2k$  новими нащадками.

У наведеному алгоритмі параметр  $T$  – кількість поколінь, і  $k$  – кількість вибірок в поколінні. Найкраще рішення, отримане за  $T$  поколінь, є остаточним результатом роботи алгоритму. На кроці 1 вибір батьківських хромосом ймовірно схиляється до вибору найкращих варіантів. На кроці 2 нащадок генерується скрещуванням шляхом поєднання бітових рядків, знайдених у батьків. Кожен нащадок може бути потім трохи модифікований на кроці 3 шляхом зміни значення бітів в бітової рядку з малою ймовірністю дляожної бітової позиції. Очікується, що початкова випадково побудована множина буде покращена в ході описаного процесу. Такого висновку дотримуються деякі теоретичні дослідження [25, 26].

Генетичний алгоритм добре підходить для задач зі складними обмеженнями, так як він вимагає відносно невеликої кількість інформації про природу самої задачі. На даний момент можна говорити, що генетичний алгоритм має хороший потенціал для створення швидких методів пошуку рішень ЗМТ в поєднанні з обробкою складних видів обмежень.

### 1.3.6 Мурашиний алгоритм

Ідея мурашиного алгоритму (Ant Systems) [27] – моделювання поведінки мурах, пов'язане з їх здатністю швидко знаходити найкоротший шлях від мурашника до джерела їжі і адаптуватися до мінливих умов, знаходячи новий найкоротший шлях. При своєму русі мураха мітить шлях феромонами, і ця інформація використовується іншими мурахами для

вибору шляху. Це елементарне правило поведінки і визначає здатність мурах знаходити новий шлях, якщо старий виявляється недоступним.

Основні принципи алгоритму для розв'язку задачі маршрутизації виглядають наступним чином [28]. Зожною дугою  $(v_i, v_j)$  асоціюються два значення: видимість  $n_{ij}$  (обернено пропорційно довжині дуги), яка є статичним параметром, і слід феромонів  $\Gamma_{ij}$ , який оновлюється динамічно в ході роботи алгоритму. На кожній ітерації уявні мурахи виконують побудову нових  $n$  маршрутів, починаючи з усіх вершин графа, використовуючи евристику ймовірного найближчого сусіда з модифікованим вимірюванням відстані. Таке вимірювання враховує величину  $n_{ij}$  і  $\Gamma_{ij}$ , щоб вести пошук найближчих сусідів, доступних через ребра з високим значенням феромонів. Передбачається, що деяка частина феромонів випаровується. Для цього вводиться додатковий коефіцієнт  $0 \leq \rho \leq 1$ . В кінціожної ітерації перед тим, як оновити значення феромонів, з їх старої величини віднімається частка  $(1 - \rho)$ . Якщо ребро  $(v_i, v_j)$  було використано мурахою  $k$  і довжина маршруту, побудованого цим мурахом, дорівнює  $L_k$ , то слід феромонів збільшується на  $\Delta_{ij}^k = \frac{1}{L_k}$ . Значення для  $(v_i, v_j)$  оновлюється таким чином:

$$\Gamma_{ij} = \rho \Gamma_{ij} + \sum_{k=1}^N \Delta_{ij}^k \quad (1.4)$$

де  $N$  – кількість мурах. Приведений процес побудови маршрутів і оновлень феромонів виконується фіксовану кількість ітерацій. Коефіцієнт випарів  $(1 - \rho)$  запобігає отриманню поганих рішень на ранніх ітераціях.

Алгоритми мурашиних колоній поки мало дослідженні для застосування у вирішенні ЗМТ. У цьому напрямку є велика кількість можливих варіантів для подальших досліджень.

#### 1.4 Порівняльний аналіз

Порівняльний аналіз рішень в сфері матеріально-технічного забезпечення представлено в таблиці 1.1. Порівняльний аналіз систем управління запасами представлено в таблиці 1.2. Порівняльний аналіз алгоритмів оптимізації представлено в таблиці 1.3.



Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз існуючих систем МТЗ підприємства

№	Назва	Призначення	Функціональність для задоволення потреб РАЕС					Вартість (\$)
			Надання оперативної інформації	Скорочення витрат	Документообіг	Керування поставками	Керування складами (рух ТМЦ)	
1	MRP	Забезпечити наявність на складі необхідної кількості необхідних матеріалів/комплектуючих в будь-який момент часу в рамках терміну планування.	+ +	+ +	- -	- -	- -	5 тис. – 15 тис.
2	MRP II	Оптимальне управління потоками матеріалів, напівфабрикатів і готових виробів. Інтегрує всі основні процеси, що реалізуються підприємством.	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	25 тис. – 100 тис.
3	ERP	Створює єдине інформаційне середовище для автоматизації планування, обліку, контролю, управління й аналізу всіх основних господарських процесів підприємства	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	100 тис. – 1 млн. >1 млн.

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз систем управління запасами

№	Назва	Застосування	Переваги	Недоліки	Особливості
1	СУЗ з фіксованим розміром замовлення	якщо в підприємстві великі втрати в результаті відсутності запасу; високі витрати на зберігання запасів; висока вартість товару, який замовляється; високий ступінь невизначеності попиту	- менший рівень максимального бажаного запасу; - економія витрат на утримання запасів на складі за рахунок скорочення площ під запаси.	введення постійного контролю за наявністю запасів на складі	розмір замовлення в цій системі - основоположний параметр, який визначається в першу чергу. Він строго зафіксований і не змінюється ні за яких умов роботи системи. Замовлення подається в момент, коли поточний запас досягає порогового рівня.
2	СУЗ з фіксованою періодичністю замовлення	якщо умови постачання дозволяють варіювати розмір замовлення; втрати на замовлення і доставку порівняно невеликі; втрати від можливого дефіциту порівняно невеликі	відсутність постійного контролю за наявністю запасів на складі.	- високий рівень максимального бажаного запасу; - підвищення витрат на утримання запасів на складі за рахунок збільшення площ під запаси.	замовлення робляться в строго визначені моменти часу через рівні інтервали часу. Оскільки момент замовлення заздалегідь визначений і незмінний, то постійно перераховують параметром є обсяг замовлення.
3	СУЗ з встановленою періодичністю поповнення запасу до постійного рівня	орієнтована на роботу підприємства при значних коливаннях споживання	система підвищує захищеність від дефіциту запасів	необхідність відстежувати рівень запасів.	замовлення проводяться не тільки в фіксовані планові моменти часу, але і при досягненні запасом порогового рівня. Обсяг замовлення визначається за принципом заповнення запасу до максимального бажаного рівня відповідно від поточного

Продовження таблиці 1.2 – Порівняльний аналіз систем управління запасами

4	СУЗ «мінімум-максимум»	якщо витрати на облік запасів і витрати на оформлення замовлення настільки значні, що стають порівнянними з втратами від дефіциту запасів	гарантійний (страховий) запас дозволяє забезпечувати споживача у разі передбачуваної затримки поставки	допускає дефіцит запасів з економічних міркувань	замовлення проводиться у фіксований планові моменти часу, але за умови, що поточний запас у цей момент дорівнює або менше встановленого мінімального (порогового) рівня. Обсяг замовлення визначається за принципом заповнення запасу до максимального бажаного рівня.
---	------------------------	---	--	--	--

Таблиця 1.3 – Порівняльний аналіз алгоритмів оптимізації маршрутів

№	Назва	Переваги	Недоліки	Особливості
1	Алгоритм Кларка-Райта	Простота реалізації, використання при невідомій кількості транспортних засобів, ефективний при маршрутах розвезення	Для великопартийних перевезень використовується лише для пошуку початкового розв'язку	Особливу роль відіграє поняття збереження - зменшення вартості розв'язку, при об'єданні двох маршрутів. Може використовуватись для симетричних і несиметричних матриць відстаней.
2	Алгоритм Моля-Джеймсона	Використання для задач з невідомою кількістю транспорту, простота реалізації	Для розширення маршруту використовує два параметри, значення яких повинно постійно контролюватись	Використання двох контролюючих параметрів дозволяє правильно вставляти необхідну вершину в створюваний маршрут.

**Продовження таблиці 1.3 – Порівняльний аналіз алгоритмів оптимізації маршрутів**

3	Імітований відпал	Златний подолати локальні екстремуми цільової функції при пошуку розв'язку	Для кожного розв'язку необхідна фіксована кількість перетворень над початковим рішенням, яка повинна визначатись для кожної задачі окремо	Особливу роль відіграє поняття «охолоджуючого розкладу», яке використовується при визначенні ймовірності розв'язку. Вибір спадної функції в якості цього параметру, дозволить зменшити ймовірність знаходження найгіршого розв'язку
4	Легермінований відпал	Використання легермінованого механізму для прийняття рішення про наступний крок (на відміну від імітованого відпалу)	Два підходи цього алгоритму вимагаються наявності параметра для прийняття рішення, який задається користувачем	Прийняття рішення на діякій ітерації вимагає наявності інформації про попередню ітерацію, значення якої коригується за допомогою параметру, який вводиться користувачем і за звичай більший одиниці
5	Генетичний алгоритм	Потребує невелику кількість інформації про природу самої задачі, може працювати зі складними обмеженнями	Чим більша початкова популяція, тим кращий розв'язок буде отримано	Рішення представляється у вигляді ланцюгів чисел, які означають деяку вершину. Положення кожного числа визначає положення вершини в маршруті. Далі для отримання нацадків, розроблюються спеціалізовані оператори мутації та схрещення, які повинні враховувати порядок елементів
6	Мурашиний алгоритм	При внесенні додаткових змін в роботу алгоритму, можна зменшити час пошуку хорошого розв'язку	Не завжди дає хороши результати, і в цілому не можу бути порівняний з іншими мета евристичними та спеціалізованими алгоритмами, якщо не поєднувати його з якимось видом додаткових локальних оптимізацій	Для ЗМТ уявні "мурахи" досліджують простір рішень, імітуючи процес пошуку їхніх природними мурахами, а значення цільової функції зіставляється з поняттям якості їхні.

## Висновки до розділу

1. Проаналізовано існуючі системи забезпечення підприємством товарно-матеріальними цінностями, приведено порівняльну таблицю та отримано досить чітке порівняння за критеріями: призначення, функціональність та вартість. Таким чином, враховуючи обмежену функціональність систем класу MRP та високу вартість систем класу ERP, встановлено, що для якісного та своєчасного керування ресурсами станції доцільно використовувати системи класу MRP II. Для ефективного впровадження выбраної технології в РАЕС потрібно провести суттєве вдосконалення підсистеми організації поставок матеріально-технічних ресурсів. Тому актуальною є задача розробки моделі оптимізації маршрутів товарно-матеріальних цінностей станції.

2. Для надійного і своєчасного керування запасами проаналізовано основні системи управління запасами, приведено порівняльну таблицю та отримано досить чітке порівняння за критеріями: назва, застосування, переваги, недоліки, особливості. Таким чином, враховуючи нерівномірність споживання електроенергії, для РАЕС обрано СУЗ з встановленою періодичністю поповнення запасу до постійного рівня.

3. Одним з варіантів зменшення витрат на організацію та обслуговування поставок ТМЦ є оптимізація маршрутів. Проаналізовано основні методи розв'язку задачі маршрутизації транспорту, приведено порівняльну таблицю та отримано досить чітке порівняння за критеріями: назва, переваги, недоліки, особливості реалізації. Таким чином, враховуючи характер локальних перевезень, обрано алгоритм Кларка-Райта, а саме паралельний варіант його реалізації. Цей алгоритм також використовується як етап побудови початкової популяції для еволюційного пошуку генетичного алгоритму при оптимізації зовнішніх маршрутів. Використання генетичного алгоритму потребує невеликої

кількості інформації про вхідні дані задачі і при цьому може працювати зі складними обмеженнями. Тим паче, чим більша популяція, тим кращий розв'язок буде отримано. Враховуючи активний пошук і розширення бази виробників ТМЦ станції, використання генетичного алгоритму виправдане.



