Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Удосконалення процесу перевезення сільськогосподарської продукції в межах України автомобілями товариства з обмеженою відповідальністю «Транспортна компанія «САТ»» місто Київ»

Виконав: здобувач 2-го курсу, групи 1ТТ-24м
спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами), спеціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
Освітньо-професійна програма – Транспортні технології на автомобільному транспорті
_____Марисюк В.О.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ
_____Борисюк Д.В.
«_1_» _____12_____ 2025 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. ГМ
_____Сивак Р.І.
«_8_» _____12_____ 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри АТМ
_____к.т.н., доц. Цимбал С.В.
«_8_» _____12_____ 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

ень вищої освіти ІІ-й (магістерський)
лузь знань 27 – Транспорт
еціальність 275 – Транспортні технології (за видами)
еціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
вітньо-професійна програма – Транспортні технології на автомобільному транспорті

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.
«25» 09 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Марисюку Владиславу Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Удосконалення процесу перевезення сільськогосподарської продукції межах України автомобілями товариства з обмеженою відповідальністю Транспортна компанія «САТ»» місто Київ,
рівник роботи Борисюк Дмитро Вікторович, к.т.н., доцент,
тверджені наказом ВНТУ від «24» вересня 2025 року № 313.

Строк подання здобувачем роботи: 30.11.2025 р.

Вихідні дані до роботи: Вимоги до експлуатації автотранспортних засобів (діючі жнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної хніки); законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних туаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані оделі АТЗ – рухомий склад товариства з обмеженою відповідальністю «Транспортна компанія САТ»»; об'єкт дослідження – транспортні машини, які здійснюють процес перевезення льськогосподарської продукції; похибка прогнозування досліджуваних показників – не більше 0%.

Зміст текстової частини:
1. Дослідження процесу перевезення сільськогосподарських вантажів автомобілями товариства з обмеженою відповідальністю «Транспортна компанія «САТ»»
2. Теоретичні дослідження в області перевезення сільськогосподарської продукції
3. Розробка імітаційної моделі процесу перевезення сільськогосподарської продукції
4. Методика збору статистичних даних і проведення досліджень
5. Техніко-економічна оцінка результатів досліджень

Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1-2 Тема, мета та завдання дослідження
3-4 Загальні відомості про підприємство
5 Продовольчі втрати сільськогосподарської продукції на різних етапах виробництва. Продовольчі трати під час перевезення сільськогосподарської продукції

6 Фактори, що впливають на ушкодження плодів під час виконання транспортно-технологічних операцій

7 Базові проблеми раціонального використання транспорту в сільському господарстві

8 Функціональні схеми процесу перевезення сільськогосподарської продукції

9 Опис процесу перевезення сільськогосподарської продукції

10 Показники надійності транспортних машин, що впливають на ефективність перевезення сільськогосподарської продукції

11 Основні елементи системи BPMS

12 Приклад побудови моделі перевезення сільськогосподарської продукції

13 Архітектура програмно-апаратного комплексу

14 Час відновлення транспортних засобів та їх кількість

15 Розподіл відмов транспортних засобів залежно від пробігу

16 Умови для імітаційного моделювання експлуатації різних варіантів транспортних засобів під перевезення сільськогосподарської продукції

17 Результати моделювання за основними економічними показниками ефективності використа транспортних засобів у процесі перевезень сільськогосподарської продукції

18 Результати моделювання за основними експлуатаційними показниками ефективності трансп засобів під час перевезення сільськогосподарської продукції ТОВ ТК «САТ»

19 Висновки

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання пр
Розв'язання основної задачі	Борисюк Д.В., доцент кафедри АТМ	25.09.25	
Визначення ефективності запропонованих рішень	Макарова Т.В., доцент кафедри АТМ	17.11.25	

7. Дата видачі завдання « 25 » вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Пр
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	25.09-29.09.2025	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	30.09-20.10.2025	
3	Обгрунтування методів досліджень	30.09-20.10.2025	
4	Розв'язання поставлених задач	21.10-10.11.2025	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	11.11-16.11.2025	
6	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	17.11-24.11.2025	
7	Нормоконтроль МКР		
8	Попередній захист МКР	25.11-30.11.2025	
9	Рецензування МКР	01.12-04.12.2025	
10	Захист МКР	05.12-09.12.2025	
		15.12.2025-17.12.2025	

Здобувач _____ (підпис) Марисюк В.О.

Керівник роботи _____ (підпис) Борисюк Д.В.

УДК 656.072

Марисюк В.О. Удосконале
дукції в межах України автом
анспортна компанія «САТ»»
іальності 275 – Транспортн
анспортні технології (на ав
анспортні технології на автомо
На укр. мові. Бібліогр.: 49 на
У вступі наведено обгру
актеристика роботи, її новизна
У першому розділі наведено
АТ»" та актуальність удоскон
одукції в межах України автом
анспортна компанія «САТ»».
У другому розділі розглянут
евезення сільськогосподарськ
казники, що впливають на якіс
У третьому розділі встановл
анспортно-технологічним проц
бхідно розробити контрольно
будови алгоритму передачі
ахуванням правил побудови ар
У четвертому розділі встано
до збору та обробки статис
анспортних засобів під час пер
У п'ятому розділі представле
ськогосподарської продукції.
Графічна частина складаєтьс

Ключові слова: перевезенн
бір схеми, підвищення
ськогосподарська продукція.

АНОТАЦІЯ

УДК 656.072

Марисюк В.О. Удосконалення процесу перевезення сільськогосподарської продукції в межах України автомобілями товариства з обмеженою відповідальністю «Транспортна компанія «САТ»» місто Київ. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами), спеціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті), освітня програма – Транспортні технології на автомобільному транспорті. Вінниця: ВНТУ, 2025. 96 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 49 назв; рис.: 43; табл. 8.

У вступі наведено обґрунтування актуальності теми роботи, коротка характеристика роботи, її новизна та практична значимість.

У першому розділі наведено загальні відомості про ТОВ "Транспортна компанія «САТ»" та актуальність удосконалення процесу перевезення сільськогосподарської продукції в межах України автомобілями товариства з обмеженою відповідальністю «Транспортна компанія «САТ»».

У другому розділі розглянуто існуючі методи та моделі з управління процесами перевезення сільськогосподарської продукції, визначено їх основні особливості та показники, що впливають на якість та собівартість процесу.

У третьому розділі встановлено, що для максимальної ефективності керування транспортно-технологічним процесом перевезення сільськогосподарської продукції необхідно розробити контрольно-інформаційну систему, а також встановити логіку побудови алгоритму передачі та прийому інформації в типовому форматі, з урахуванням правил побудови архітектури блок-схем.

У четвертому розділі встановлені основні методичні та організаційні положення щодо збору та обробки статистичних даних, отриманих під час експлуатації транспортних засобів під час перевезення сільськогосподарської продукції.

У п'ятому розділі представлено розрахунок економічних показників перевезення сільськогосподарської продукції.

Графічна частина складається з 19 слайдів.

Ключові слова: перевезення, алгоритм, транспортно-технологічний процес, вибір схеми, підвищення продуктивності, собівартість перевезень, сільськогосподарська продукція.

ABSTRACT

UDC 656.072

Marysyuk V.O. Improving the process of transporting agricultural products within Ukraine by cars of the limited liability company "Transport company "SAT"", Kyiv city. Master's qualification in specialization 275 – Transport technologies (by types), specialization 275.03 – Transport technologies (in automobile transport), educational program – Transport technologies in automobiles More transport. Vinnytsia: VNTU, 2025. 96 p.

In Ukrainian speech. Bibliography: 49 titles; Fig.: 43; table 8.

The introduction provides a justification for the relevance of the topic of the work, a brief description of the work, its novelty and practical significance.

The first section provides general information about LLC "Transport Company "SAT"" and the relevance of improving the process of transporting agricultural products within Ukraine by vehicles of the limited liability company "Transport Company "SAT".

The second section considers existing methods and models for managing the processes of transporting agricultural products, identifies their main features and indicators that affect the quality and cost of the process.

The third section establishes that for maximum efficiency in managing the transport and technological process of transporting agricultural products, it is necessary to develop a control and information system, as well as establish the logic for building an algorithm for transmitting and receiving information in a standard format, taking into account the rules for building a block diagram architecture.

The fourth section establishes the main methodological and organizational provisions for collecting and processing statistical data obtained during the operation of vehicles during the transportation of agricultural products.

The fifth section presents the calculation of economic indicators of the transportation of agricultural products.

The graphic part consists of 19 slides.

Key words: transportation, algorithm, transport and technological process, scheme selection, productivity improvement, transportation cost, agricultural products.

Зміст

Вступ 8

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЯМИ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ТРАНСПОРТНА КОМПАНІЯ «САТ»» 11

1.1 Історія підприємства ТОВ «Транспортна компанія «САТ»» 11

1.2 Діяльність підприємства ТОВ «Транспортна компанія «САТ»» 12

1.3 Особливості виробництва сільськогосподарської продукції 15

1.4 Основні вимоги до перевезення сільськогосподарської продукції 17

1.5 Аналіз досліджень у сфері перевезення сільськогосподарської продукції 20

1.6 Питання щодо забезпечення надійності транспортно-технологічних машин у процесі експлуатації 22

1.7 Визначення характерних ознак системи перевезення сільськогосподарської продукції та опис основних принципів її функціонування 26

1.8 Висновок та завдання дослідження 34

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ОБЛАСТІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ 36

2.1 Опис досліджуваного процесу перевезення сільськогосподарської продукції та основні етапи розробки його функціональної моделі 36

2.2 Зарубіжний досвід у галузі управління організаційно-технологічним забезпеченням підприємства 44

2.3 Показники надійності транспортних машин, що впливають на ефективність перевезення сільськогосподарської продукції 45

2.4 Висновки 47

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ 48

3.1 Впровадження програмно-апаратних комплексів у конструкцію транспортних машин 48

3.2 Вибір засобів імітаційного моделювання для процесу перевезення сільськогосподарської продукції 51
3.3 Етапи створення імітаційної моделі для процесу перевезення сільськогосподарської продукції 53
3.4 Визначення параметрів комп'ютерного експерименту 57
3.5 Підготовка вихідних даних для завантаження в імітаційну модель 60
3.6 Висновки 64
РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ЗБОРУ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ І ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ 65
4.1 Статистичне дослідження про відмови транспортних засобів ТОВ «Транспортна компанія "САТ"» 65
4.2 Проведення статистичних випробувань із застосуванням методу Монте-Карло 69
4.3 Визначення параметрів комп'ютерного експерименту 73
4.4 Уточнення допустимої похибки моделювання та оцінка часових витрат на серію комп'ютерних експериментів 74
4.5 Висновки 76
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ 77
5.1 Інтерпретація результатів серії комп'ютерних експериментів 77
5.2 Результати імітаційного моделювання експлуатації різних варіантів транспортних засобів під час перевезення сільськогосподарської продукції 83
5.3 Висновки 88
ВИСНОВКИ 90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 92
Додаток А (обов’язковий). ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ 97
Додаток Б (обов’язковий). ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ 117

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Відповідно до Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках сільгоспвиробництво зросло на 10,2%. У 2023 р. валовий збір овочів відкритого ґрунту зріс, на 4,5 %, плодових та ягідних культур на 1,5 %. Тому питання підвищення продуктивності праці та зниження пошкоджень продукції АПК на транспорті набувають все більшого значення.

Одним з найбільш суттєвих і складних завдань при транспортуванні сільськогосподарської продукції є збереження її якості та зниження втрат, у якій вагома роль відводиться автомобільному транспорту як найважливішій ланці у системі функціонування АПК. Національна транспортна стратегії України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках має на меті усунути недоліки транспортної мережі, пов'язати всі регіони стабільними, надійними транспортними шляхами, організувати ефективне та швидке перевезення вантажів.

Сьогодні для підприємств АПК з великим парком транспортно-технологічних машин існуючі методи планування перевезень потребують нових рішень. Такі сучасні підходи, як гібридні методи реалізації транспортних завдань, забезпечення високоякісної інформаційної підтримки, методи та моделі мережевого планування на практиці виявляються малозастосовними.

Організація транспортування сільськогосподарської продукції пов'язана з низкою особливостей пов'язаних із зміною своїх властивостей та якостей під діями погодних умов та коливань під час транспортування. У реальних умовах експлуатації парку машин ймовірність появи несправності деталей, вузлів та агрегатів не регламентована і відбувається внаслідок раптових відмов.

У зв'язку з цим вирішення питань, спрямованих на формування системи транспортно-технологічної взаємодії в АПК, є актуальною темою наукового дослідження.

Метою дослідження є встановлення впливу показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин на ефективність процесу перевезення сільськогосподарської продукції.

Для досягнення мети роботи сформовано такі **завдання:**

1. Провести аналіз діяльності ТОВ «Транспортна компанія «САТ».

2. Провести аналіз системи транспортного забезпечення сільськогосподарського виробництва та визначити транспортно-технологічні показники процесу перевезення сільськогосподарської продукції, що впливають на якість та вартість.

3. Дослідити існуючі методи та моделі організації перевезень та обґрунтувати необхідність удосконалення процесу перевезення з урахуванням специфіки продукції, що транспортується, та показників надійності транспортних машин.

4. Описати логічну структуру процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників надійності транспортних машин.

5. Вибрати середовище та засоби моделювання, розробити робочу версію та здійснити її налаштування з подальшою оцінкою адекватності та точності.

6. Провести збір та обробку статистичної інформації транспортних машин під час перевезення сільськогосподарської продукції, у тому числі показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин в умовах реальної експлуатації.

7. Розробити та апробувати методику визначення оптимальних параметрів процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин.

8. Оцінити економічну ефективність запровадження результатів дослідження.

Об'єктом дослідження є транспортні машини, які здійснюють процес перевезення сільськогосподарської продукції.

Предметом дослідження є показники безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин.

Наукова новизна полягає у розробці імітаційної моделі для визначення оптимальних параметрів перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин.