## 2 ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИРИШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

### 2.1 Алгоритм Кларка-Райта для локальних перевезень

Локальні маршрути доставки товарно-матеріальних цінностей станції являють собою розвезення доставлених на центральних склад ТМЦ на склади цехів станції. При чому транспортні засоби повинні виконувати доставку з мінімальною повною довжиною всіх маршрутів  $F$ . Відстані між складами симетричні, тобто  $c_{ij} = c_{ji}$  ( $c_{ii} = 0$ ), де  $c_{ij}$  – відстань від складу  $i$  до  $j$ , де  $i, j \in [0, N]$ . Розв'язок поставленої задачі може бути представлений у вигляді розподілу  $N$  запитів в  $K$  маршрутах,  $K \rightarrow \min$ , при чому кожен маршрут починається і закінчується на складі. Математична модель цих перевезень виглядає наступним чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in \varepsilon} X_{ij}^k c_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in \varepsilon} X_{ij}^k = 1 \\ \sum_{i \in V_s} q_i \sum_{j \in V_s} X_{ij}^k \leq Q, \forall k \in K \\ X_{ij}^k \{0, 1\}, \forall k \in K, \forall (i,j) \in \varepsilon \end{array} \right. \quad (2.1)$$

Маємо  $\zeta = (V, \varepsilon)$  – повний неорієнтований граф, де  $V = \{0, 1, \dots, N\}$  – множина вершин (склад),  $\varepsilon = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$  – множина дуг;  $V_s = V / \{0\}$  – множина складів без центрального складу;  $q_i$  – кількість ТМЦ;  $k \in [1, K]$ ,  $K$  – кількість маршрутів.

Перше обмеження в (2.1) гарантує, що кожен склад обслуговується лише одним транспортним засобом і лише один раз. Наступне – визначає, що транспортний засіб не може обслужити більше клієнтів, ніж це дозволить його вантажопідйомність.

Одним з варіантів оптимізації локальних маршрутів є використання алгоритму Кларка-Райта.

Після виконання підготовчого етапу алгоритму Кларка-Райта (див. розділ 1.3.1) відбувається перегляд побудованого списку збережень з його початку і виконуються наступні дії:

1. Для поточного елементу списку –  $s_{ij}$ , визначається, чи існують два маршрути, один з яких містить дугу або ребро  $(0, j)$ , другий – дугу або ребро  $(i, 0)$ , і які можуть бути об'єднані в один загальний маршрут.

2. Якщо такі маршрути знайдені, то виконується обчислення ваги ТМЦ на створеному маршруті. Якщо вантажопідйомність автомобіля дозволяє вмістити обчислену вагу, то виконується об'єднання знайдених маршрутів, видаляючи  $(0, j)$  і  $(i, 0)$ , а потім додаючи  $(i, j)$ . Якщо обмеження вантажопідйомності транспортного засобу порушене – створюється новий маршрут.



## 2.2 Генетичний алгоритм для зовнішніх перевезень

Задача маршрутизації зовнішніх перевезень стоїть в мінімізації часу, витрат, кількості транспортних засобів доставки ТМЦ від складів постачальників до центрального складу. Функція мінімізації має вигляд:

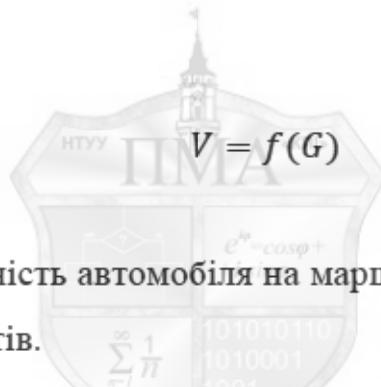
$$F(L, V) \rightarrow \min \quad (2.2)$$

де  $L$  – довжина маршруту,  $V$  – середня швидкість транспортного засобу на цьому маршруті.

Величина  $L$  є постійною, так як відстань між складами завжди задана, а от  $V$  – швидкість, залежить від великої кількості результуючих факторів.

При оптимізації маршрутів необхідно враховувати численні параметри, що впливають на доставку вантажу і витрати з його транспортування. Це такі параметри, як відстань маршруту, вага ТМЦ, швидкість і вантажопідйомність автомобіля, час роботи складів постачальників і якість доріг.

Чим більше вантажопідйомність автотранспортного засобу, тим менша залежність зниження швидкості автомобіля від приросту ваги вантажу транспортного засобу. Це пояснюється тим, що найменша зміна ваги вантажу щодо вантажопідйомності машини обернено пропорційна максимальній вазі вантажу, який може перевезти автомобіль. Таким чином, змінну  $V$  можна записати як залежність від завантаженості автомобіля:

$$V = f(G) \quad (2.3)$$


де  $G$  – вантажопідйомність автомобіля на маршруті,  $V$  – середня швидкість автомобіля на маршруті.

Враховуючи різноманіть автотранспортного парку станції, потрібно враховувати той факт, що на швидкість впливає тип транспортного засобу, тому попередня формула модифікується наступним чином:

$$V = \{f(G), C\} \quad (2.4)$$

де  $C$  – тип транспортного засобу.

Водієві легше маневрувати на широкій рівній дорозі, де швидкість руху висока і може зовсім не обмежуватись, ніж по вузькій місцевій дорозі. Таким чином стан дороги також невід'ємно впливає на швидкість транспортного засобу. Зазвичай виділяють наступні типи доріг:

- a) автомагістралі;

- б) дороги регіонального призначення;
- в) дороги обласного призначення;
- г) дороги місцевого призначення.

Не мало важливим фактором, який впливає на доставку ТМЦ є погодні умови. Адже чим більше опадів на дорозі, тим менший у автомобіля буде коефіцієнт зчеплення шин з дорогою. З цієї причини для забезпечення однакового рівня безпеки на дорозі потрібне певне зниження швидкості, що впливає на час руху вантажу. Температура та вологість навколошнього повітря також впливає на швидкість руху. Але в цьому випадку залежність дуже невелика, так як ці фактори впливають в основному на водія і залежать від його фізичного і психологічного стану.

Для зовнішніх перевезень накладається ряд обмежень, які представлені в наступній математичній моделі:

$$\begin{cases} F(L, \{f(G), C, R, W\}) \rightarrow \min \\ T_{min} \leq T \leq T_{max} \\ \sum_{i \in V_s} q_i \sum_{j \in V_s} X_{ij}^k \leq Q, \forall k \in K \\ \sum_{i \in V_s} T_i \leq D \\ X_{ij}^k \{0, 1\}, \forall k \in K, \forall (i, j) \in \varepsilon \end{cases} \quad (2.5)$$

де  $C$  – тип автомобіля;  $R$  – тип дороги;  $W$  – погодні умови;  $T$  – час приуття автомобіля в склад постачальника;  $T_{min}$ ,  $T_{max}$  – робочий час складу постачальника.

Перше обмеження в (2.5) забезпечує приуття транспортного засобу в робочий час складу постачальника; друге – гарантує, що об'єм замовлених ТМЦ не перевищить вантажопідйомності автотранспортного засобу. Наступне – гарантує, що тривалість маршруту не перевищить встановленого часу на здійснення доставки ТМЦ.

Враховуючи низку факторів, які впливають на побудову маршруту, вводиться поняття віртуального маршруту – реальна довжина між

складами постачальника, скоригована в меншу чи більшу сторону за допомогою коефіцієнтів залежності від перерахованих вище факторів.

Одним з варіантів оптимізації зовнішніх маршрутів запропоновано використання модифікованого генетичного алгоритму (див рисунок 2.1).

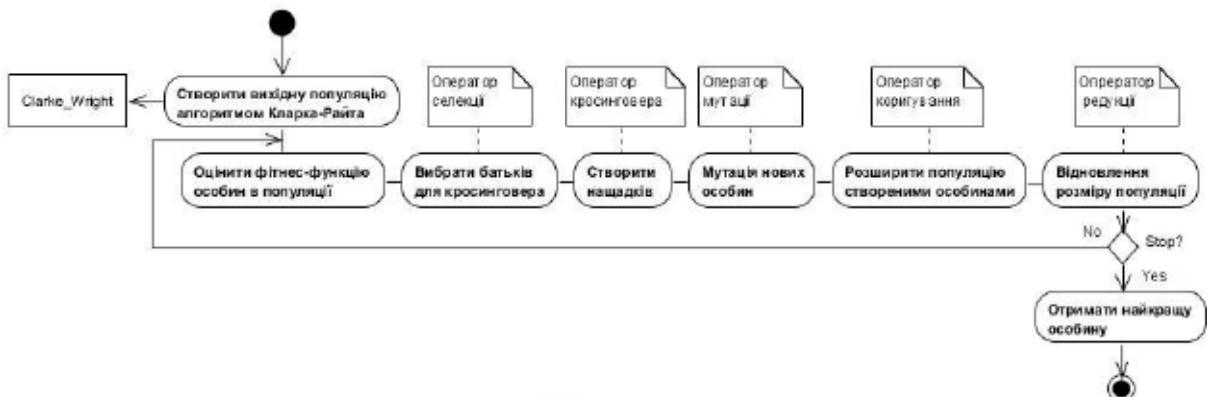


Рисунок 2.1 – Модифікований генетичний алгоритм

Враховуючи характер задачі, генетичний матеріал особи представляються у вигляді масиву декількох маршрутів (див. рисунок 2.2).

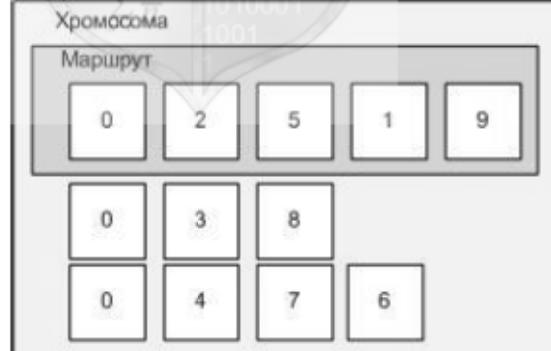


Рисунок 2.2 – Генетичний матеріал особи

Початкова популяція формується евристичним методом Кларка-Райта (див. розділ 1.3.1). Цим вже на початкову етапі отримаємо хорошу популяцію для еволюційного пошуку і скоротимо кількість кроків генетичного алгоритму.

Для оцінки якості отриманих рішень застосовується наступна функція:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_{ij}^k c_{ij} + \sum_{i=1}^N \alpha_i + \sum_{i=1}^N \beta_i \rightarrow \min \quad (2.10)$$

де параметри  $\alpha$  і  $\beta$  вводяться як штраф, які накладаються при порушенні обмежень «часових вікон» складів постачальників та вантажопідйомності транспортного засобу відповідно. Якщо  $\alpha = \beta = 0$ , то маршрут формується з попаданням в робочий час складу постачальника і в змозі забрати потрібну кількість ТМЦ.

В якості оператору селекції обрано метод ранжування, в якому ймовірність відбору дляожної особини залежить тільки від її позиції в упорядкованому за значенням цільової функції множини особин, а не від самого значення фітнес-функції. Це збільшує ймовірність вибору особин з малими значеннями цільової функції, що сприятиме розвитку популяції у всіх напрямках [29].

Для створення нащадків запропоновано використання модифікованого оператору кросинговеру, що враховує специфіку досліджуваного завдання. Кількість батьків, що беруть участь в скрещуванні визначається числом  $M$ , збільшення  $M$  дозволяє більш ефективно передавати властивості батьків нащадкам, збіжність алгоритму збільшується, але це загрожує небезпекою попадання в локальній мінімум. При зменшенні  $M$  росте різноманітність у популяції. Оптимальне значення параметра  $M$  варіюється в межах від 2 до 4 [29]. Оператор кросинговеру полягає в наступному:

Маршрути з обраних особин поєднуються в одне рішення. Поки в об'єднаному рішенні є маршрути вибирається маршрут і вставляється в нове рішення, для цього береться випадкове число в межах від 0 до кількості маршрутів в об'єднаному рішенні, яке і буде вказувати номер

маршруту. Далі видаляємо обраний маршрут і всі маршрути, в яких є клієнти з обраного рішення.

Вставляємо склади, які ще не обслуговувались у нове рішення з використанням методу найдешевшого включення з урахуванням обмеження по тривалості маршруту. Якщо вставка не можливе – створюється новий маршрут.

На підставі аналізу сучасних досліджень провідних вчених у вирішенні питання про оптимальну маршрутизацію транспортних засобів та особливостей цієї задачі, розглянуто ряд операторів мутації, які застосовуються з відповідними ймовірностями і не повинні суперечити обмеженню:

$$p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 \geq p_m \quad (2.11)$$

Величина  $p_m$  в (2.11) являє собою загальну ймовірність мутації в хромосомі, і дорівнює 7%.

**Оператори мутації:**

**Обмін.** В хромосомі вибираються два склади і міняють їх. При цьому вони можуть належати одному і тому ж, або різним маршрутам. Якщо новостворене рішення є неприпустимим, то застосовується оператор коректування;

**Інверсія.** Вибирається підмаршрут і реверсується порядок його складів. Якщо це погіршило значення фітнес-функції для рішення, то оператор скасовується;

**Переміщення.** Вибирається підмаршрут і вставляється в інше місце, або в той же маршрут, або в інші;

**Вторинна вставка маршрутів.** Спочатку з розв'язку повністю видаляється маршрут, а потім склади з видалених маршрутів заново вставляються в розв'язок;

Вторинна вставка клієнтів. Спочатку з розв'язку видаляються склади, а потім заново вставляються в маршрут;

Відновлення. Видаляються склади, що порушують тимчасові обмеження з їх маршрутів. Дистанційні склади потім повторно вставляються, використовуючи метод найдешевшого включення з урахуванням обмеження тривалості маршруту;

Перевпорядкування складів. Процедура намагається зменшити повну відстань допустимих рішень, перевпорядковуючи склади в межах маршруту за допомогою евристичного методу вставок [30].

В роботі використано два оператори мутації – вторинна вставка маршрутів та відновлення, які на різних етапах пошуку можуть комбінуватись.

Оператор коригування спрямований на виправлення порушень обмежень для неприпустимих рішень. Він видаляє з маршрутів склади, які порушують обмеження, і намагається переставити їх в інший маршрут так, щоб сформувати допустиме рішення. У випадку, якщо це неможливо – створюється новий маршрут.

Оператор редукції відбирає в нову популяцію 5% елітних хромосом, потім методом рулетки формуємо відсутню кількість особин.

В якості критерію зупинки використовується, або кількість генерацій, або відсутність поліпшення середнього значення фітнес-функції протягом декількох ітерацій.

### **2.3 Вибір і обґрунтування засобу для моделювання**

На теперішній час існує велика кількість програмних засобів для оптимізації маршрутів, але зазвичай вони не враховують специфіку предметної області, а якщо й враховують, – то дуже дорогі.

Програмування поставленої задачі є досить простим, тому не потребується складний, багатофункціональний, масштабний засіб моделювання. Тому найбільш раціонально буде написати самостійне нескладне програмне забезпечення для моделювання нашої моделі на одній з існуючих об'єктно-орієнтованих мов програмування, такої, наприклад, як C#, C++, Java. Для розробки програмного продукту обрано мову програмування C# [31].

Для розробки якісного програмного забезпечення потрібно розробити структурне представлення програми та динамічне представлення її роботи. Для цього було обрано стандартизований засіб для зображення структури та діяльності програмного забезпечення – UML-стандарт.

UML (англ. Unified Modeling Language) – уніфікована мова моделювання, використовується у парадигмі об'єктно-орієнтованого програмування. Є невід'ємною частиною уніфікованого процесу розробки програмного забезпечення. UML є мовою широкого профілю, це відкритий стандарт, що використовує графічні позначення для створення абстрактної моделі системи, називаної UML-моделлю. UML не є методом розробки, іншими словами, у конструкціях цієї мови не повідомляється про те, що робити першим, а що останнім, і не надається інструкцій щодо побудови системи, але ця мова допомагає наочно переглядати компонування системи і полегшує співпрацю з іншими її розробниками. Розробкою UML керує Object Management Group (OMG). Ця мова є загальноприйнятим стандартом графічного опису програмного забезпечення [32].

Елементи UML використовуються для побудови діаграм, які відповідають певній частині системи або точці зору на систему. Існують наступні діаграми [33]:

- Діаграма випадків використання описуєть взаємозв'язки і залежності між групою випадків використання і акторами, що беруть

участь у процесі. Діаграми випадків використання не призначені для показу компонування, вони не можуть описати внутрішню структуру системи. Вони призначені для полегшення обміну інформацією між майбутніми користувачами системи і замовником, вони особливо корисні для визначення переліку можливостей, які повинна мати система. За діаграмами випадків використання можна сказати, що система має робити, але не те, як вона досягає потрібних результатів, для останнього ці діаграми просто не придатні.

– Діаграма класів, на якій показуються різноманітні класи, які утворюють систему і їх взаємозв'язки. Діаграми класів називають «статичними діаграмами», оскільки на них показано класи разом з методами і атрибутами, а також статичний взаємозв'язок між ними: те, яким класам «відомо» про існування яких класів, і те, які класи «є частиною» інших класів,<sup>http://</sup> але не показано методи, які при цьому викликаються.

– Діаграма послідовностей, на якій показується обмін повідомленнями (тобто виклик методів) між декількома об'єктами у окремій обмеженій часом ситуації. Об'єкти є екземплярами класів. Основний наголос на діаграмах послідовностей робиться на порядок і моментах часу, у які повідомлення надсилаються об'єктам.

– Діаграма співпраці, на якій показується взаємодія між об'єктами, які беруть участь у певній події. Ця інформація більшою чи меншою мірою подібна до інформації, показаної на діаграмі послідовностей, але там наголос робиться на часовій характеристиці взаємодії, а на діаграмах співпраці основний наголос робиться на взаємодії між об'єктами та її топології на передньому плані.

– Діаграма станів, на якій зображають різні стани об'єкта під час його існування і стимули, які призводять до переходу об'єкта з одного стану у інший.

- Діаграма діяльності, на якій показується послідовність актів дій системи на основі діяльностей. Діаграми діяльності є особливою формою діаграм стану, на яких містяться лише (або головним чином) діяльності.
- Діаграма компонентів, на якій показуються компоненти програмного забезпечення (або технології компонентів, компоненти CORBA або Java Beans, або просто розділи системи, які чітко відрізняються один від одного), а також елементи, з яких вони складаються, такі як файли з початковими кодами, програмні бібліотеки або таблиці реляційних баз даних.
- Діаграма впровадження, на яких показуються екземпляри компонентів та їх асоціації; вузли, які є фізичними ресурсами, типово, окремими комп’ютерами. Крім того, на них показують інтерфейси і об’єкти (екземпляри класів).
- Діаграма взаємозв’язку сутностей, на яких показується концептуальний дизайн програм для роботи з базами даних. На них показують різноманітні сутності (концепти) у інформаційній системі і існуючі взаємозв’язки і обмеження між ними.

## Висновки до розділу

Обрано і обґрунтовано метод для оптимізації локальних перевезень. Вирішено застосовувати алгоритм Кларка-Райта, який дає хороші результати при маршрутах розвезення ТМЦ по складах станції.

Обрано і обґрунтовано метод для оптимізації зовнішніх перевезень. Вирішено застосовувати модифікований генетичний алгоритм, початкова популяція якого формується за допомогою алгоритму Кларка-Райта.

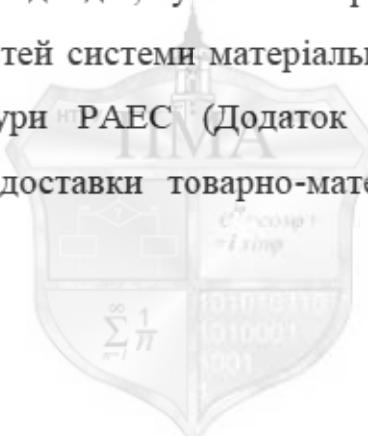
Обґрунтовано вибір засобу для моделювання розроблених оптимальних маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕСЕ. Вирішено створити самостійне, спеціалізоване програмне забезпечення за допомогою середовища програмування Visual Studio 2012. Моделювання розробки програмного забезпечення вирішено проводити в стандартизованому середовищі UML.

### **З СПОСІБ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ДОСТАВКИ ТОВАРНО-МАТЕРІАЛЬНИХ ЦІННОСТЕЙ РІВНЕНСЬКОЇ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

#### **3.1 Діаграма компонентів процесу доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС**

Процес доставки товарно-матеріальних цінностей атомної станції вимагає взаємодії виробників матеріалів та обладнання, запасних частин, інструментів та пристрій, комплектуючих, які необхідні для виконання ремонтних та експлуатаційних робіт; паливних компаній; складів; підприємств з обробки відходів; пунктів захоронення відходів.

На основі сутностей системи матеріально-технічного забезпечення і організаційної структури РАЕС (Додаток А. Рисунок 3) побудуємо компонентну модель доставки товарно-матеріальних цінностей станції (див. рисунок 3.1).



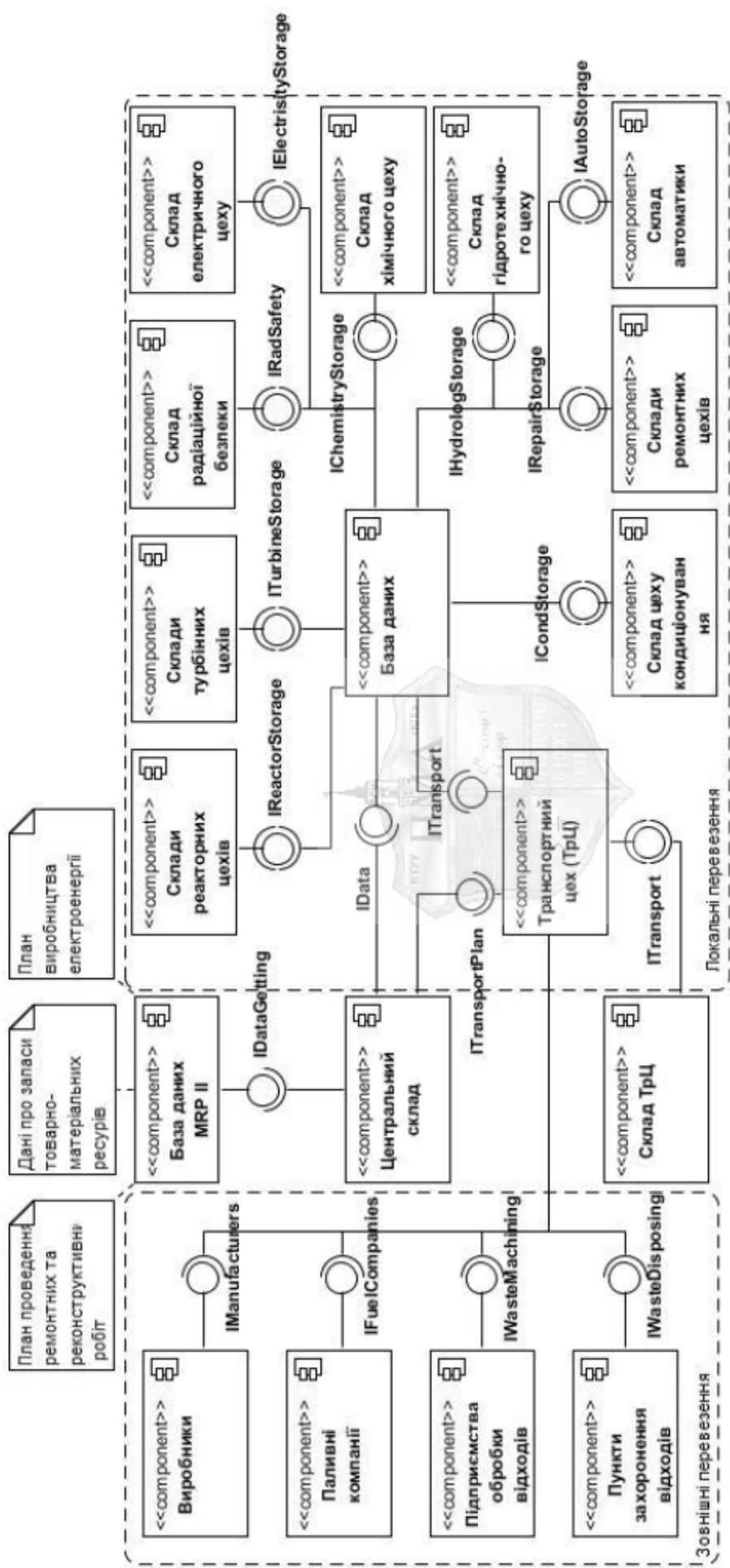


Рисунок 3.1 – Компонентна модель доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС [1, 2]