Теоретична та практична значущість роботи. Розроблений алгоритм для системи підтримки прийняття рішень щодо управління підприємством дозволяють зменшити вплив раптових відмов та скоротити час простою транспортних машин. Статистичні дані, отримані під час імітаційного моделювання з урахуванням створеної

методики, забезпечують проведення комплексного аналізу поточного стану системи, пошук рішення задля досягнення оптимальних показників за рахунок структурної та параметричної зміни процесу перевезення сільськогосподарської продукції.

Результати роботи актуальні для АПК при виборі оптимального варіанта експлуатації наявного парку машин, прогнозування тривалості та вартості перевезень, робіт з технічного обслуговування та ремонту.

Методологія та методи дослідження. Теоретичною та методологічною основою виконаних досліджень послужили праці вчених у галузі організації машинно-використання, що вирішують завдання підвищення ефективності експлуатації транспортних машин, у тому числі й у сільському господарстві. Застосовано методичні підходи, що ґрунтуються на принципах дослідження особливостей виробничих процесів, як складної багатокомпонентної технологічної системи. Положення, висновки та результати досліджень одержано із застосуванням наступних інструментів: теорія графів, методи визначення розподілів вихідних характеристик, теорія ймовірностей, методи імітаційного моделювання.

Апробація результатів. Основні положення роботи були представлені на XVIII-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року у Вінницькому національному технічному університеті (м. Вінниця).

Структура та обсяг роботи. Дана дипломна робота складається з вступу, п’яти розділів, висновків та списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЯМИ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ТРАНСПОРТНА КОМПАНІЯ «САТ»»

1.1 Історія підприємства ТОВ «Транспортна компанія «САТ»»

Транспортна компанія «САТ» — українська компанія, що спеціалізується на B2B-перевезеннях та бізнес-логістиці. Входить до переліку найбільших транспортних компаній України.

Транспортну компанію «САТ» заснована у 2002 році. Підприємство фокусується на послугах, які не надавались основними логістичними операторами України — транспортування багатотонних вантажів.

Однією з конкурентних переваг компанії стало те, що представники «САТ» забирали вантаж зі складів підприємств власним автотранспортом, в той час як більшість інших кур'єрських служб потребували доставки товару на власні склади чи відділення.

Зростання кількості вантажних відділень та логістичних центрів компанії потребувало оптимізації роботи та автоматизації великої кількості процесів, що виконувалися в ручному режимі. Протягом 2007-2014 років IT-департамент компанії провів три масштабні етапи модернізації робочих процесів. Під час них усі склади було забезпечено портативними сканерами та Wi-Fi, впроваджено облік потоків вантажів (WMS) та реалізовано можливість надавати окремі сервіси он-лайн.

За результатами Національного бізнес-рейтингу 2012 року «САТ» посіла 3-тє місце серед вітчизняних підприємств у галузі «Діяльність автомобільного вантажного транспорту».

Наприкінці 2016 року компанія посідала одне з чільних місць серед операторів адресної доставки вантажів. Нерідко компанії доводиться транспортувати надважкі та негабаритні вантажі — трактори, автомобілі, токарні верстати, друкарське обладнання, зерно тощо.

У квітні 2018 року «САТ» взяла участь у міжнародній агропромисловій виставці «Agroport West Lviv 2018», а у жовтні того ж року у аналогічному заході, орієнтованому на схід країни — «Agroport East Kharkiv». Окрім того, у червні компанія стала золотим партнером бізнес-конференції FMCG & Retail SCM Logistics Forum 2018, а у листопаді — Logistics Platform 2018, де презентувала свою франчайзингову програму.

Влітку 2020 року «САТ» провела ребрендинг та впровадила нове позиціонування. Компанія-логіст концентрувалася на B2B та співпраці з українським бізнесом.

Станом на кінець 2021 року «САТ» має 169 представництв у 140 містах України та здатна протягом 1-2 діб здійснити доставку вантажу за схемою «від дверей до дверей» у більш ніж 500 населених пунктів країни. Загальна кількість співробітників у всіх підрозділах становить понад 1000 осіб. Компанія орієнтована на сегмент B2B та співпрацює з великими заводами і промисловими підприємствами.

За часи розвитку компанії, процеси та потужності організовані таким чином, що однаково легко перевезти з точки «А» до точки «Б» як звичайну бандероль, так і 20-тонний вантаж.

У 2020 році за власною ініціативою компанія отримала, а у вересні 2021 року повторно захистила сертифікат якості ISO 9001:2015 – скоротились терміни доставки вантажів, покращилась якість їх відстеження та рівень залученості персоналу.

1.2 Діяльність підприємства ТОВ «Транспортна компанія «САТ»»

Головний відділ транспортної компанії «САТ» знаходиться за адресою: м. Київ, вул. Гродненська, 32 (див. рис. 1.1).

Види діяльності компанії:

- доставка будь-яких вантажів протягом 24-72 годин;
- адресна доставка відправлень кінцевому споживачеві;
- online-відстеження пересування вантажів (товару) за допомогою мобільного додатку;
- складське зберігання;

- кур'єрська служба доставки;

- обробка вантажів;

- підготовка і доставка імпортно-експортної і фрахтової документації;

- оренда та лізинг вантажних транспортних засобів.

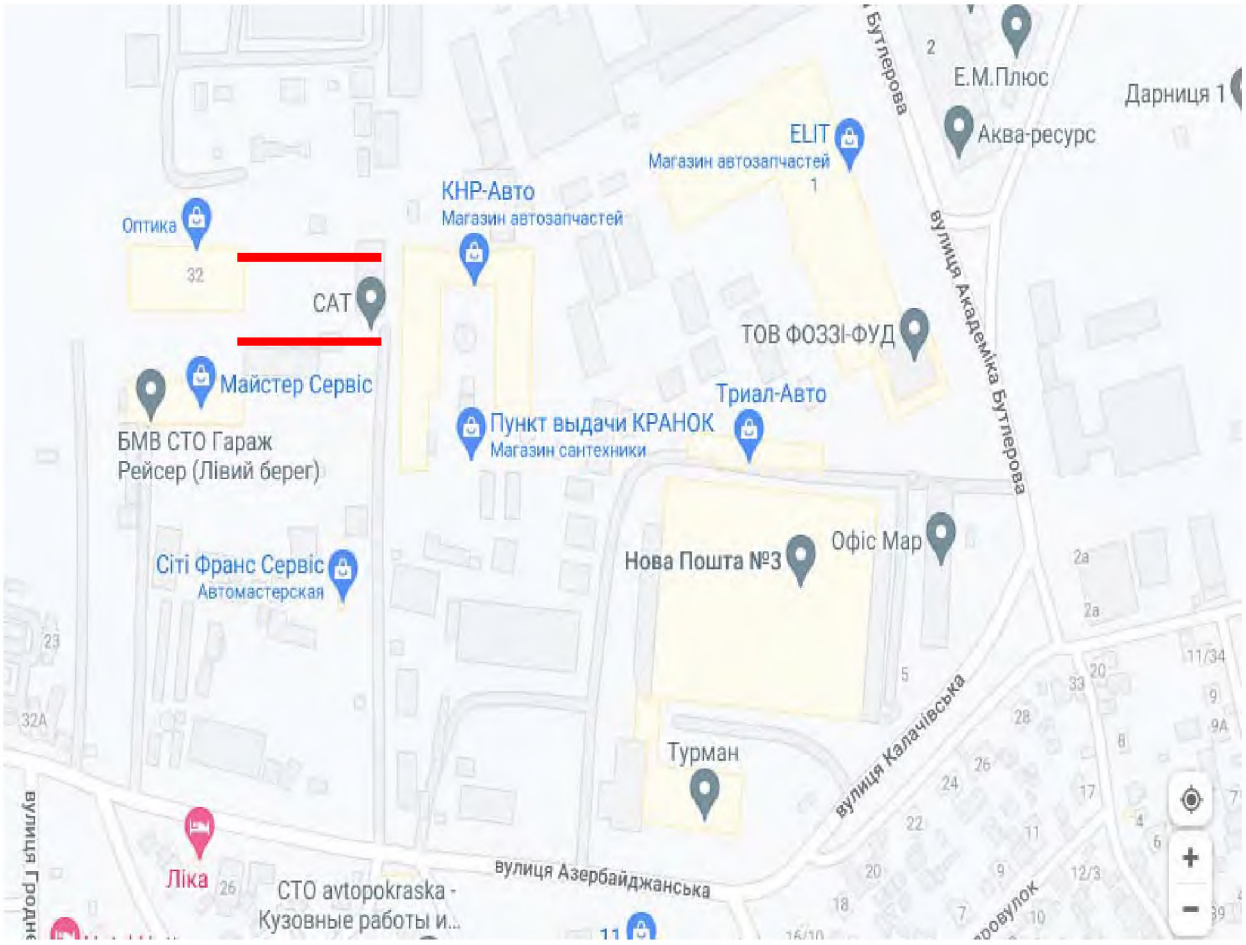


Рисунок 1.1 – Розташування головного офіса транспортної компанії «CAT» у м. Київ

Додаткові послуги, що надаються клієнтам компанії «CAT»:

- SMS-повідомлення одержувачу про прибуття вантажу на склад видачі (надається безкоштовно при оформленні накладної на вантаж);

- перевезення вантажу відбувається після оголошення його цінності. Вона складає 0,6% від загальної вартості вантажу, оголошеної відправником;

- безкоштовне зберігання вантажу протягом 5 днів з моменту прибуття вантажу на склад у місто одержання, враховуючи вихідні та святкові дні;

- безкоштовне розвантаження та завантаження автомобіля клієнта на території «CAT».

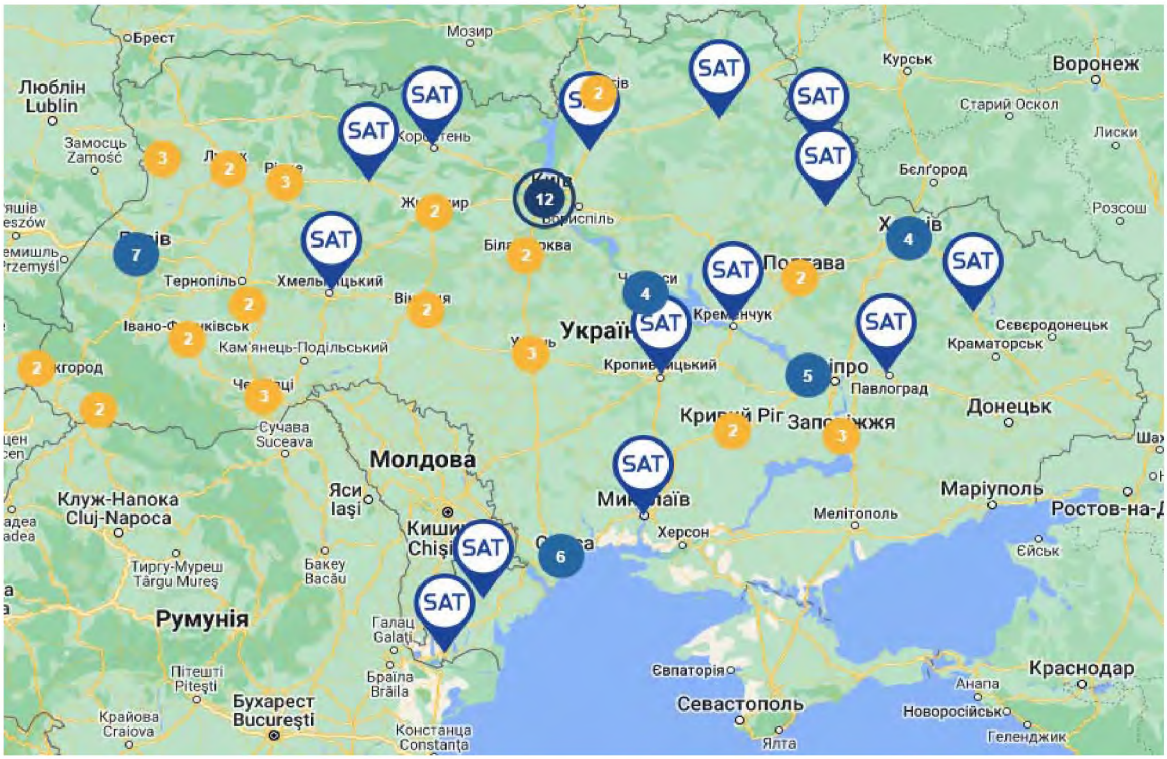


Рисунок 1.2 – Розташування відділень і складів транспортної компанії «CAT» на території України

Особливість роботи транспортної компанії «CAT» полягає в тому, що ціни на вантажоперевезення розраховуються на підставі ваги та об'єму вантажу, що перевозиться, маршруту відправки та оформлення накладної на вантаж.

Кількість діючих відділень кампанії «CAT» на території України представлено на рис. 1.2.

Компанія «CAT» не посередник у перевезеннях, має власний та сучасний автопарк. Сьогодні це має велике значення, адже довіряти цінний вантаж посередникам – справа сумнівна. Всі автомобілі оснащені супутниковою системою стеження, що дозволяє онлайн бачити місцезнаходження вантажу.

Автопарк компанії «CAT» складається з магістральних автопоїздів та фургонів різної вантажопідйомності. Для перевезення великовагових та негабаритних вантажів

є напівпричіп-майданчик і трал. При перевезенні не-габаритних та великовагових вантажів оформляються всі необхідні документи та дозволи.

1.3 Особливості виробництва сільськогосподарської продукції

Торгова політика країн у сфері сільгосппродуктів та продовольства зазнала значних змін. У зв'язку з багатокритеріальним завданням виникла необхідність перегляду усталених у попередні роки методів і схем управління.

За даними ННЦ «Інституту аграрної економіки України» прогнозується збільшення валового виробництва рослинницької продукції у 2025 році на 3,4 % порівняно з 2024 роком. Основними факторами є зростання обсягів виробництва зернових та зернобобових культур.

Основні показники:

1. Зернові та зернобобові культури (очікуване виробництво – 60,0 млн тонн (+7,6 % до 2024 року)):

1.1. Збільшення площ під кукурудзу (+14,1 %) та сорго (+12,3 %).

1.2. Зменшення площ під інші зернові (-16,5 %) та зернобобові (-27,3 %).

2. Олійні культури:

2.1. Зростання виробництва соняшнику (+2,0 %) та сої (+2,3 %).

2.2. Зменшення виробництва ріпаку (-13,1 %).

3. Овочеві, баштанні та картопля:

3.1. Збільшення площ під овочі (+2,7 %), баштанні (+0,5 %) та картоплю (+0,2 %).

3.2. Зростання виробництва картоплі (+4,2 %), овочів (+5,3 %), баштанних (+10,7 %).

4. Інші культури:

4.1. Зростання виробництва винограду (+5,0 %).

4.2. Зменшення збору буряка цукрового (-2,6 %) та плодів і ягід (-6,6 %).

5. Озимі та ярі зернові:

5.1. Зменшення виробництва озимих зернових (-6,9 %), включаючи:

- озиму пшеницю (-6,7 %);
- озиме жито (-5,9 %);

- озимий ячмінь (-8,5 %).

5.2. Зростання виробництва ярих зернових (+18,9 %), зокрема:

- кукурудзи (+23,5 %);

- проса (+21,2 %);

- сорго (+20,0 %);

- гречки (+3,7 %).

Прогнозовані обсяги виробництва у 2025 році забезпечать внутрішні потреби України та збережуть експортний потенціал.

За даними ФАО (FAO), втрати сільськогосподарської продукції відбуваються на всіх етапах виробництва від поля до прилавка (рис. 1.3).

Вирощування та збирання (до 10…30%)	Обробка та переробка (10…25%)	Транспортування та зберігання (до 15%)	Реалізація (до 30-

Р

и

с

у

н

У цій ситуації типологія ризиків втрат ідентична всім видам продукції. Продовольчі втрати можна розділити на технологічні та споживчі (рис. 1.4).

р

Рисунок 1.4 – Продовольчі втрати під час перевезення сільськогосподарської проду-

о

кції

д

о

в

Одним із драйверів економіки України є сільське господарство.

Більшість плодоовочевих культур виробляється на відкритому ґрунті, проте обсяг тепличних овочів збільшується з кожним роком.

Виробництво овочів в Україні у 2023 році склало 8,3 млн тонн, при цьому найбільші обсяги зафіксовані в центральних та південних регіонах.

Транспортування овочів і фруктів, так само, як і іншої сільськогосподарської продукції, що швидко псується, вимагає обережного поводження з вантажем. Є низка обов'язкових правил, недотримання яких обов'язково призводить до пошкодження продукції.

1.4 Основні вимоги до перевезення сільськогосподарської продукції

Оскільки частина сільськогосподарської продукції належить до категорії швидкопсувної, вирішальну роль у життєвому циклі грає збереження якості продукції на всіх етапах «від поля до магазину». За даними Food and Agriculture Organization у 2024 у світі рівень втрат фруктів та овочів на стадії транспортування становить від 5% до 17%. Понад 20% сільськогосподарської продукції не доходять до кінцевого споживача через порушення правил експлуатації транспортних машин.

Сільськогосподарська продукція схильна до пошкоджень протягом усього життєвого циклу, починаючи з процесу збирання і закінчуючи перевезенням. Фактори, що впливають на пошкодження плодів під час виконання транспортно-технологічних операцій представлено на рис. 1.5.

На першому етапі перевезення сільськогосподарської продукції відбувається вибір тари. В якості тари зазвичай використовуються дерев'яні ящики або контейнери. При формуванні продукції в контейнер досягається найкраща збережуваність плодів і овочів, а також скорочення часу на вантажно-розвантажувальні роботи.

Ключовою умовою збереження продукції є дотримання температурного режиму під час їх перевезення. Найоптимальнішим способом перевезення, що забезпечує високий рівень якості продукції з обмеженими термінами придатності є використання

транспорту, оснащеного рефрижератором. Ще одним важливим аспектом є дотримання швидкісного режиму транспортного засобу. Ці вимоги дозволяють захистити продукцію від механічних пошкоджень.

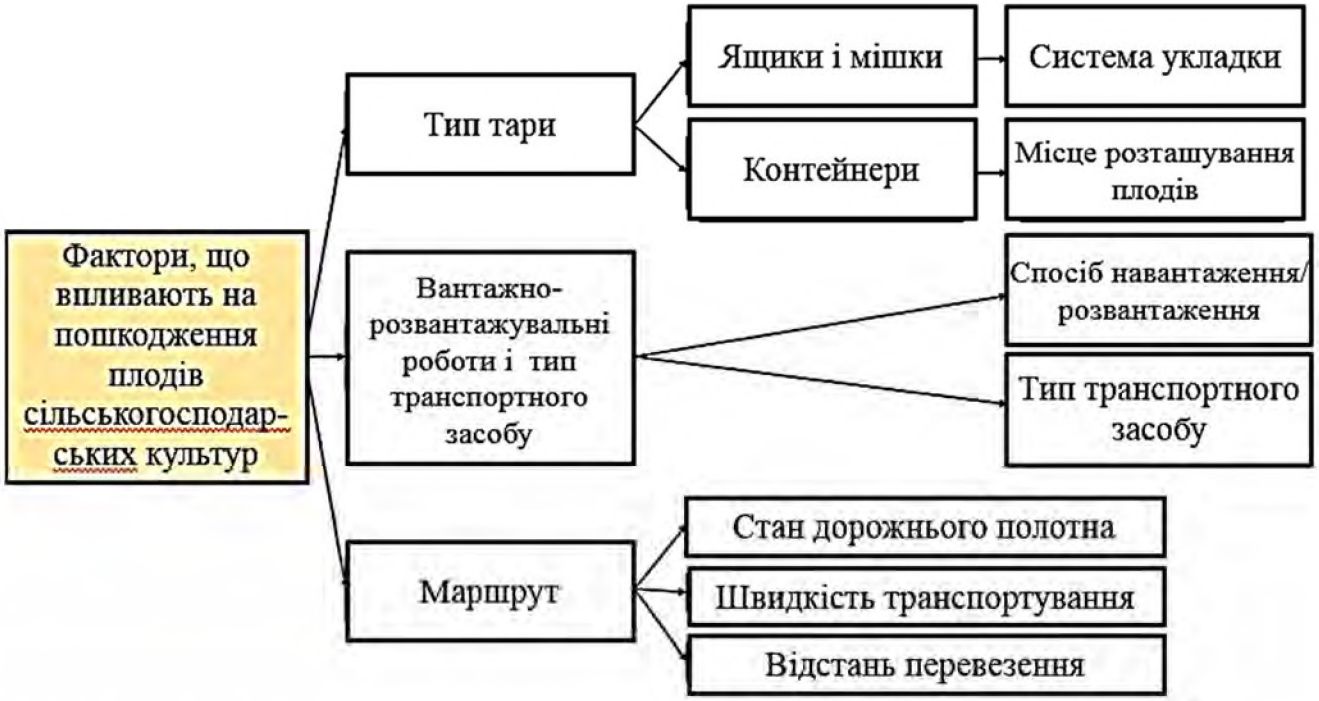


Рисунок 1.5 – Фактори, що впливають на ушкодження плодів під час виконання транспортно-технологічних операцій

Вибираючи упаковку для перевезення овочів, звертають увагу на два важливі аспекти: екологічність матеріалу та його здатність захищати плоди від тертя та ударів. Найчастіше для пакування овочів використовують поліетилен або спеціальний папір. Деякі види овочів транспортують у коробках, заповнених дерев'яною стружкою. Термін зберігання овочів також залежить від правильного укладання.

Деякі плоди та овочі виділяють етилен, природний рослинний гормон, який прискорює дозрівання. До них належать яблука, банани, груші, авокадо, персики, помідори та солодкий перець. Ця властивість використовується для прискорення дозрівання нестиглих плодів, але також може призвести до швидкого псування інших продуктів, тому їх слід зберігати окремо.

Розташування фруктів і овочів, що інтенсивно виділяють етилен, поряд з уже дозрілими неприпустимо, оскільки це може призвести до псування продукції і прискореного перезрівання, що в свою чергу викликає гниття. Режими перевезення та зберігання овочів та фруктів згідно ДСТУ ISO 6949:2005 «Фрукти та овочі. Зберігання в умовах регульованої атмосфери» та ДСТУ ISO 2169:2003 «Фрукти й овочі. Фізичні умови зберігання на холоді. Визначання та вимірювання» показано на рис. 1.6.

Абрикос, буряк, апельсин, гранат, пастернак, грейпфрут, груша, нектарин, вишня, персик, слива, яблуко та ін.	Температура 0…2 °С Вологість повітря 95…100%	Плоди активно виділяють етилен. Цитрусові часто обробляються дифенілом (біфеніл) і передають запах інших продуктів.
Ківі, шпинат, зелений горох, брокколі, спаржа, кукурудза, ревінь, зелена цибуля, ендівій, петрушка та ін.	Температура 0…2 °С Вологість повітря 95…100%	Плоди виявляють високу чутливість до етилену. Для продовження терміну зберігання поверхню плодів можна охолоджувати льодом.
Часник та цибуля	Температура 0…2 °С Вологість повітря 65…75%	Плоди погано переносять вплив вологого
Мандарин, журавлина, лимон, канталупа	Температура 4,5 °С Вологість повітря 95…100%	Лимон та мандарин часто обробляються дифенілом (біфеніл) і передають запах інших продуктів. Для продовження терміну зберігання поверхня плодів можна охолоджувати льодом.
Пізня картопля, солодкий перець, баклажани, огірки	Температура 10 °С Вологість повітря 85…90%	Плоди виявляють високу чутливість до етилену та дії низьких температур.
Авокадо, гарбуз, манго, банан, лайм, диня, рання картопля	Температура 13…15 °С Вологість повітря 85…90%	Плоди активно виділяють етилен і чутливі до дії низьких температур.
Помідор, кавун, батат	Температура 18…21 °С Вологість повітря 85…90%	Плоди виявляють високу чутливість до етилену.

Рисунок 1.6 – Режими перевезення та зберігання овочів та фруктів

Для економічної доцільності «небезпечні» культури часто вантажать в один рефрижератор, розміщуючи плоди, що сильно виділяють етилен, в кінці кузова, а схильні до його впливу – на початку. Це дозволяє продовжити їхнє спільне зберігання до двох діб.

При організації логістики необхідно враховувати всі фактори ризику, включаючи рівень виділення етилену, запах та обробку хімікатами. Наприклад, різкі запахи часнику або цитрусових можуть передаватися іншим фруктам таким, як банани. Крім того, деякі перевізники ігнорують правила, які особливо стосуються температурного режиму, що може призвести до псування плодів, оскільки не завжди низька температура «болісно» позначається на якості продукції. За цим параметром продукція ділиться на три категорії: низьку, середню та високу чутливість.

1.5 Аналіз досліджень у сфері перевезення сільськогосподарської продукції

Сучасний стан агропромислового комплексу позиціонує себе як складна система з безліччю елементів, рушієм яких є транспортні машини зі своєю інфраструктурою.

Постійне зростання обсягу виробництва диктує свої правила, а саме об'єднання всіх учасників процесу в єдину екосистему. Даючи більше можливостей підвищення ефективності виробництва загалом, і до оптимізації структурних элементів [6, 7, 8].

Наукову базу складають дослідження, що проводяться у провідному аграрному вузі країни – НУБіПУ, а також інші установи – ННЦ «ІМЕСГ», ВНАУ, ХНТУСГ імені Петра Василенка, ОДАУ та ін., які займаються питаннями забезпечення надійності транспортних засобів під час перевезення сільськогосподарської продукції.

У роботах вчених НТУ сформовано теоретичні та методичні засади транспортного забезпечення підприємств АПК, а також розглянуто питання моніторингу стану транспортних засобів.

У роботах вчених ОДАУ описується технологія зниження ушкоджуваності під час перевезення плодоовочевої продукції, а також методи підвищення ефективності

транспортних машин. Вивчалася проблеми пошкодження та способи збереження плодоовочевої продукції під час транспортування автотранспортом.

У роботах вчених ВНАУ описуються методи ефективного планування вантажних автомобільних перевезень, беручи до уваги технічний стан транспортних засобів.

У роботах вчених НУБіПУ докладно описуються ключові показники ефективності використання транспортних засобів, а саме коефіцієнт технічної готовності, коефіцієнт використання вантажопідйомності, швидкість руху, час простою, і навіть їх вплив на процес перевезення сільськогосподарської продукції [9].

Рисунок 1.7 – Базові проблеми раціонального використання транспорту в сільському господарстві

Питання моделювання транспортних процесів у агропромисловому комплексі розглядаються у наукових працях вчених ХНТУСГ імені Петра Василенка.

Концепція дослідників ННЦ «ІМЕСГ» пов'язана із застосуванням ситуаційного підходу до транспортного процесу і має ряд переваг, а саме керування через різні ситуації, що протікають у підсистемах, та визначення ключових точок впливу, орієнтуючись не на поточні стани показників системи.

У проаналізованих роботах приділяють значну увагу питанням формування оптимального парку машин, а також методам його ефективного використання. Однак недостатньо висвітленими залишаються питання оцінки ушкодження та псування сільськогосподарської продукції та надійності транспортних машин, що беруть участь у даному процесі.

Основні проблеми раціонального використання транспорту в сільському господарстві можна подати такими блоками (рис. 1.7).

Особливості організації транспортних робіт у сільському господарстві вимагають урахування безлічі факторів, серед яких різноманітність вантажів, сезонність перевезень, взаємодія транспортних засобів з іншою технікою та різний діапазон відстаней.

Також актуальною є проблема оперативного керування транспортними засобами. Неправильне планування призводить до простоїв транспортної техніки та значних втрат урожаю. Для вирішення цієї проблеми необхідно розробляти плани, що відображають усі аспекти процесу виробництва від поля до прилавка.