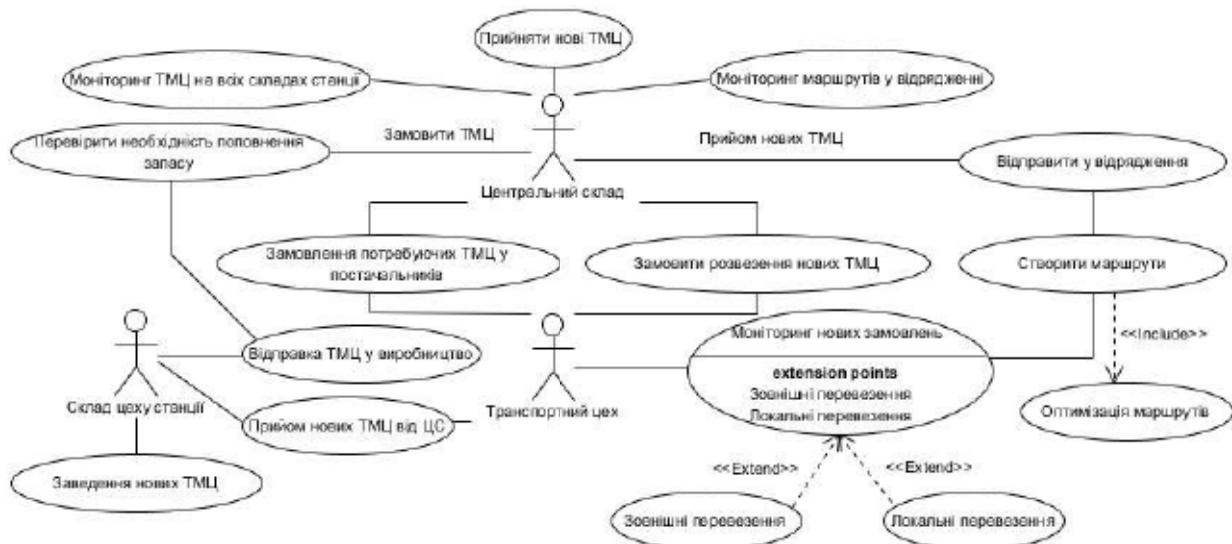
Розроблена компонентна модель дає повне уявлення про процес доставки ТМЦ від складів виробників до складів цехів атомної станції. На компонентній моделі всі маршрути доставки ТМЦ РАЕС розділені на зовнішні, тобто від центрального складу до складів виробників та локальні, тобто від центрального складу до складів цехів станції.

Основними компонентами в представлений діаграмі є:

- a) «Центральний склад», який здійснює моніторинг за наявністю всіх ТМЦ на всіх складах станції, робить нове замовлення, яке формується за допомогою системи керування запасами та робить прийом нових ТМЦ, які прибули від складів виробників.
- б) «Транспортний цех», який робить моніторинг замовлень на локальні та зовнішні перевезення та розроблює оптимальні маршрути, на які призначає водіїв та транспортні засоби.
- в) Склади цехів станції, які на схемі представлені множиною компонентів і повністю відповідають структурній організації складів РАЕС. Основними задачами цих компонентів – заведення ТМЦ, які є на складі та відправка вибрані необхідні ТМЦ у виробництво.

### **3.2 Діаграма випадків використання процесу доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС**

За допомогою діаграми випадків використання відображенено основні взаємозв'язки і залежності між групою випадків використання та акторами, які беруть участь в процесі. Діаграма випадків процесу доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС представлена на рисунку 3.2.



## Рисунок 3.2 – Діаграма випадків використання процесу доставки ТМЦ РАЕС

З рисунку видно, що є три актори, з якими взаємодії система. Актор «Центральний склад» представляє оператора, який використовує систему для замовлення потребуючих ТМЦ та прийому нових ТМЦ, які потрібно розвести по складах цехів РАЕС. Актор «Транспортний цех» представляє оператора, який використовує систему для прийому нових замовлень на локальні та зовнішні перевезення, а також створення оптимальних маршрутів, на які направляє відрядження. Актор «Склад цеху станції» представляє оператора окремого складу цеху станції, який використовує систему для внесення ТМЦ, які є на складі, а також для відправки вибраних ТМЦ для потреб виробництва електроенергії.

### 3.3 Діаграма діяльності в процесі доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС

За допомогою діаграми діяльності представлено на рисунку 3.3 зображені основні діяльності між головними компонентами системи, які були виділені в розділі 3.3.

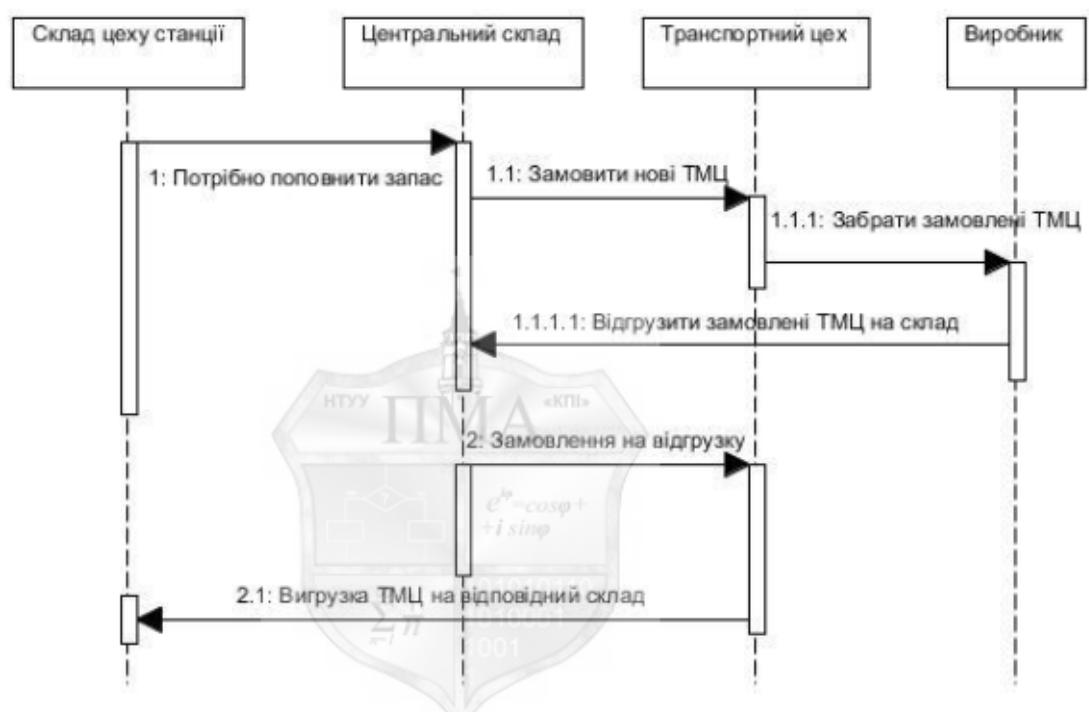


Рисунок 3.3 – Діаграма послідовностей процесу доставки ТМЦ РАЕС

### 3.4 Компонента модель способу оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС

Основну роль в моделі доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС відіграють компоненти «Транспортний цех» та «Центральний склад». На основі їхньої взаємодії досліджено і побудовано компонентну модель оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС (див. рисунок 3.4).

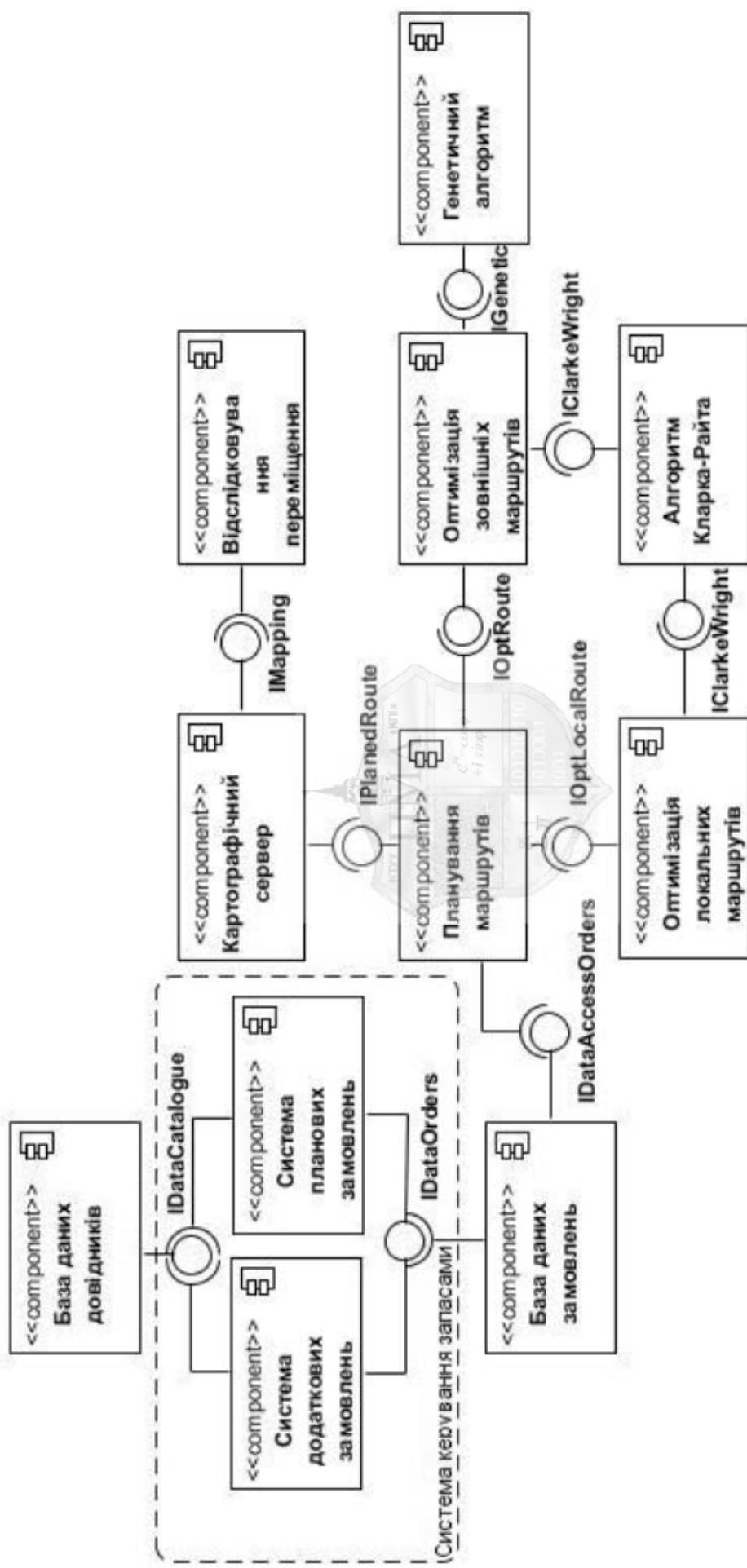


Рисунок 3.4 – Компонентна модель оптимізації маршрутів доставки ТМЦ РАЕС[1, 2]

Реалізована компонентна модель враховує як зовнішні, так і внутрішні перевезення, при чому передбачена можливість зміни алгоритмів оптимізації маршрутів через інтерфейси без зміни основного процесу.

### 3.5 Діаграма класів способу оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС

Діаграма класів способу оптимізації маршрутів доставки ТМЦ РАЕС представлено на рисунку 3.5. Кожен пакет на діаграмі відповідає основним компонентам в моделі доставки ТМЦ від складів виробників до складів цехів.



Рисунок 3.5 – Діаграма класів способу оптимізації маршрутів доставки ТМЦ РАЕС

## Висновки до розділу

За допомогою вибраного засобу моделювання – UML, розроблено ряд діаграм. Діаграми компонентів, випадків використання та діяльності доставки ТМЦ РАЕС побудовані з точки зору системи в цілому, і це дає повне уявлення про процес доставки ТМЦ від складів виробників до складів цехів. Діаграма компонентів способу оптимізації. Діаграма компонентів способу оптимізації маршрутів доставки ТМЦ та діаграма класів побудовані з врахуванням реалізації алгоритмів оптимізації маршрутів зовнішніх та локальних перевезень, а також системи керування запасами та використання бібліотеки GMap.NET, яка дозволяє відобразити оптимальні маршрути.



## 4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 4.1 Архітектурне представлення програмного забезпечення

#### 4.1.1 Структура програмного забезпечення

За допомогою діаграми впровадження на рисунку 4.1 представлено структуру програмного забезпечення. На рисунку представлено візуалізацію компонентів-екземплярів програм та динамічних бібліотек.

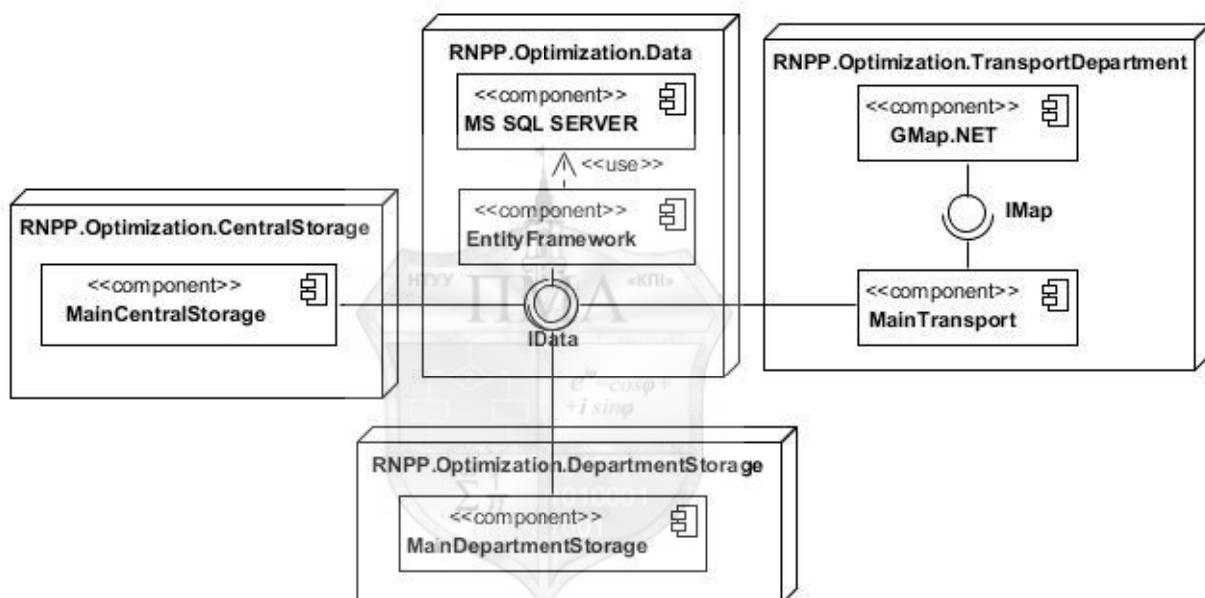


Рисунок 4.1 – Діаграма впровадження програмної реалізації системи доставки ТМЦ РАЕС

Вузол «RNPP.Optimization.CentralStorage» представляє програму, екземпляр якої впроваджується для центрального складу станції для моніторингу всіх ТМЦ складів цехів станції, замовлення потребуючих ТМЦ та прийому замовлених у виробників ТМЦ.

Вузол «RNPP.Optimization.DepartmentStorage» представляє програму, яка впроваджується у кожному складі цехів станції для заведення нових ТМЦ та відправки вибраних ТМЦ в процес виробництва електроенергії.

Вузол «RNPP.Optimization.TransportDepartment» представляє програму, яка впроваджується в транспортний цех РАЕС для генерації оптимальних маршрутів локальних і зовнішніх перевезень.

Вузол «RNPP.Optimization.Data» представляє базу даних, на основі якої сформовано набір сущностей у вигляді класів, за допомогою яких моделюється рух ТМЦ в РАЕС.

#### **4.1.2 Інфологічне проектування**

Інфологічний проект можна зобразити за допомогою діаграм ERD, які відображають ключові сущності та зв'язки між ними. ERD-модель підсистеми включає наступні сущності (в дужках вказано відповідні таблиці спроектованої СУБД):

- а) виробник (Manufacturer) – сутність необхідна для зберігання даних про виробників ТМЦ;
- б) цех станції (NPPDepartment) – сутність необхідна для зберігання даних про цехи РАЕС;
- в) склад (Storage) – сутність необхідна для зберігання даних про склади виробників, цехів станції, в тому числі і про центральний склад;
- г) ТМЦ (Inventory) – сутність необхідна для зберігання даних про товарно-матеріальні цінності, які необхідні для системи керування запасами;
- д) ТМЦ в документах (InventoryToDocument) – сутність необхідна для реалізації множинного зв'язку між сущностями Inventory та Document;
- е) документ (Document) – сутність необхідна для зберігання всіх дій, які відбуваються в системі, щоб мати змогу документально відслідковувати ТМЦ в процесі виробництва;

- ж) статус (Status) – сутність необхідна для зберігання статусів для документів, тобто для розрізняння документів на різних етапах виробництва;
- з) маршрут (Route) – сутність необхідна для зберігання даних створений маршрут, який починається і закінчується в центральному складі;
- и) під маршрути (RouteNode) – сутність необхідна для зберігання даних про під маршрути, а саме кожен рядок представляє «вузол», який має початок і кінець;
- к) водій (Driver) – сутність необхідна для зберігання даних про водіїв, які працюють в транспортному цеху;
- л) транспортний засіб (Car) – сутність необхідна для зберігання даних про наявні автомобілі в транспортному цеху станції.

Діаграма сутностей та зв'язків підсистеми представлена на рисунку 4.2.



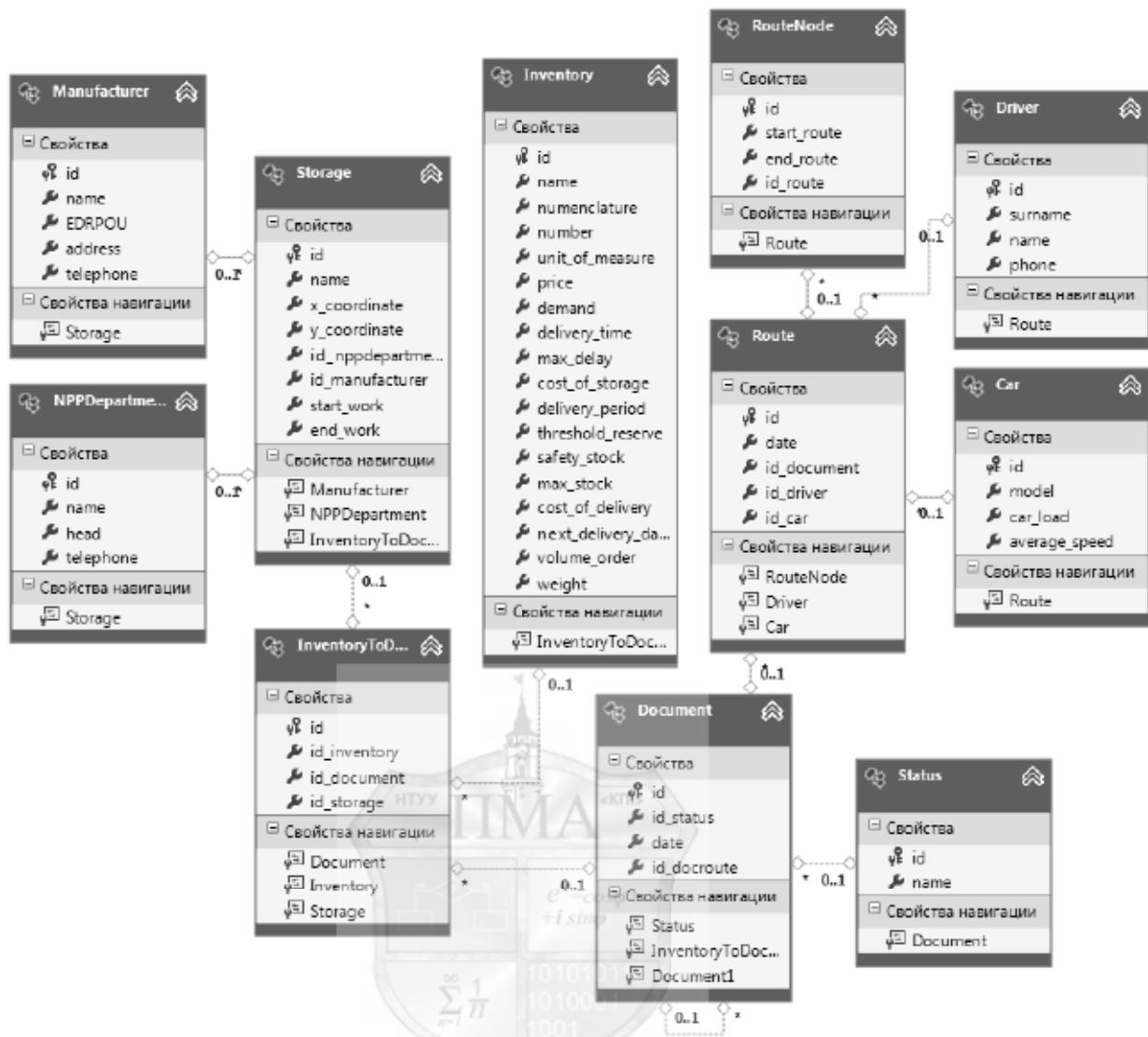


Рисунок 4.2 – Діаграма сущностей та зв’язків підсистеми доставки

ТМЦ РАЕС

#### 4.1.3 Даталогічне проектування

Даталогічне проектування представлено у вигляді набору всіх сущностей з вказаними атрибутами, типами, доменами. Набір сущностей для підсистеми представлено на рисунку 4.3.