1.6 Питання щодо забезпечення надійності транспортно-технологічних машин у процесі експлуатації

На початку минулого століття було зроблено перші дослідження в галузі теорії надійності технічних систем, які стосувалися розрахунку міцності механічних систем та використання до них статистичних та теоретико-імовірнісних методів. Наприклад, були розроблені статистичні методи, що дозволяють розрахувати надійність об'єктів будівельної механіки. У міру проведення подальших досліджень, були сформульовані визначення надійності систем, що базуються на інтенсивності відмов елементів, які складають цю систему.

Автори наукових робіт, спрямованих на підвищення надійності поставок, говорять про надійність транспортних систем, а також наводять класифікацію несправностей транспортних систем та факторів, що сприяють підвищенню надійності транспортних систем.

У дослідженнях в галузі планування та управління перевезеннями торкаються оцінки критеріїв оптимальності перевезень, різні методи підбору транспортних засобів, підходи до формування системи показників з метою оцінки ефективності системи перевезень [6].

Стійкість та надійність транспортно-технологічних машин підприємств АПК безпосередньо залежить від їхньої конкурентоспроможності, економічності, а також від мінімізації витрат на працю, матеріальні та сировинні ресурси.

Даний метод оцінки надійності транспортного обслуговування ґрунтується на порівнянні кількості заявок, що задовольняють вимогам клієнта, із загальною кількістю заявок на доставку. Також враховується ймовірність виконання транспортних завдань у заданих обсягах та з показниками якості. Встановлено, що найважливішим фактором, який впливає на надійність транспортного обслуговування, є технічна готовність транспортних засобів.

Зважаючи на те, що підприємства не можуть регламентувати ймовірність безвідмовної роботи транспортних машин, найчастіше на практиці використовується коефіцієнт технічної готовності, що визначається за формулою:

$$K_{\text{тг}} = \frac{\sum_{i=n}^{n} T_{\text{р}}^{j}{}_{j}}{\sum_{i=n}^{n} T_{\text{р}}^{1j} + \sum_{i=n}^{n} T_{\text{ремонт}}^{j}{}_{j}} \qquad (1.1)$$

де $T^{j}_{\text{р}}$ – час знаходження транспортної машини у справному стані, год.;

$T^{j}_{\text{ремонт}}$ – час простою транспортної машини у ремонті, год.

Для оцінки ефективності транспортно-технологічних машин рекомендується вибирати ймовірність безвідмовної роботи або коефіцієнт технічної готовності в якості критерію.

Відповідно до обраної стратегії підприємства, критерієм ефективності може бути як мінімізація питомих витрат, так і максимізація коефіцієнта технічної готовності при мінімізації ймовірності відмов. Коефіцієнт технічної готовності залежить від напрацювання та віку автопарку.

Вплив віку автопарку на працездатність машин показано на рис. 1.8.

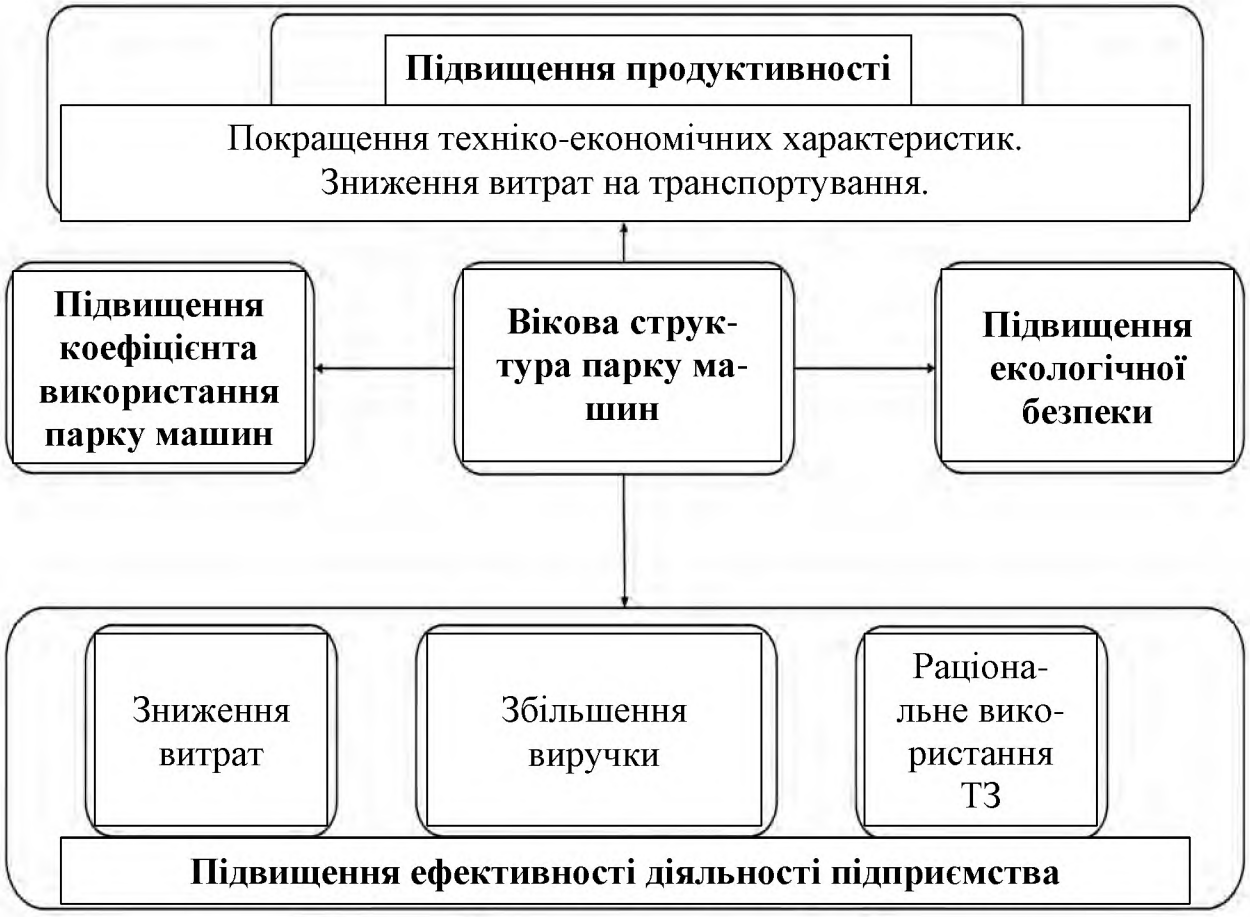


Рисунок 1.8 – Ефективність роботи парку машин

Життєвий цикл транспортних машин складається з кількох послідовних етапів, що охоплює весь термін експлуатації. Цей час вважається найбільш важливим, оскільки він впливає на розробку та здійснення технічного переозброєння, а також розвиток матеріально-технічної бази. Підсумки діяльності підприємства та його структурних підрозділів, у тому числі ремонтної бази та автопарку, залежать від того, скільки часу машина перебуває в експлуатації. Цей показник може бути виміряний як у кілометрах пробігу, так і у роках використання машини. Показники транспортної машини та її річний пробіг є взаємопов'язаними. Вирізняють такі види термінів служби автомобілів (рис. 1.9).

Рисунок 1.9 – Види термінів служби автомобілів

Термін експлуатації транспортного засобу може бути більшим або меншим за економічно обґрунтований. Термін експлуатації може бути скоригований з урахуванням різних факторів. Завод-виробник, зазвичай, встановлює мінімальний термін служби машини – 3 роки (100–200 тис. км пробігу).

Згідно із законодавством, максимальний термін експлуатації автомобілів не може бути обмежений. У «Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту» (1998 р.) є лише один показник, який має обмеження – це пробіг до капітального ремонту, який коригується та встановлюється відповідно до «Правил надання послуг з технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів» (2014 р.).

Наразі підприємства АПК стоять перед проблемою критичного стану транспо-

ртних засобів. Більшість із них перебувають у експлуатації поза допустимим терміном служби, а значна частина – наближається до критичного терміну експлуатації.

При формуванні вікової структури парку слід дотримуватися таких рекомендацій [8]:

– необхідно здійснювати прогнозування зміни вікової структури парку (мінімум раз на рік);

– необхідно враховувати вікову структуру парку автомобілів, а також темпи їх списання та поповнення;

– оновлення парку машин;

Тому для будь-якого підприємства АПК у галузі транспортного забезпечення є першочерговим завдання знайти відповідність між фактичним та раціональним часом роботи автомобілів, що економічно вигідно. Згодом стають визначальними для переходу транспортного засобу до граничного стану, що може призвести до його остаточного або тимчасового припинення експлуатації.

За функціональним призначенням пріоритетним завданням будь-якого підприємства, що має парк машин, є підвищення ефективності його використання шляхом своєчасного оновлення або модернізації.

Нормативно-правова база у сфері роботи транспортних машин велика і включає безліч документів різного рівня. Вони відображено вимоги до водіїв та правила дорожнього руху, проте питання надійності транспортних засобів у цих документах безпосередньо не регулюються. Це свідчить про те, що правове регулювання цього питання лише починає розвиватися.

Крім правової системи є ще й методична, заснована на системі національних і міжнародних стандартів.

1.7 Визначення характерних ознак системи перевезення сільськогосподарської продукції та опис основних принципів її функціонування

Результати аналізу особливостей процесу перевезення сільськогосподарської продукції дозволили встановити взаємозв'язок усіх учасників процесу, функціонального призначення кожного елемента, моніторингу експлуатаційно-технологічних

властивостей транспортних машин і парку машин загалом. Застосування системного підходу дозволяє уточнити залежність різних зв'язків між параметрами транспортних засобів, які впливають на процес перевезення сільськогосподарської продукції. Для вивчення та розв'язання даних завдань виділяється цілий блок методів, а саме системне дослідження [7]

Під даним терміном у різних наукових джерелах розуміється «системний аналіз», «системний підхід», «системно-структурний аналіз» та ін. Слід зазначити, що під системним підходом ми розуміємо більший зміст.

У певному сенсі цей підхід вважається рекомендацією і не має суворої методики.

У багатьох досліджень у сфері перевезення сільськогосподарської продукції в основі лежить системний підхід. Зумовлено це тим, що у цих процесах переважає безліч чинників та обмежень, які необхідно враховувати. При цьому необхідно відмітити, що у свою чергу вони перетворюються на емерджентне середовище.

Затребуваність та доцільність системного підходу відображені у багатьох наукових працях [1, 4, 5].

Для застосування системного підходу необхідно провести детальний аналіз процесів, що протікають в емерджентному середовищі, дослідити сполучні елементи, вивчити оптимальні умови перевезення з метою подальшої оптимізації процесу:

1. Провести аналіз існуючих видів перевезення сільськогосподарської продукції, виділити основні елементи із основного масиву даних процесу;

2. Провести аналіз та декомпозицію процесу перевезення;

3. Сформувати уявлення про взаємодію об'єктів системи та її компонентів у емерджентному середовищі, визначити коректні значення застосовуваних термінів.

Аналіз транспортного обслуговування в агропромисловому комплексі, проведений раніше, показує гостру необхідність проведення моніторингу технологічного процесу, зокрема розподілу та контролю використання виробничих ресурсів.

Системний аналіз – науковий метод пізнання, що є серію операцій, вкладених у виявлення структурних зв'язків між елементами досліджуваного процесу [3].

Структура системного аналізу складається з трьох основних етапів: декомпозиції, при детальному аналізі системи, узагальнення зібраної інформації у вигляді моделі, кожна із яких сприяє оцінці ключових властивостей системи. Недостатнє дослідження процесів при системному аналізі призводить до прогалин в описі важливих структурних елементів системи [5].

Вивчення процесу транспортування сільськогосподарської продукції та його характеристик передбачає розробку моделі, яка описуватиме структуру системи та її елементи у вигляді окремих блоків (рис. 1.10).

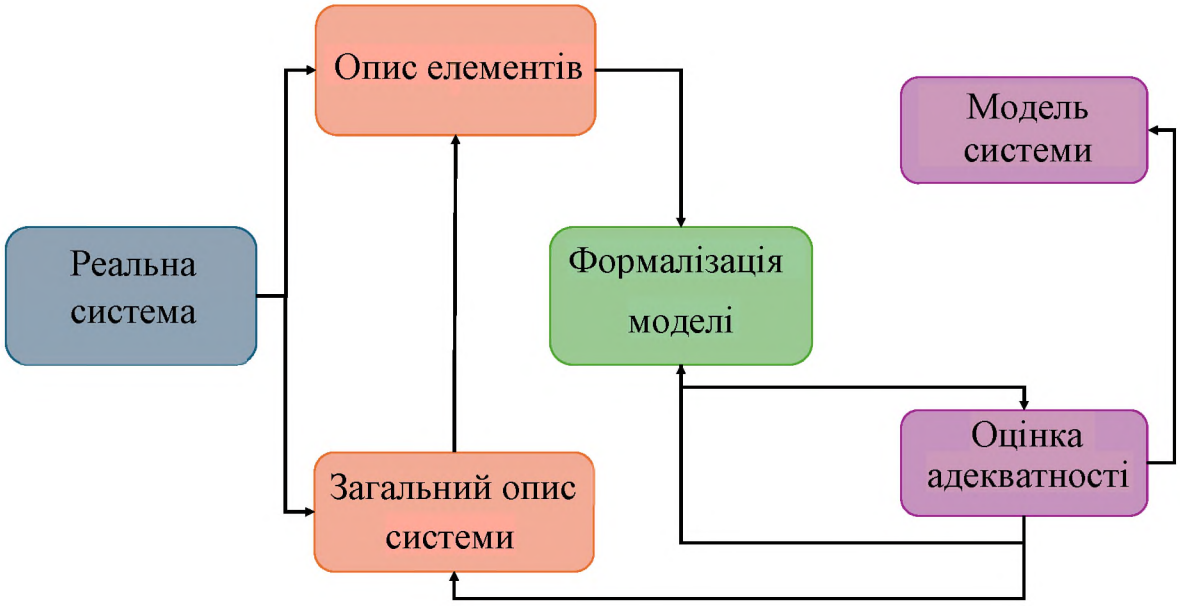


Рисунок 1.10 – Ключові етапи створення моделі перевезення сільськогосподарської продукції для аналізу особливостей її роботи

У контексті поточного дослідження доцільно сформулювати та перерахувати поняття та терміни, що використовуються.