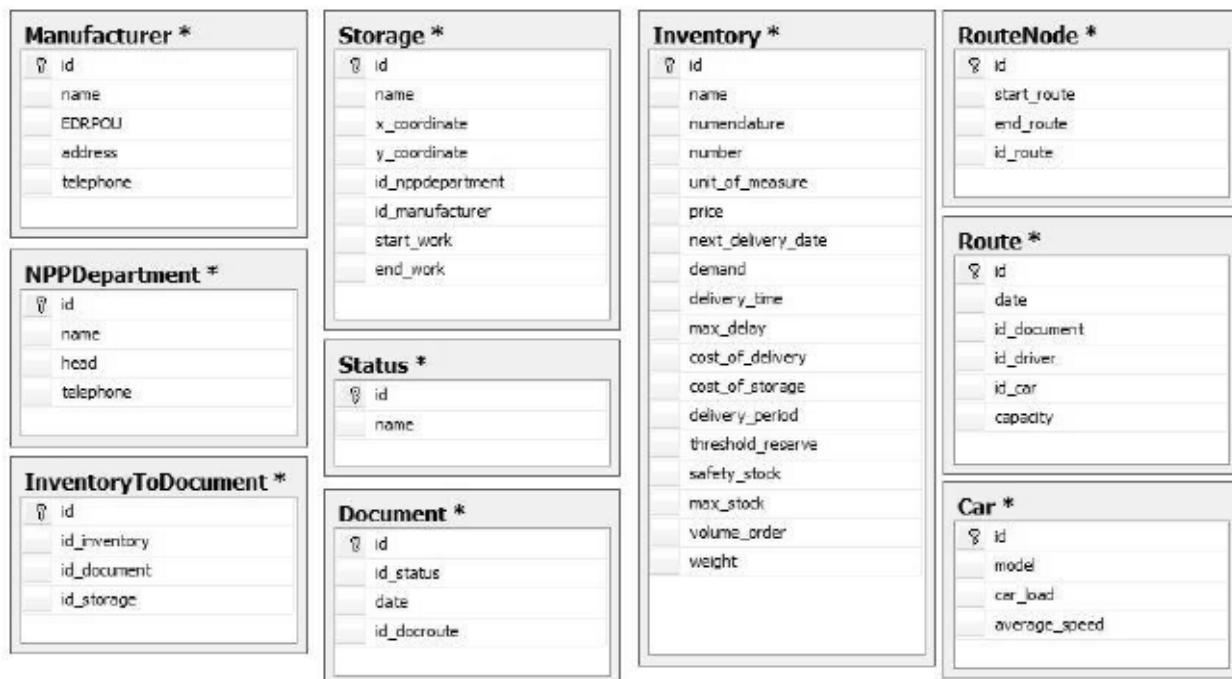


Рисунок 4.3. Набір сутностей процесу доставки по оптимальним



## 4.2 Програмна реалізація

Програмний продукт реалізовано за допомогою вибраного засобу розробки – C#. Перевагами цієї мови програмування є: легка реалізація, хороша взаємодія з ОС Windows, безпека, своє середовище розробки. В якості системи управління базами даних обрано СУБД MSSQL [34], яка є продуктом Microsoft, як і C#. Основними перевагами є: легкість керування, швидкість, масштабованість, продуктивність. Для роботи з картою обрано безкоштовну бібліотеку GMap.NET [35], яка представляється окремим контролом для .NET.

#### **4.2.1 Вимоги до програмного забезпечення**

Вимоги до складу і параметрів технічних засобів:

- а) процесор не нижче Pentium II;
- б) частота – не менше 133Мгц;
- в) ОЗУ – не менше 16 Мб;
- г) VGA або вища роздільна здатність монітора;
- д) клавіатура, миша.

Вимоги до інформаційної і програмної сумісності:

- а) програмний засіб повинен працювати з операційною системою Microsoft Windows 7;
- б) для роботи програми повинно бути встановлено .NET Framework.
- в) СУБД MS SQL SERVER;

Вимоги до функціональних характеристик:

- а) програмне забезпечення повинно дозволяти введення, обробку та керування даними;
- б) програмний засіб повинен мати зручний інтерфейс;

Умови експлуатації:

- а) програма повинна забезпечувати безперебійну роботу протягом всього робочого дня.

#### **4.2.2 Опис використаних і розроблених програм**

Для підключення до БД використовується Entity Framework (EF) [36] – це об'єктно-реляційний модуль зіставлення, що дозволяє розробникам .NET працювати з реляційними даними за допомогою об'єктів,

спеціалізованих для доменів. Це усуває необхідність написання більшої частини коду для доступу до даних, який зазвичай потрібний розробникам.

При внесенні чи зміні даних, в системі виконується перевірка на коректність даних, якщо введені дані не відповідають заданому стандарту, виводиться вікно, яке описує помилку. При видаленні даних запитується підтвердження видалення всіх даних, що зв'язані з вибраними. При відправці ТМЦ також запитується підтвердження даних. При розробці оптимальних перевезень виконується перевірка на відповідність всім введеним обмеженням.

Вихідні дані планування перевезень представлені у вигляді списку оптимальних маршрутів, які також візуально представляються на карті.

#### 4.3 Керівництво користувача



Оператори складів цехів станції після запуску програми побачать для свого складу вікно, яке представлено на рисунку 4.4. Користувач має змогу добавити нові ТМЦ та редагувати інформацію про склад станції, натиснувши кнопку «Довідники» на верхній панелі програми. Для відправки товарно-матеріальних цінностей в процес виробництва електроенергії, оператор має вибрати з таблиці ТМЦ, сказати кількість і натиснути «У виробництво». В нижній таблиці накопичуються вибрані ТМЦ, які пакетом відправляються у виробництво. Перед відправкою програма перевіряє потребу поповнення запасу на складі. Якщо необхідність є, ці ТМЦ відправляються на центральний склад.

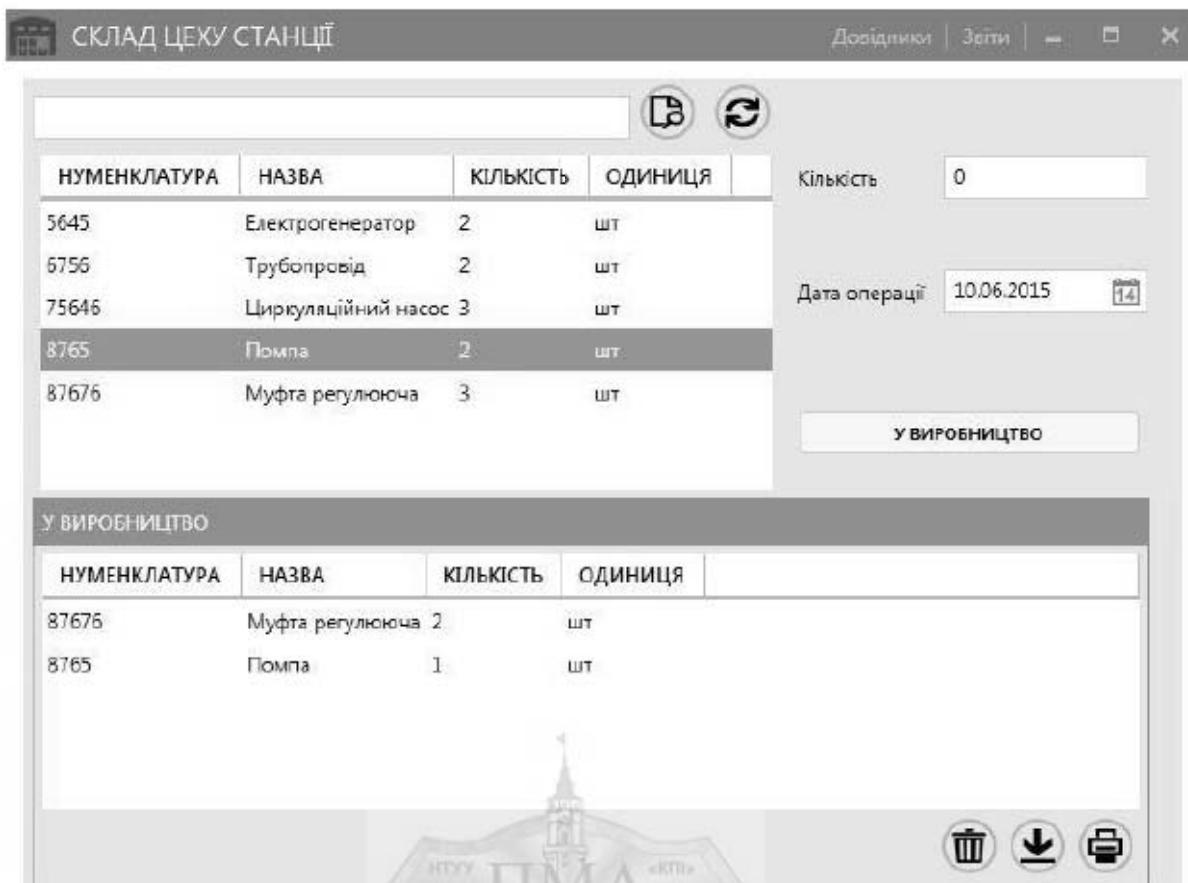


Рисунок 4.4 – Робоче вікно програми для складів цехів станції

Оператор центрального складу після запуску програми побачить вікно, яке представлено на рисунку 4.5. Користувач має можливість моніторити наявність ТМЦ на всіх складах РАЕС в верхній таблиці на вкладці «Запаси на складах», а от в нижній таблиці накопичуються ТМЦ, які потребують замовлення для поповнення запасів. В цю таблицю потрапляють товарно-матеріальні цінності, для яких виконуються наступні умови: настав плановий час доставки, який визначається системою керування запасами та кількість ТМЦ на складі досягла або менша порогового рівня. Перед відправкою нового замовлення на транспортний цех, оператор повинен вибрати склади виробників, в яких буде робитись замовлення. На вкладці «Нове постачання» (Додаток А рисунок 1) користувач приймає поставлені на склад ТМЦ, на підставі відряджених маршрутів. Прийнявши всі товарно-матеріальні цінності, оператор робить

замовлення на транспортний цех для розвезення ТМЦ по складах цехів, але перед цим, він повинен вибрати відповідні склади.

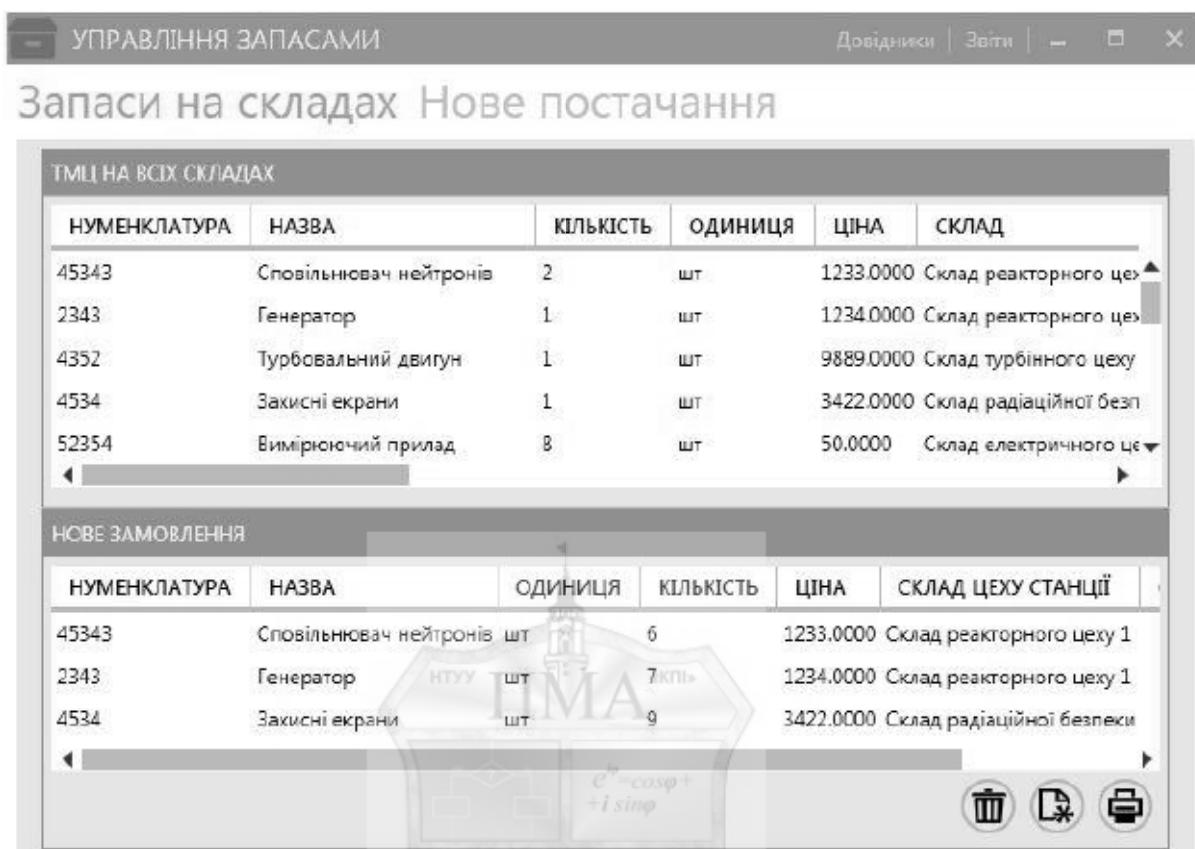


Рисунок 4.5 – Робоче вікно програми для центрального складу

Оператор транспортного цеху після запуску програми побачить вікно, яке представлено на рисунку 4.6. На вкладці локальних перевезень (Додаток А рисунок 2), користувач бачить нові замовлення на розвезення ТМЦ від центрального складу до складів цехів станції. Вибравши документи, в яких вказано кількість ТМЦ та точки доставки, оператор повинен вказати вантажопідйомність автомобілів, яка є однаковою для всіх транспортних засобів. Користувач може перед генерацією маршрутів подивитись на карті склади, для яких здійснюється перевезення. Змодельовані оптимальні маршрути автоматично виводяться на карті та заповнюються у таблиці «Маршрути». Далі оператор для кожного маршруту назначає водія і відправляє у відрядження. Analogічні дії