1. Система – сукупність елементів і зв'язків між ними, що становить цілісну єдність.

2. Елемент системи – базова неподільна одиниця системи. У рамках поточного дослідження можк бути операція під час процесу перевезення, транспортний засіб.

3. Підсистема – самостійний набір елементів, наділених самостійністю, але спрямованих на виконання загальної мети. Виділяємо підсистеми: транспортні і технологічні машини, які здійснюють вантажно-розвантажувальні роботи.

4. Стан системи – сукупність зовнішніх та внутрішніх факторів. Для процесу перевезення сільськогосподарської продукції характерне використання дискретного визначення стану системи, що базується на об'ємі вантажу, тривалості маршруту, кількості транспортних засобів, показниках надійності.

5. Зв'язок – взаємна залежність елементів системи. У структурних системах застосовується зворотний зв'язок, що дозволяє керувати процесом функціонування.

6. Функціонування системи – процес перевезення сільськогосподарської продукції, заснований на взаємодії транспортних засобів.

7. Структура системи – сукупність елементів системи, яка вибудована та впорядкована в ієрархію [3].

8. Середа системи – сукупність існуючих поза системою елементів, що знаходяться за межами системи та впливають на неї.

Так як для моделювання основної системи допоміжний процес не має належного інтересу, то в поточному дослідженні вводиться елемент коригувального коефіцієнта.

Виходячи з цього, можна дійти висновку у тому, що у процесі вивчення основних елементів системи необхідно провести аналіз причино-наслідкових зав’язків з-поміж них. Щоб це здійснити, необхідно докладніше вивчити процес перевезення сільськогосподарської продукції. До первинних властивостей відносять вихідні дані, отримані під час спостереження за процесом, а до вторинних – показники продуктивності та надійності транспортних засобів. Визначення причинно-наслідкових зв'язків здійснюється через декомпозицію системи на підсистеми та елементи, включаючи створення функціональної та структурної схеми перевезення. Відповідно до етапів вивчення, спочатку аналізуються властивості всієї системи, а потім її елементи.

В силу своєї складності та багатокомпонентності, процес перевезення сільськогосподарської продукції піддається впливу низки факторів (специфіка продукції, що

перевозиться, географічне положення, вимоги до умов перевезення, тип кузова, надійність транспортних машин). Функціональні схеми процесу перевезення сільськогосподарської продукції показані на рис. 1.11.

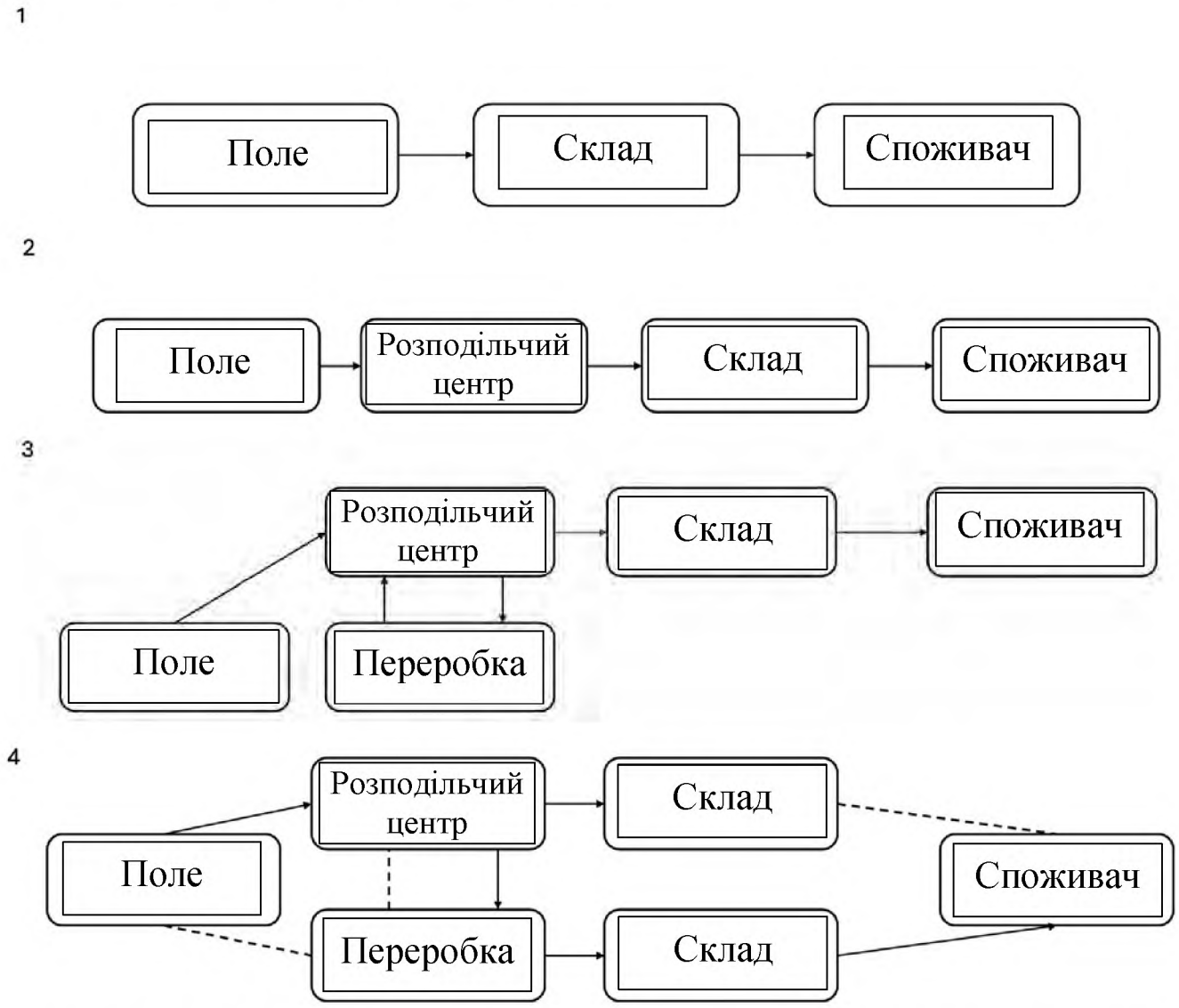


Рисунок 1.11 – Функціональні схеми процесу перевезення сільськогосподарської продукції

В результаті аналізу існуючих технологій встановлено, що практично у всіх технологічних операціях з використанням техніки, існують передумови застосування різноманітних контрольно-інформаційних систем.

У забезпеченні підприємством безперебійної роботи транспортних машин, ключова роль відводиться скороченню та мінімізації простоїв техніки. Вбудовані за-

соби контролю спільно з системою моніторингу за технічним станом техніки дозволяють мінімізувати витрати підприємства та скоротити час простою з технічних причин [7]. На рис. 1.12 представлено структурну схему застосування контрольно-інформаційної системи [8].

Рисунок 1.12 – Структурна схема роботи контрольно-інформаційної системи

Світова тенденція показує, що зростання кількості контрольованих транспортних машин та параметрів зумовлює потребу в оснащенні транспортних засобів вбудованими засобами контролю.

Як показали результати дослідження в спектрі розв'язуваних завдань щодо ефективності перевезення різних вантажів актуальним є застосування якісного рішення в частині автоматизації управління транспортної та технологічної машини шляхом включення в конструкцію програмно-апаратних комплексів (ПАК) [6].

Застосування даних комплексів дозволяє вирішити завдання з вибором оптимальних рішень, накопиченням банку даних з метою адаптації до реальних умов перевезень з урахуванням прийнятих раніше рішень. Сучасні автоматизовані комплексні програмно-апаратні рішення [11] знайшли широке застосування з диспетчеризації транспорту, моніторингу, керування та при вирішенні інших комерційних завдань (рис. 1.13).

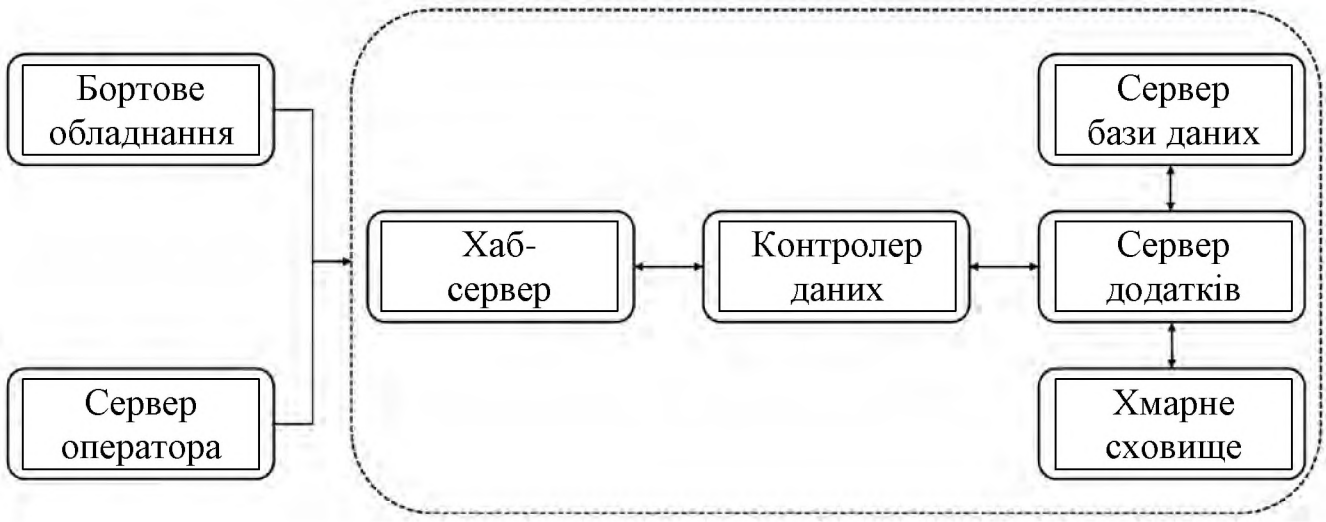


Рисунок 1.13 – Архітектура рішення

Слід виділити переваги програмно-апаратних систем, такі як:

1. зниження впливу людського фактора при прийнятті рішень, що залежать від випадкових факторів;

2. необмежену кількість користувачів, які одночасно використовують можливості хмарної платформи.

3. власна бібліотека даних за допомогою якої насичується нейронна мережа правильними рішеннями.

4. великий обсяг контрольованих параметрів та факторів.

5. хмарний сервер з можливістю виконувати обчислювальні завдання та порівнювати результати з реальною обстановкою з метою оперативного коригування.

6. наявність кількох серверів для зберігання звітів та відтворення ситуацій, а також для безперебійної роботи [6].

Порядок монтажу ПАК на транспортному засобі включає декілька ключових етапів, а саме встановлення телематичного блоку в кабіну або спеціальний відсік, підключення до бортової системи, налаштування та тестування, інтеграція з платформою. Функціонал ПАК представлено на (рис. 1.14).

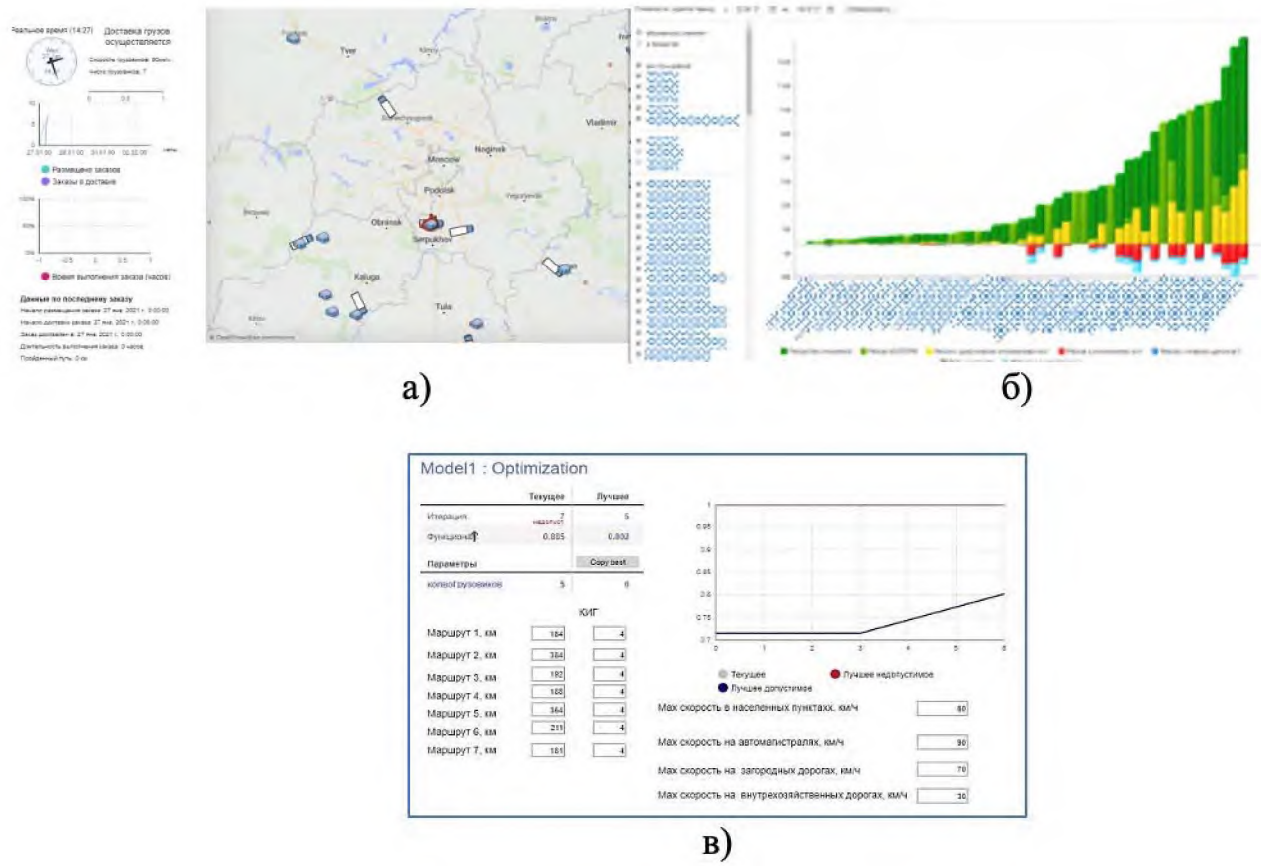


Рисунок 1.14 – Функціонал ПАК

а) контроль за дотриманням маршруту; б) формування звіту;

в) оптимізаційний модуль

Віддалений контроль за всім списковим складом транспортних машин організацій, що здійснюють перевезення, допомагає підвищити якість доставки та керованість процесів. Контроль здійснюється віддалено, оператор здійснює моніторинг та коригування, у разі виникнення екстреної ситуації, прийняті рішення з алгоритмом факторних впливів зберігаються в бібліотеці бази даних, для подальшого вивчення та при необхідності коригування самих алгоритмів [6].

1.8 Висновок та завдання дослідження

За результатами дослідження, виконаного у першому розділі, можна зробити такі висновки:

1. Аналіз питання транспортування сільськогосподарської продукції показав, що рівень втрат сільськогосподарської продукції у світі під час перевезення становить від 3% до 18%.

2. Встановлено, що ключовою умовою збереження продукції є дотримання режимів перевезення та зберігання овочів і фруктів згідно. Оптимальним способом перевезення забезпечується високий рівень якості продукції з обмеженими термінами використання транспорту, оснащеного рефрижератором. Однак, з метою мінімізації витрат на транспортування часто вантажі перевозять у відкритих вантажівках без холодильних систем, що призводить до механічних пошкоджень та псування продукції. Також не рекомендуються різні види продукції перевозити разом, у зв'язку з можливим негативним впливом на збереження через різні фізико-хімічні властивості. Пошкодження плодоовочевої продукції виникають також, якщо температура в рефрижераторі опустилася нижче за допустимі значення температурного режиму. За цим параметром сформовано три категорії продукції: низької, середньої та високої чутливості.

3. У розглянутих наукових роботах немає єдиного підходу до організації транспортування сільськогосподарської продукції, частина робіт базується на умовах перевезення, інша частина методів ефективного планування – враховуючи технічний стан транспортних машин. Однак взаємозв'язки цих факторів не отримали належного висвітлення.

4. У результаті аналізу особливостей процесу перевезення сільськогосподарської продукції, встановлення взаємозв'язку всіх учасників процесу, функціонального призначення кожного елемента, моніторингу експлуатаційно-технологічних властивостей транспортних машин, і парку машин, визначено, що найбільш коректне у цьому дослідженні застосування системного підходу.

5. У результаті аналізу встановлено, що у більшості технологічних операцій необхідно використовувати контрольно-інформаційні системи підвищення ефективності.

В рамках вивченого питання перевезення сільськогосподарської продукції розроблено програму дослідження та визначено такі завдання дослідження:

1. Провести аналіз системи транспортного забезпечення сільськогосподарського виробництва та визначити транспортно-технологічні показники процесу перевезення сільськогосподарської продукції, що впливають на якість та вартість.

2. Дослідити існуючі методи та моделі організації перевезень та обґрунтувати необхідність удосконалення процесу перевезення з урахуванням специфіки продукції, що транспортується, та показників надійності транспортних машин.

3. Описати логічну структуру процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників надійності транспортних машин.

4. Вибрати середовище та засоби моделювання, розробити робочу версію та здійснити її налаштування з подальшою оцінкою адекватності та точності.

5. Провести збір та обробку статистичної інформації транспортних машин під час перевезення сільськогосподарської продукції, у тому числі показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин в умовах реальної експлуатації.

6. Розробити методику визначення оптимальних параметрів процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин.

7. Оцінити економічну ефективність результатів дослідження.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ОБЛАСТІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

2.1 Опис досліджуваного процесу перевезення сільськогосподарської продукції та основні етапи розробки його функціональної моделі

Декомпозиція процесу перевезення сільськогосподарської продукції визначає зв'язок між елементами системи, формує функціональну модель.

У свою чергу, виникнення спільної поведінки системи із взаємодії з елементами призвело до появи якості емерджентності. Ця властивість дає можливість виявити нові структури, властивості, якості, взаємодії або моделі поведінки. Вплив підсистеми на системи в цілому в першу чергу залежить від специфіки вантажу, що перевозиться, і показників надійності транспортних засобів, яка може відрізнятися від продукції, що перевозиться.

Як правило, при формуванні парку машин підприємство вважає, що повне завантаження всіх транспортних засобів при виконанні процесу перевезення сільськогосподарської продукції забезпечується за дотримання наступної рівності:

$$\frac{Q_1}{N_1 * W_1} = \frac{Q_2}{N_2 * W_2} = \cdots = \frac{Q_i}{N_i * W_i} \tag{2.1}$$

де Q_1, Q_2, Q_i – обсяг перевезення, що виконується транспортними машинами 1, 2…, i;

N_i, N_0, N_1 – кількість транспортних машин 1, 2 …, i;

W_i, W_0, W_1 – корисний об'єм напівпричепа 1, 2 …, i;

$$N = \mathrm{Q} \,/\, (\mathrm{W} \cdot \mathrm{T}) \tag{2.2}$$

де N – необхідна кількість транспортних машин;

Q – заданий обсяг перевезення;

T – час виконання перевезення;

W – корисний об’єм напівпричепа.

Усі розрахунки потреби транспортних машинах, засновані на принципі, що виходить із того, що продуктивність, кількість і марочний склад транспортних засобів не змінюється під час перевезення сільськогосподарської продукції (метод прямого рахунку). На практиці ці умови не виконуються, частина транспортних машин відправляються в рейс недовантаженими, інші не здійснюють перевезення у визначені терміни з технічних причин.

Застосування системного підходу та математичного моделювання дозволяють суттєво полегшити завдання дослідження різних умов перевезення сільськогосподарської продукції.

Перевезення сільськогосподарської продукції здійснюється за технологією, що передбачає процес підготовки, виробництв та розподіл сільськогосподарської продукції, її переробку та збут. Графічна модель технологічного процесу показана на рис. 2.1.

Однією з основних умов досягнення необхідної якості під час перевезення є правильне укладання сільськогосподарської продукції палети чи контейнер. Найчастіше пошкодження продукції відбувається під час вантажно-розвантажувальних робіт.

Однією з головних вимог для отримання регламентованої якості під час перевезення є закладання сільськогосподарської продукції в тару та виконання вантажно-розвантажувальних робіт. Досвід показує, що зниження якості або псування найчастіше відбувається під час виконання конкретної операції, особливо, якщо операція проводиться вручну. Продукція, що перевозиться, отримує механічні пошкодження.

Для вирішення зазначених питань можуть застосовувати навантажувачі. Процес навантаження показано на рис. 2.2.

Після навантаження відбувається закріплення вантажу в кузові та відправлення вантажу. Типові варіанти формування вантажної одиниці та подальше закріплення вантажу показано на рис. 2.3.

Вартість перевезення сільськогосподарської продукції є інтегральним критерієм, що прагне до мінімуму та зводиться до оптимального значення, при виконанні наступних обмежень, а саме $С_ф \rightarrow min$, за умови, що час витрачений на перевезення

дорівнює або менше нормативного $T_ф \leq T_{норм}$, де втрати продукції дорівнюють протіканню природної усушки чи усадки в залежності від продукції $P_ф \rightarrow min$).

Щоб визначити особливості функціонування технологічної системи необхідно провести дослідження її структури. У процесі розв'язання задачі використовуються технології функціонального моделювання [11]. Стандарт BPMS є новим та досить популярним. Він допомагає керувати бізнес-процесами в умовах їх частих змін, що є досить поширеною ситуацією [6].

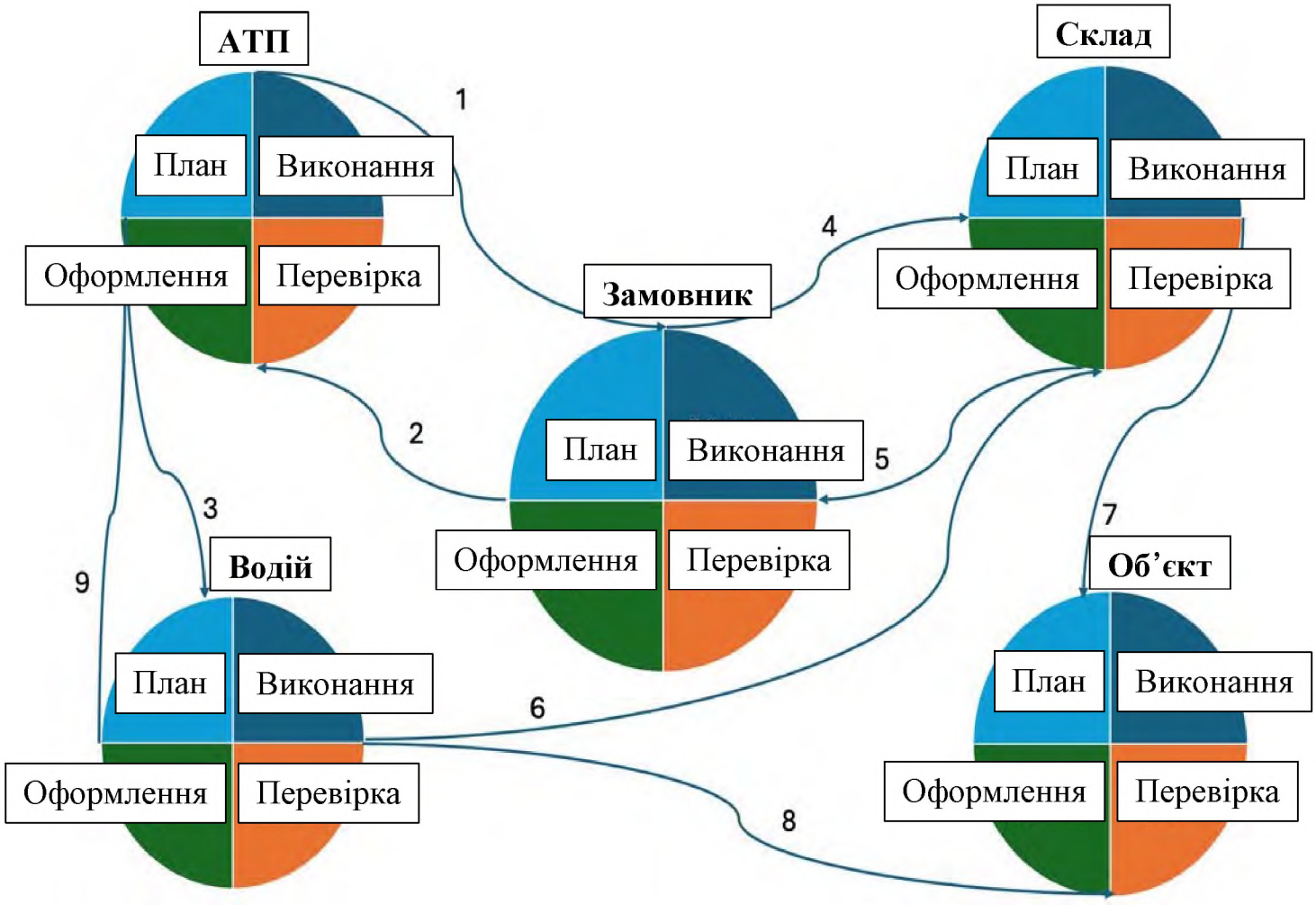


Рисунок 2.1 – Графічна модель технологічного процесу перевезення сільськогосподарської продукції:

1– Оплата перевезення; 2 – Потреба у транспорті; 3 – Завдання на перевезення; 4 – Формування вантажу; 5 – Вантаж сформований; 6 – Час прибуття на склад; 7 – Навантаження та відправлення; 8 – Час прибуття на об'єкт; 9 – Повернення до парку

Рисунок 2.2 – Процес навантаження сільськогосподарської продукції

Рисунок 2.3 – Процес формування вантажної одиниці

Застосування сучасних методів обробки та аналізу інформації, в основі яких лежать статистичні дані, дозволяє виявити залежності, зробити декомпозицію процесу перевезення сільськогосподарської продукції. З цією метою відбувається розробка імітаційної моделі, в основі якої використовується комбінована система моделювання, а також методи статистичного аналізу та прогнозування. Приклад елементів системи BPMS показано на рис. 2.4.