проводяться оператором для генерації зовнішніх маршрутів на вкладці «Зовнішні перевезення» (див. рисунок 4.6), але перед моделюванням маршрутів, потрібно вказати погодні умови та тип дороги, а от вантажопідйомність вказувати не потрібно, адже на вхід алгоритму оптимізації маршрутів подаються всі доступні транспортні засоби. Вся інша вхідна інформація береться з бази даних.

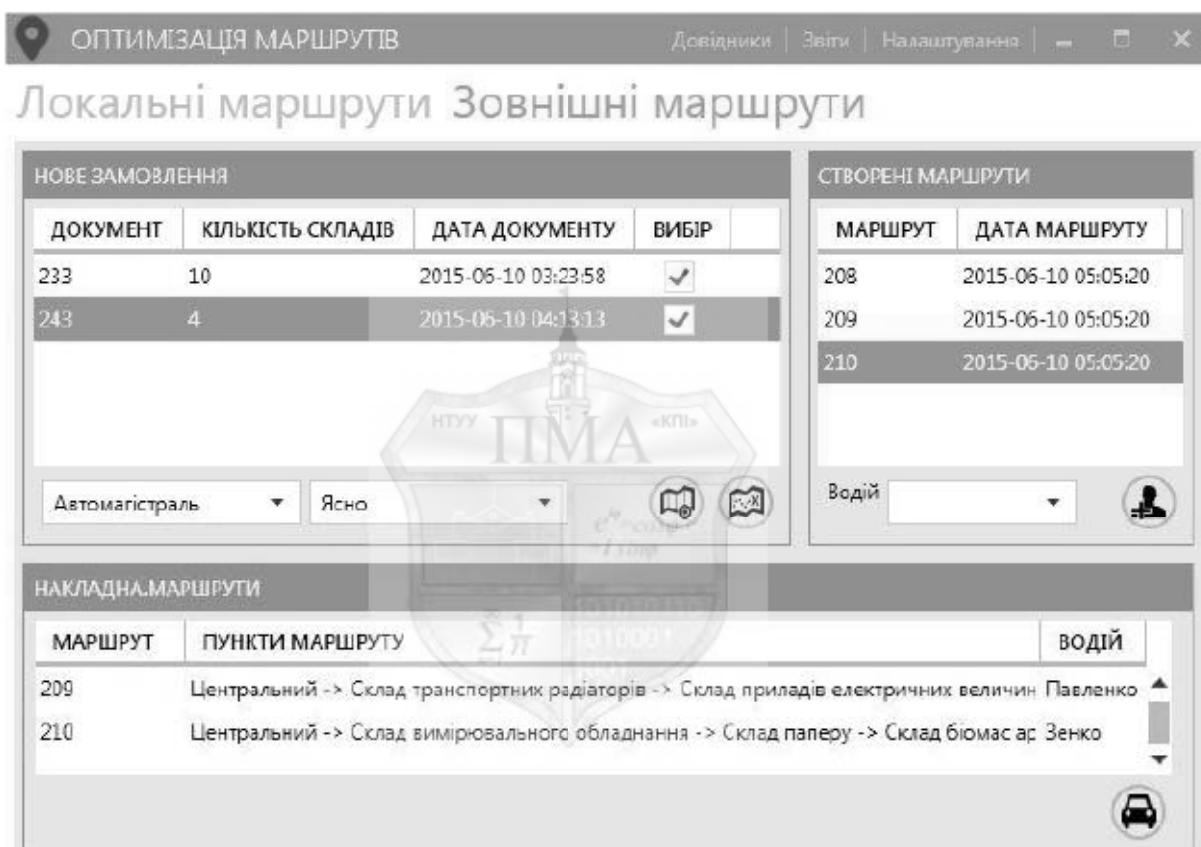


Рисунок 4.6 – Робоче вікно програми для транспортного цеху

#### 4.4 Адекватність способу оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС

Тестування розробленого способу оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей проведено на даних, представлених ТрЦ

ВП РАЕС за квітень 2015 року. Відповідні документи представлені в Додатку Б.

Локальні перевезення здійснені за вказаний період було внесено в програму, в результаті чого згенеровано маршрути, які представлено на рисунку 4.7. На рисунку зображене тест, який вміщує всі здійснені маршрути за один тиждень.



Рисунок 4.7 – Локальні маршрути згенеровані програмним засобом

Провівши тестування даних локальних маршрутів, згенеровано порівняльну діаграму, яка представляє витрати на тижневі маршрути на протязі місяця (див. рисунок 4.8).

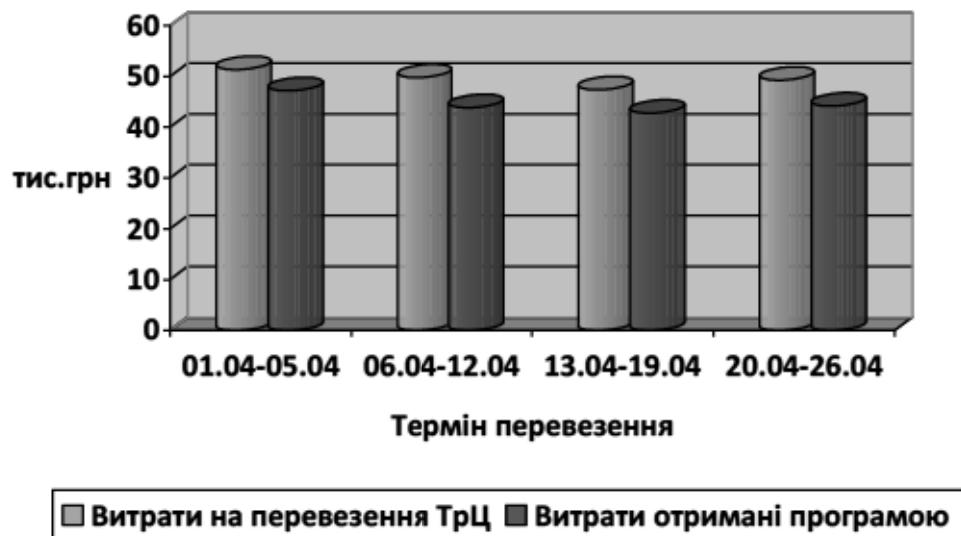


Рисунок 4.7 – Порівняльна діаграма витрат на локальні маршрути

Аналогічні дії проведено для зовнішніх перевезень (див. рисунки 4.9, 4.10).