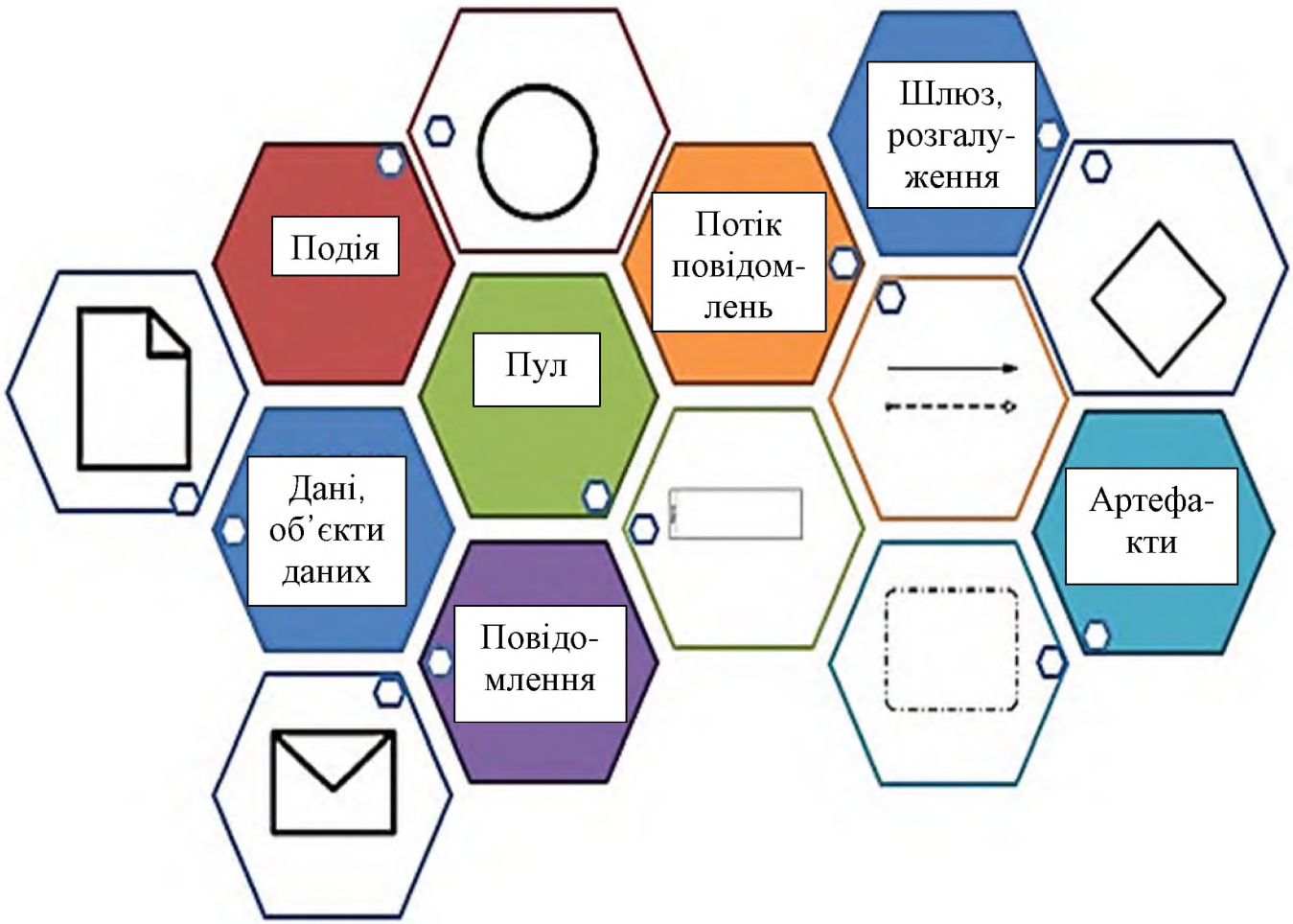


Рисунок 2.4 – Основні елементи нотації BPMS

Оскільки організація керування транспортними потоками відноситься до такої галузі, де проведення натурного експерименту ускладнене або неможливе, імітаційне моделювання у багатьох випадках стає єдиним інструментом ефективного рішення у цій галузі. Однією з основних переваг цього методу моделювання BPMN є те, що на відміну від аналітичного імітаційного моделювання транспортних потоків даний метод дозволяє багаторазово відтворювати досліджувану систему та визначати її оптимальний стан.

Середовище BPMN перетворює моделі на програмний код, що дозволяє змінювати поведінку процесу під час його виконання (рис. 2.5). Однак інтеграція з іншими інформаційними системами та обмеження моделювання можуть призвести до складнощів. Незважаючи на це, імітація процесів у середовищі дозволяє наочно уявити взаємозв'язки та хронологію виконання процесу, що полегшує розуміння його особливостей [6].

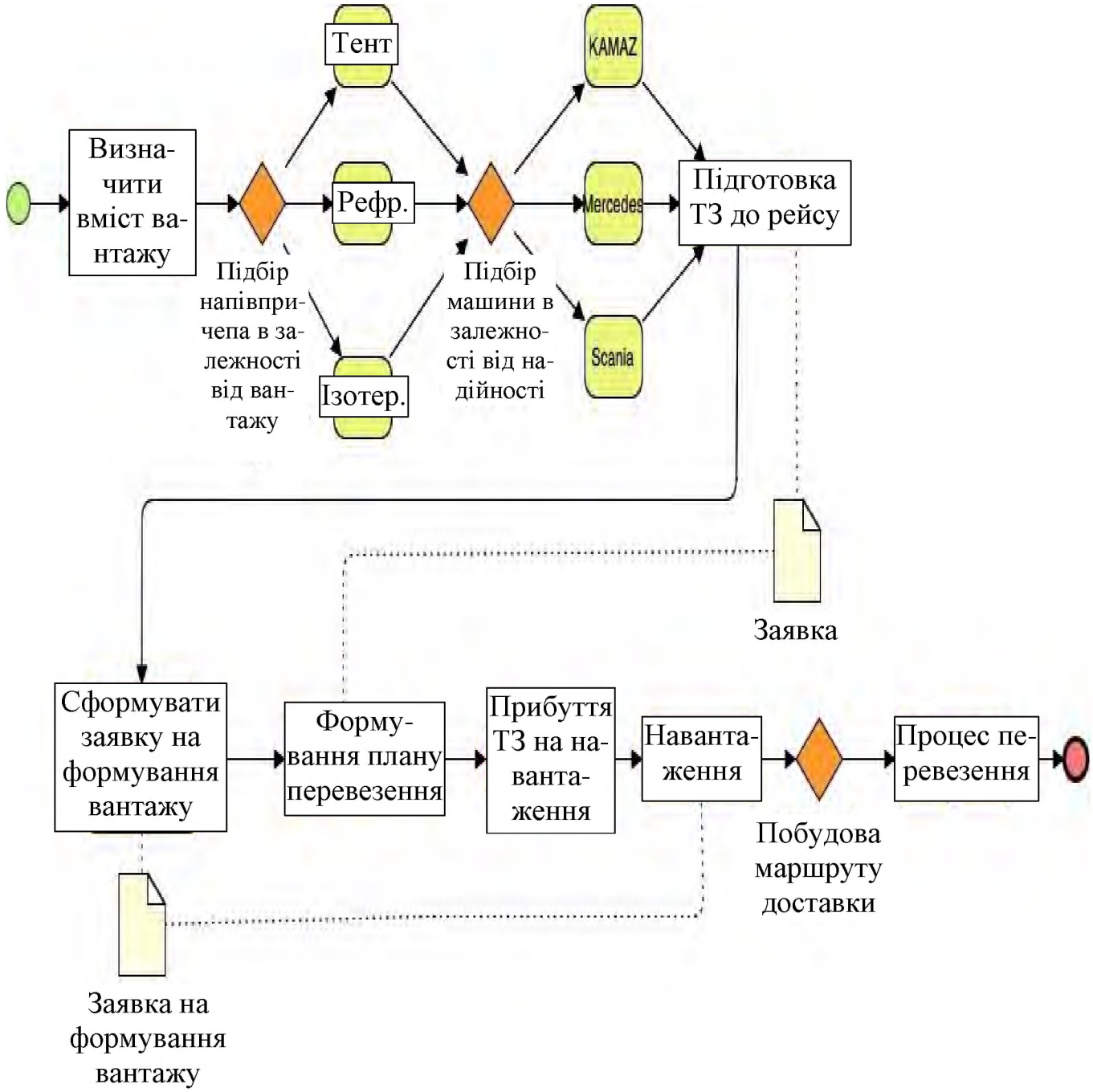


Рисунок 2.5 – Приклад побудови моделі перевезення сільськогосподарської продукції

Наступний рівень декомпозиції виконується аналогічно та відображає графічне уявлення взаємодій між елементами. На рис 2.6 представлені основні транспортно-технологічні операції, необхідні для перевезення сільськогосподарської продукції, структуровані відповідно до функціональних блоків на основі результатів декомпозиції.

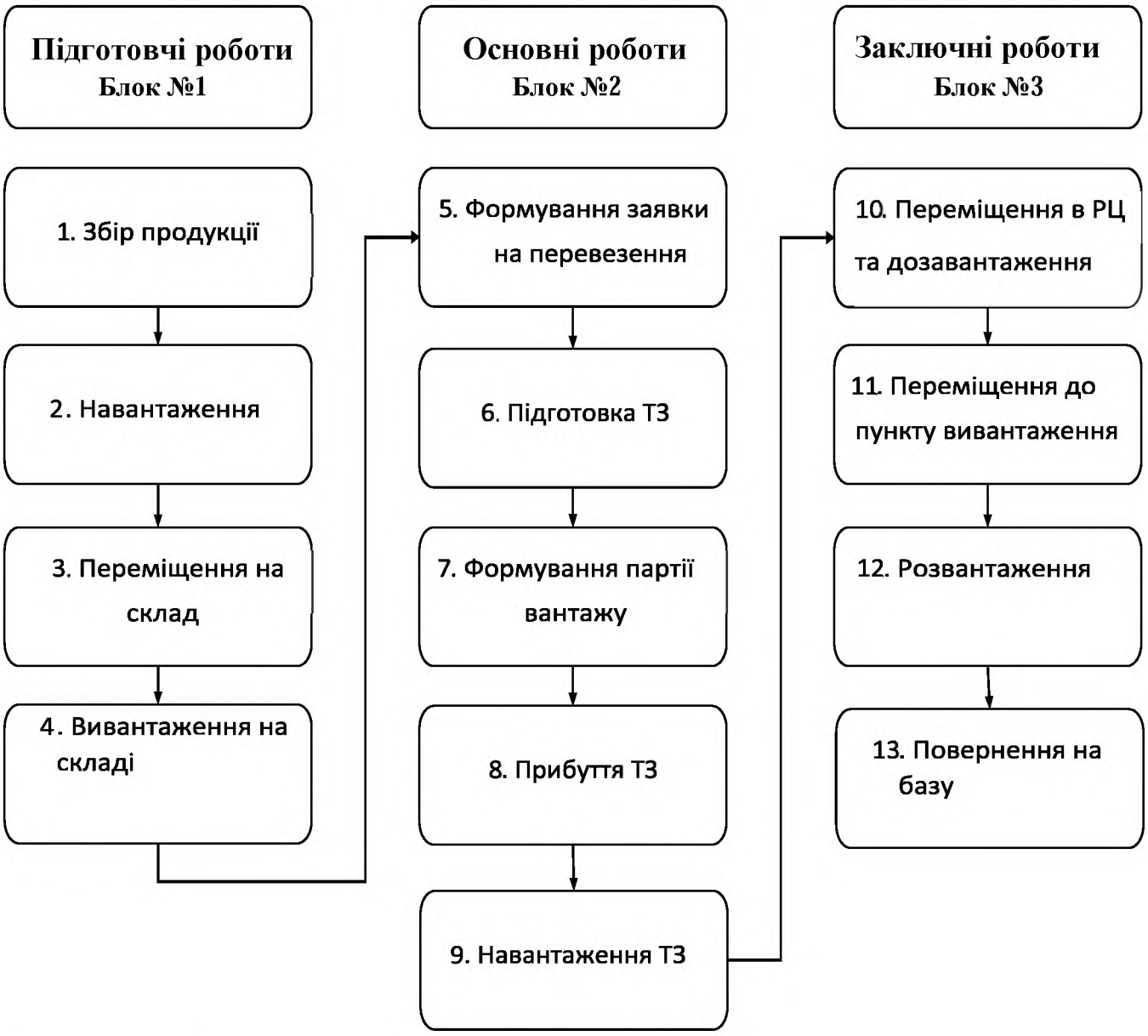
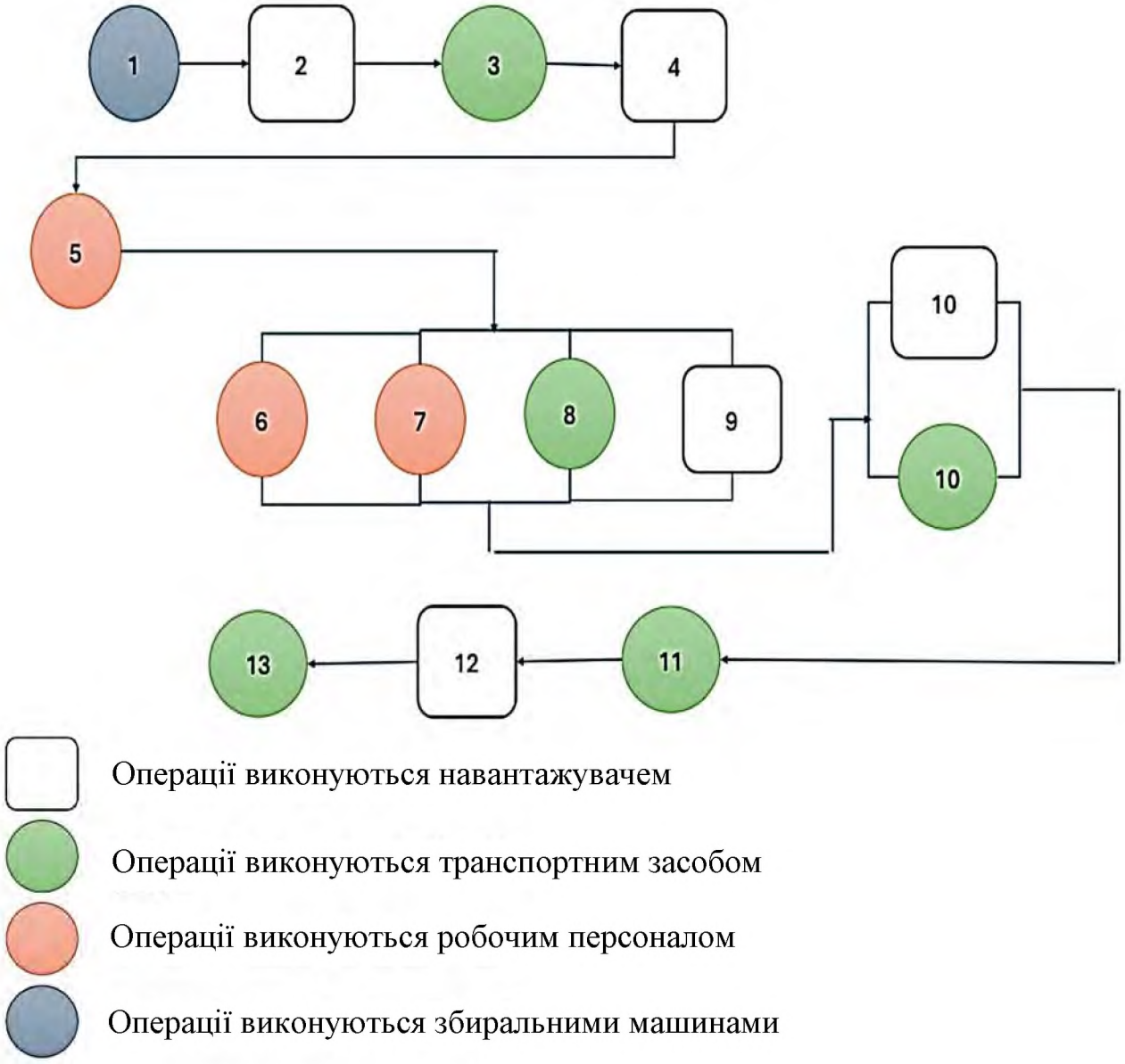


Рисунок 2.5 – Основні технологічні операції процесу перевезення сільськогосподарської продукції

Але додатково до них варто розглядати й інші, не менш важливі операції технологічного процесу: збирання продукції, формування партії, навантаження та розвантаження, підготовка транспортних машин перед виїздом у рейс.