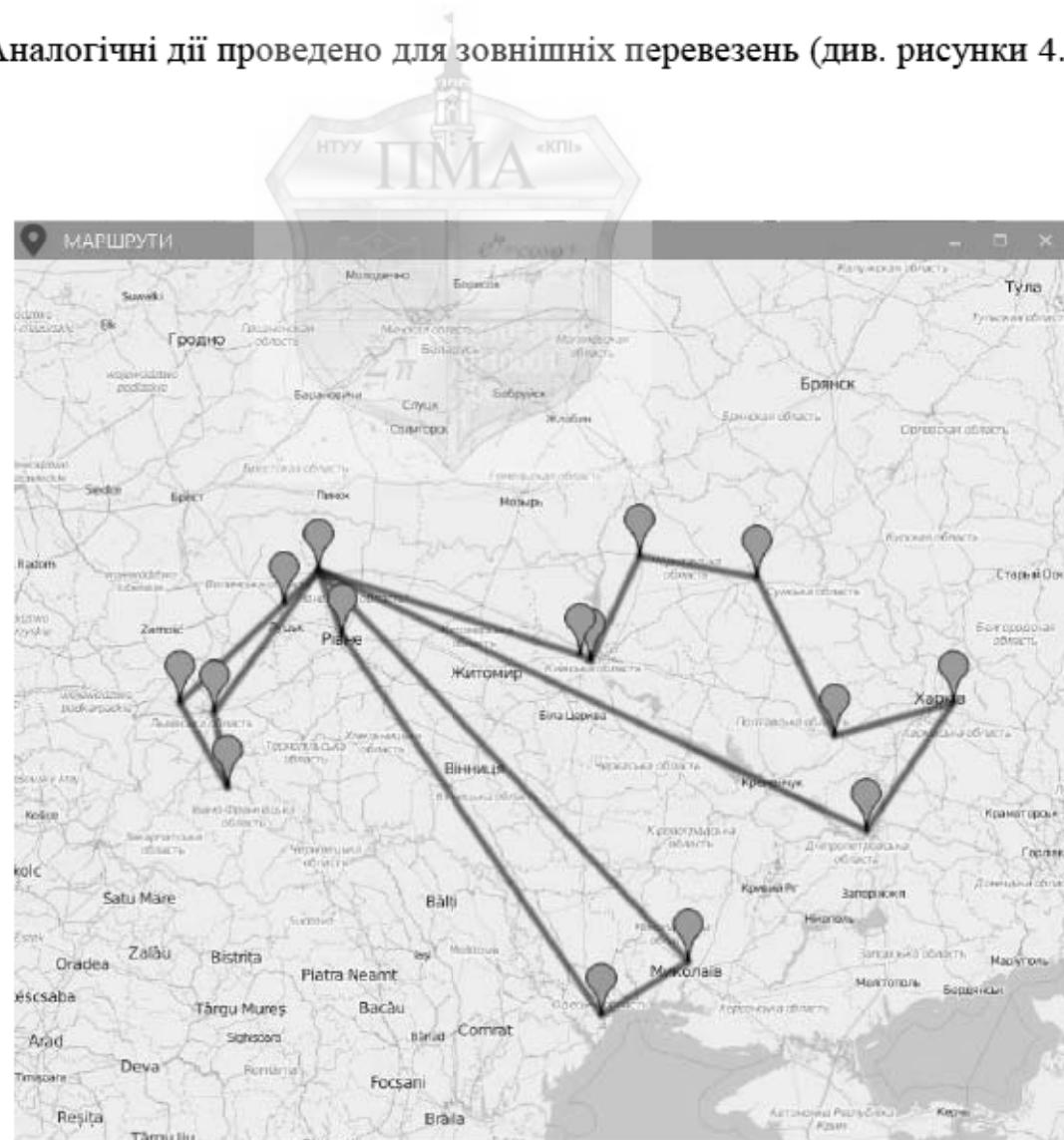


Рисунок 4.9 – Зовнішні маршрути згенеровані програмним засобом

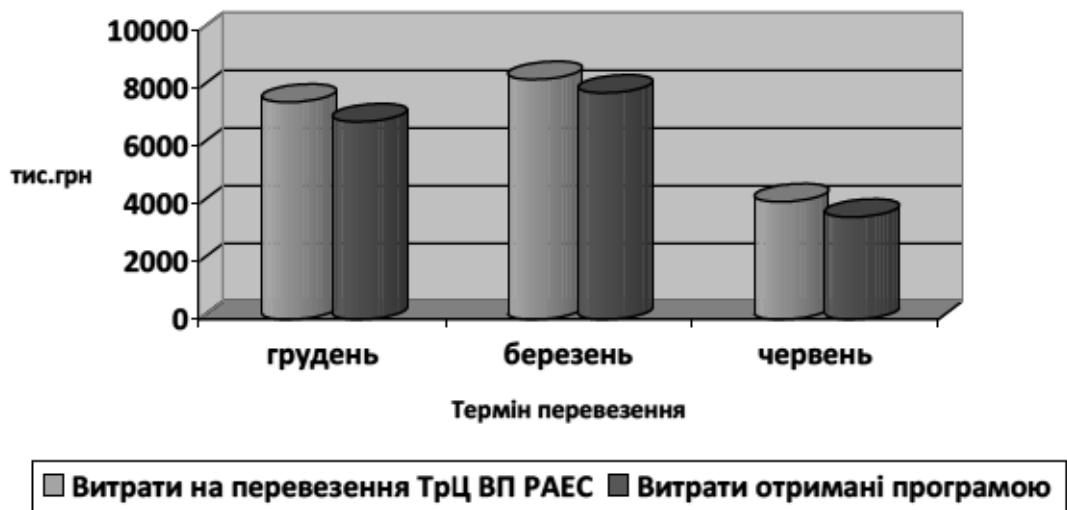


Рисунок 4.10 – Порівняльна діаграма витрат на зовнішні маршрути

Провівши тестування, встановлено, що витрати на локальні та зовнішні перевезення, отримані за допомогою програмного засобу за квітень 2015 року приблизно на 10% менші, ніж реально витрачені кошти на організацію та обслуговування маршрутів в ТрЦ ВП РАЕС.

### **Висновки до розділу**

Розроблено структурне представлення програмного забезпечення для доставки товарно-матеріальних цінностей РАЕС, за допомогою діаграми впровадження, яка представляє основні вузли і компоненти програмного проекту. Діаграма розроблена за допомогою стандартизованої мови програмування UML.

Проведено інфологічне та даталогічне проектування і представлено сутності системи та зв'язки між ними. Детально описано керівництво користувача і запропоновано реалізацію відповідних інтерфейсів.

Перераховано мінімальні вимоги до програмного продукту та описано використані і розроблені програми.

Адекватність способу оптимізації перевірено на даних ТрЦ ВП РАЕС за квітень 2015 року. Встановлено, що використання програмного засобу знизить витрати на організацію і обслуговування перевезень обладнання, комплектуючих та інструментів приблизно на 10%.



## ВИСНОВКИ

Результатом магістерської дисертації є спосіб оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей Рівненської атомної електростанції.

В ході роботи проведено аналіз існуючих систем в області матеріально-технічного забезпечення. Встановлено наступні недоліки:

- а) обмежений або надлишковий функціонал;
- б) висока вартість готових реалізацій цих систем;
- в) не врахування специфіки атомної станції.

Вирішено розробити своє самостійне, зручне та просте програмне забезпечення за допомогою мови програмування C#, взявши за основу технологію MRP II. Враховуючи характер задачі, а саме наявність зовнішніх та локальних перевезень, встановлено, провести удосконалення існуючої підсистеми поставок в системі класу MRP II. Одним з варіантів удосконалення є оптимізація маршрутів, за допомогою якої зменшаться витрати на поставки, скоротиться кількість використованого транспортного засобу, мінімізується час доставки ТМЦ до складів цехів станції. Проведено аналіз існуючих алгоритмів оптимізації маршрутів, встановлено, що в силу характеру локальних перевезень, застосувати алгоритм Кларка-Райта, який дає хороший розв'язок на невеликих відстанях. Цей алгоритм, також використовується для генерації початкової популяції для генетичного алгоритму, тим самим вже на початковому етапі, дає хорошe рішення, яке скоротить кількість кроків генетичного алгоритму. В якості системи керування запасів, в складі системи матеріально-технічного забезпечення, враховуючи нерівномірне споживання електроенергії, обрано систему з періодичною необхідністю поповнення запасу до порогового рівня.

Розроблено компонентну модель доставки ТМЦ РАЕС, яка дає повне уявлення про процес поставок ТМЦ від складів виробників до складів цехів станції і показує, як буде інтегрована розроблювана система оптимізації маршрутів. Розроблено компонентну модель оптимізації маршрутів доставки ТМЦ РАЕС, на основі якої проводилась програмна реалізація способу оптимізації. Розроблена модель враховує зовнішні та локальні перевезення, при чому передбачена можливість заміни алгоритмів оптимізації маршрутів через інтерфейси.

Для моделювання руху ТМЦ в процесі виробництва електроенергії та генерації оптимальних маршрутів реалізовано програмний продукт. Тестування якого на тестових даних ТрЦ ВП РАЕС показало зменшення витрат на організацію та обслуговування поставок приблизно на 10%. Тому перевагами використання цієї системи є простота реалізації, можливість скорочення витрат на обслуговування перевезень, скорочення термінів поставки, підвищення ступеню забезпеченості виробництва матеріальними ресурсами, зменшення кількості збитків та пошкоджень.

Результати роботи можуть бути використані як практичний матеріал в організації керування запасами підприємств паливно-енергетичного комплексу.

Результати роботи опубліковані в матеріалах:

- VII наукова конференція магістрантів та аспірантів «Прикладна математика та комп’ютинг – ПМК’2015»;
- 17 міжнародна наукової конференції «System Analysis and Information Technologies – SAIT’2015».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маркова Н.М. Модель оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей Рівненської атомної електростанції [Текст] /Маслянко П.П., Маркова Н.М. // Прикладна математика та комп'юting ПМК 2015: сьома наукова конференція магістрантів та аспірантів, Київ 15 – 17 квітня 2015р.: зб. тез доп. – К: Просвіта – 2015. – С. 203 – 208.
2. Маркова Н.М. Спосіб оптимізації маршрутів доставки товарно-матеріальних цінностей Рівненської атомної електростанції Маслянко П.П., Маркова Н.М. // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 17-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2015, Київ, 22 – 25 червня 2015 р. / ННК “ПСА” НТУУ “КПІ”. – К.: ННК “ПСА” НТУУ “КПІ”, 2015. – С. 84 – 85.
3. Алесинская Т.В. Основы логистики. Функциональные области логистического управления // Т.В. Алесинская. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 79 с.
4. Крушельницька О.В. Управління матеріальними ресурсами [Текст]: навч. посібник / Крушельницька О.В./ – К. : Кондор, 2003. – 162 с.
5. Системы управления материальными запасами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://logistic-info.ru/upravlenie-zapasami.html>
6. Lineke Sneller RC. A Guide to ERP: Benefits, Implementation and Trends / [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://byrongillorydotcom.files.wordpress.com/2014/10/a-guide-to-erp.pdf> –  
 Назва з екрану. – Дата звернення: 10.05.2015
7. Carol Ptak, Chad Smith. Material Requirements Planning // McGraw-Hill Professional, 2011 – 546 pages.
8. Oliver Wight Maritul Trust. Manufacturing Resource Planning: MRP II // John Wiley & Sons. Inc, 1984, 440 pages.
9. Тюкаев Д.А. Методологические основы стратегического управления системами материально-технического обеспечения атомных

электростанций в условиях неопределенности: дис. ... доктора экон. наук: 08.00.05 // Тюкаев Дмитрий Алексеевич; [Место защиты: Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева]. – Москва, 2014. – 362 с.

10. Чаюн І.О. Економіка підприємства / І. О. Чаюн, Г. М. Богословець, Н. С. Довгаль // Підручник. – К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т., 2005. – 569 с.

11. Плескач В.Л. Інформаційні системи і технології на підприємствах: підручник / В.Л. Плескач, Т.Г. Затонацька. – К. : Знання, 2011. – 718 с.

12. ГОСТ 24.104-85. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования. – Введ. 01.01.1987. -М. : Изд.-во стандартов, 1985.

13. Офіційний сайт Рівненської атомної електростанції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rnpp.rv.ua/>

14. Andreas Drexel, Alf Kimms. Beyond Manufacturing Resource Planning (MRP II): Advanced Models and Methods for Production Planning. - Springer Berlin Heidelberg, 2010, 420 pages

15. Ellen F. Monk and Bret J. Wagner. Concepts in Enterprise Resource Planning, Third Edition. VP/Editorial Director: Jack W., 2009, 250 pages

16. Christofides N. The vehicle routing problem. In N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth, C. Sandi, editors/ N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth // Combinatorial Optimization. Wiley, Chichester, 1979. P. 315–338.

17. Пожидаев М.С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта: дис. ... кандидата технических наук: 05.13.18 // Пожидаев Михаил Сергеевич; [Место защиты: Том. гос. ун-т] Томск, 2010 136 с. : 61 11-5/1119

18. Clarke G. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points / G. Clarke, J.W. Wright // Operations Research. 1964. P. 568–581.

19. Mole R., S. Jameson. A Sequential Route-Building Algorithm Employing a Generalized Savings Criterion. Opnl. Res. Quart. 1976 27, P. 503 – 511.

20. Lin S. Computer solutions of the traveling salesman problem // Bell System Technical Journal. 1965. № 44. P. 2245–2269.
21. Рейнгольд Э. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика. / Э.Рейнгольд, Ю. Нивергельт, Н. Део; пер. с англ. Е.П. Липатова. - М.: Мир, 1980. – 476 с
22. Dueck G. Threshold accepting: A general purpose optimization algorithm / G. Dueck, T. Scheurer // Journal of Computational Physics. 1990. №90. P. 161–175.
23. Dueck G. New optimization heuristics: The great deluge algorithm and the record-to-record travel // Journal of Computational Physics. 1993. № 104. P. 86 –92.
24. Пушкирова Г.В. Исследование и применение бионических методов и моделей для автоматизированного проектирования маршрутов обхода геометрических объектов // Компьютерная графика и представление GraphiCon 2005: науч.-техн. конф., 20-24 июня 2005г. : - 2005.
25. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems / J.H. Holland. The University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975.
26. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.
27. Dorigo M. Ant colony system: A cooperative learning approach for the traveling salesman problem / M. Dorigo, L.M. Gambardella // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 1997. № 1. P. 53–66.
28. Bullnheimer B. Applying the ant system to the vehicle routing problem. In S. Vofsi, S. Martello, I.H. Osman, and C. Roucairol, editors / B. Bullnheimer, R.F. Hartl, C. Strauss // Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization. Kluwer, Boston, 1998a. P. 109–120.
29. Емельянова Т.С. Об одном генетическом алгоритме решения транспортной задачи. / Т.С. Емельянова // Известия ТРТУ. – Таганрог, №1(73), 65 – 70, 2007.

30. Александрова О.А. Разработка компьютерной подсистемы оптимизации грузовых перевозок в условиях транспортного предприятия : автореф. дис. ... магістра / Александрова О.А. ; Дон.нац. тех. унів. – Л., 2009. – 25 с.
31. Advantages of C# / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://urriellu.net/en/articles-software/csharp-advantages.html> – Назва з екрану. – Дата звернення: 12.04.2015
32. Буч Г., Рамбо Дж., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя. – Пер. с англ. – М.: ДМК, 2000. – 232 с.
33. Фаулер М., Скотт К. UML. Основы. – Пер. с англ. – Санкт-Петербург: Символ-Плюс, 2002. – 92 с.
34. Электронная документация по SQL Server / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/ms130214.aspx> – Назва з екрану. – Дата звернення: 30.05.2015
35. Офіційний сайт «GMap.NET» / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://greatmaps.codeplex.com>
36. Julia Lerman. Programming Entity Framework, 2nd Edition Building Data Centric Apps with the ADO.NET Entity Framework 4 // O'Reilly Media, 2010, 920 pages.