На рис. 2.6 представлена схема взаємодії транспортних засобів із технологічними операціями. Для здійснення всіх необхідних транспортно-технологічних операцій у цих умовах достатньо буде задіяти наступний набір техніки: машина для збору врожаю, навантажувач, транспортна машина.



Технологічні операції:

1 – Збір продукції; 2 – Навантаження; 3 – Переміщення на склад; 4 – Вивантаження на складі; 5 – Формування заявки на перевезення; 6 – Підготовка ТЗ; 7 – Формування партії вантажу; 8 – Прибуття ТЗ; 9 – Навантаження ТЗ; 10 – Переміщення в розподільний центр та дозавантаження; 11 – Переміщення в пункт розвантаження; 12 – Розвантаження; 13 – Повернення на базу

Рисунок 2.6 – Схема переміщення транспортно-технологічних машин у процесі перевезення сільськогосподарської продукції

2.2 Зарубіжний досвід у галузі управління організаційно-технологічним забезпеченням підприємства

В даний час багато підприємств, адаптуючи зарубіжний досвід, впроваджують у свою виробничо-господарську діяльність різні підходи до управління матеріально-технічним забезпеченням на базі систем MRP, MRP II, ERP, DRP та ін [6].

В основі цих систем лежить концепція "планування ресурсів" або RP. У свою чергу, MRP працює з компонентами, спираючись на попит на підсумковий продукт. Основна ідея системи полягає у забезпеченні необхідної кількості компонентів на ринку, підтримання низького рівня запасів, планування виробничого процесу. Наступницею даної системи стала покращена версія MRP II, яка поєднує всі компоненти в єдину екосистему.

Найбільш відомою є ERP система, що отримала від своїх старих RP версій базові модулі логістики, виробництва, збуту та планування. Дані модулі є універсальними і можуть бути адаптовані під будь-яке виробництво, формуючи єдиний цифровий простір.

Виділяються також японські системи, в основі яких лежать концепції «ощадливого виробництва» і «шість сигм», що базуються на скорочення часу, який буде необхідний для виконання технологічних операцій.

Однією з варіацій концепції є система "точно в строк" ("just-in-time", JIT-система), заснована на принципі точної потреби ресурсів у заданих обсягах і термінах.

Такий підхід дає можливість значно знизити обсяги продукції у вигляді запасів, які можуть бути використані в процесі відновлення виробничого процесу. У разі використання ЛТ-системи на промислових підприємствах необхідно враховувати чітку послідовність дій щодо переміщення продукції між різними етапами виробництва та її передачі від виробників.

В результаті досягається відсутність очікувань у обробці та простоюванні транспортних засобів. Успіх ЛТ-системи залежить від виконання допоміжних цілей: усунення збоїв, гнучкість системи, скорочення термінів виробництва, мінімізація запасів та зниження витрат.

Основна ідея системи KANBAN полягає у розробці взаємодії одного або кількох підприємств у формуванні розкладу відвантажень, згідно з цією системою продукція формується в необхідних обсягах і відвантажується за графіком.

Новим етапом розвитку концепції «точно в строк», стала система LP, що включає переваги комбінованого виробництва, що дозволяє знизити потреби в ресурсах і скорочення відсотка браку на виробництві.

Переваги та перспективи, адаптації та впровадження підходів управління матеріально-технічним забезпеченням на базі систем MRP, MRP II, ERP, DRP та ін., очевидна.

2.3 Показники надійності транспортних машин, що впливають на ефективність перевезення сільськогосподарської продукції

Технічна характеристика, кількісним чином визначає одну чи кілька властивостей надійності об'єкта, називається показником надійності.

Виділяють поодинокі та комплексні показники надійності. Поодинокі показники характеризують одну з властивостей надійності об'єкта:

– по безвідмовності: можливість безвідмовної роботи, напрацювання на відмову, інтенсивність відмов;

– за довговічністю: середній ресурс, гамма-відсотковий ресурс; середній термін служби;

– по ремонтопридатності: можливість відновлення працездатного стану, середній час відновлення;

– за збереженням: середній термін зберігання, гамма-відсотковий термін зберігання.

Комплексний показник є кількісною характеристикою кількох властивостей надійності об'єкта:

– коефіцієнт готовності;

– коефіцієнт оперативної готовності;

– коефіцієнт технічного використання;

– коефіцієнт технічного використання;

– коефіцієнт збереження ефективності.

В якості предмета дослідження в теорії надійності прийняті комплексні показники надійності та поодинокі показники безвідмовності.

У рамках цього дослідження – це забезпечення перевезення сільськогосподарської продукції. Для підвищення рівня надійності та забезпечення безперебійної роботи підприємства необхідно зібрати відомості про роботу транспортних машин, пробіг до відмови, часу усунення відмови. Найбільш достовірну інформацію щодо надійності транспортних засобів дають експлуатаційні (статистичні) випробування.

В теорії надійності за випадкову величину зазвичай приймають час роботи виробу (час (пробіг) до виникнення відмови):

$$T = 1/\lambda \tag{2.3}$$

де λ – інтенсивність відмов об'єкта дослідження, λ = const.

У нашій моделі знаходиться N-а кількість транспортних машин, тоді критерієм надійності транспортної системи є можливість безвідмовної роботи, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі або в межах пробігу не відбудеться жодної відмови:

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N} \tag{2.4}$$

де N – загальна кількість транспортних машин;

$n(t)$ – кількість несправних транспортних машин;

$P(t)$ – можливість безвідмовної роботи транспортних машин.

Функція $P(t)$ має такі властивості:

$$0 \le P(t) \le 1;\ P(0) = 1;\ P(\infty) = 0. \tag{2.5}$$

Чим більший P(t), тим вища надійність транспортних машин.

Підтримання необхідного рівня параметрів технічного стану транспортних машин за рахунок підвищення показників надійності забезпечує необхідний рівень тех-

нічної готовності парку машин, виконанням термінів та якості перевезення сільськогосподарської продукції, загалом безперебійну роботу підприємства. З урахуванням цього дослідження причин та закономірностей зміни технічного стану транспортних машин, їх вузлів та агрегатів у кінцевому результаті забезпечується оптимальне управління їх техніко-експлуатаційними показниками.

2.4 Висновки

1. Визначено основні транспортно-технологічні операції, необхідні для перевезення сільськогосподарської продукції, структуровані відповідно до функціональних блоків на основі результатів декомпозиції, додатково до них варто розглядати й інші, не менш важливі операції технологічного процесу: збирання продукції, формування партії, навантаження та розвантаження, підготовка транспортних машин.

2. В результаті аналізу особливостей функціонування технологічної системи перевезення сільськогосподарської продукції встановлено застосування сучасних методів обробки та аналізу інформації на основі технології функціонального моделювання, а саме нотації BPMN.

3. У результаті аналізу зарубіжного досвіду у сфері управління організаційно-технологічним забезпеченням підприємства, саме MRP, MRP II, ERP, DRP та інших систем, в основі яких лежить концепція «планування ресурсів». Встановлено, що найефективнішою системою є системи типу «точно в строк» («just-in-time», JIT-система). Ця система характеризується точними термінами перевезення та виробничою потужністю підприємства. Проведений аналіз, після застосування цієї системи забезпечує: зниження тривалості циклу перевезення на 35%, зниження витрат на 15–20%, скорочення запасів на 25%.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

3.1 Впровадження програмно-апаратних комплексів у конструкцію транспортних машин

Встановлено, що для максимальної ефективності керування та моніторингу транспортно-технологічним процесом необхідно інтегрувати в конструкцію транспортної машини контрольно-інформаційну систему, а також встановити логіку побудови алгоритму передачі та прийому інформації [4]. Це необхідно виконати у типовому форматі, з урахуванням правил побудови архітектури блок-схем (рис. 3.1).

Етапи впровадження моніторингу технологічних процесів на підприємстві полягають у встановленні спеціального обладнання (програмно-апаратний комплекс (далі ПАК)) на транспортний парк машин. Принцип встановлення ПАК на транспортний засіб включає декілька ключових етапів (рис. 3.2).

Програмно-апаратний комплекс включає мікроконтролер, платформу, що забезпечує передачу інформації за допомогою GPS, програмне ядро, розміщене на сервері, програмне забезпечення, встановлене на стаціонарному персональному комп'ютері або мобільному пристрої, хмарний сервер. Архітектура системи показана на рис. 3.3.

Передача інформації відбувається через супутник на сервер для подальшого зберігання та аналізу. Якщо система передбачає несправність або відмову, вона автоматично надсилає інформацію на станцію технічного обслуговування, попереджаючи відповідних співробітників. Власники транспортного засобу відстежують його технічний стан за допомогою мобільних пристроїв. Інтелектуальна система контролю безперервно здійснює моніторинг стану техніки, при цьому транспортні засоби відображаються на картах геоінформаційної системи в реальному часі. Крім того, в систему вбудовується алгоритм діагностування всіх вузлів автомобіля, що отримує дані від стандартних датчиків, встановлених на транспортному засобі.

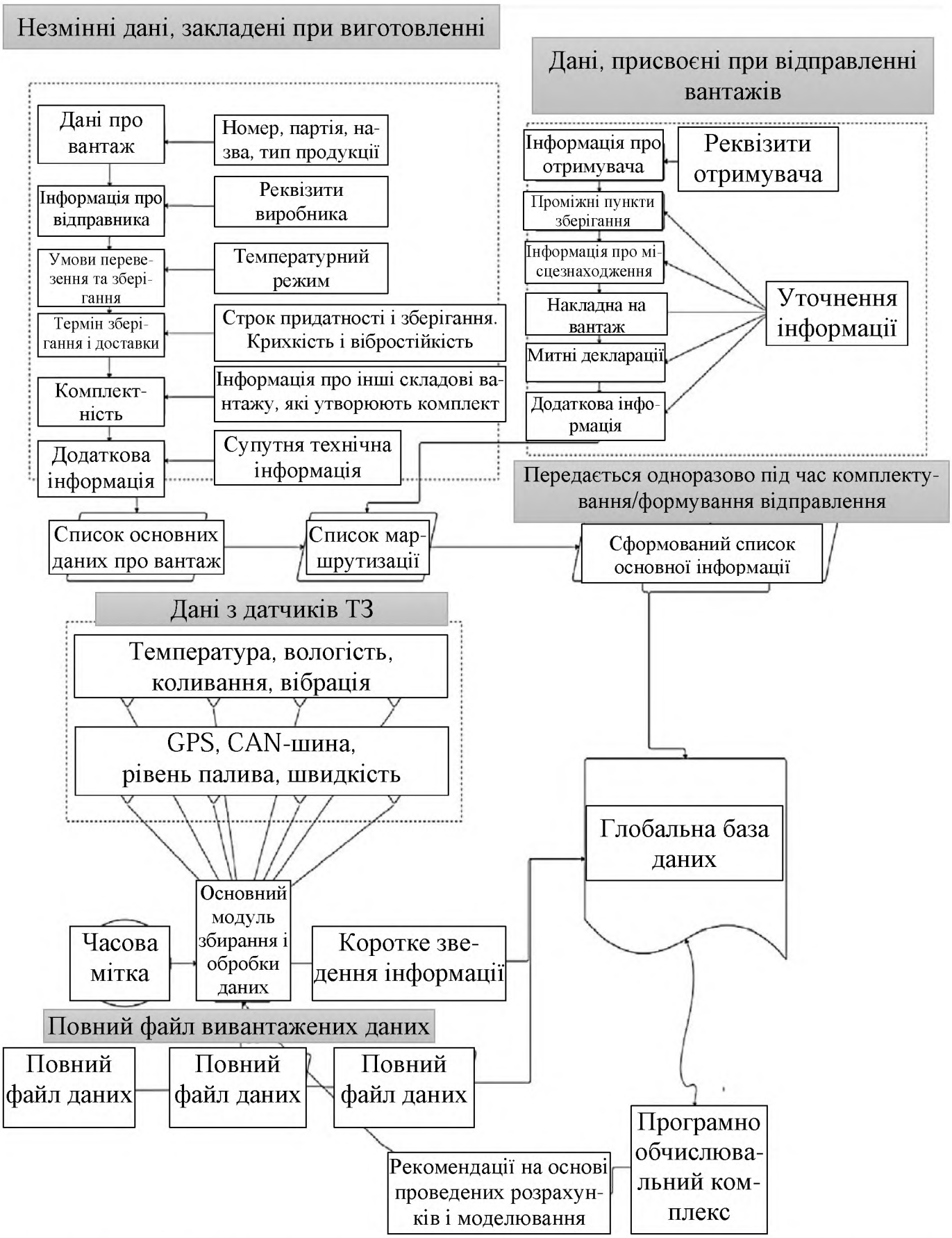


Рисунок 3.1 – Блок-схема технології збирання та передачі параметрів транспортних машин

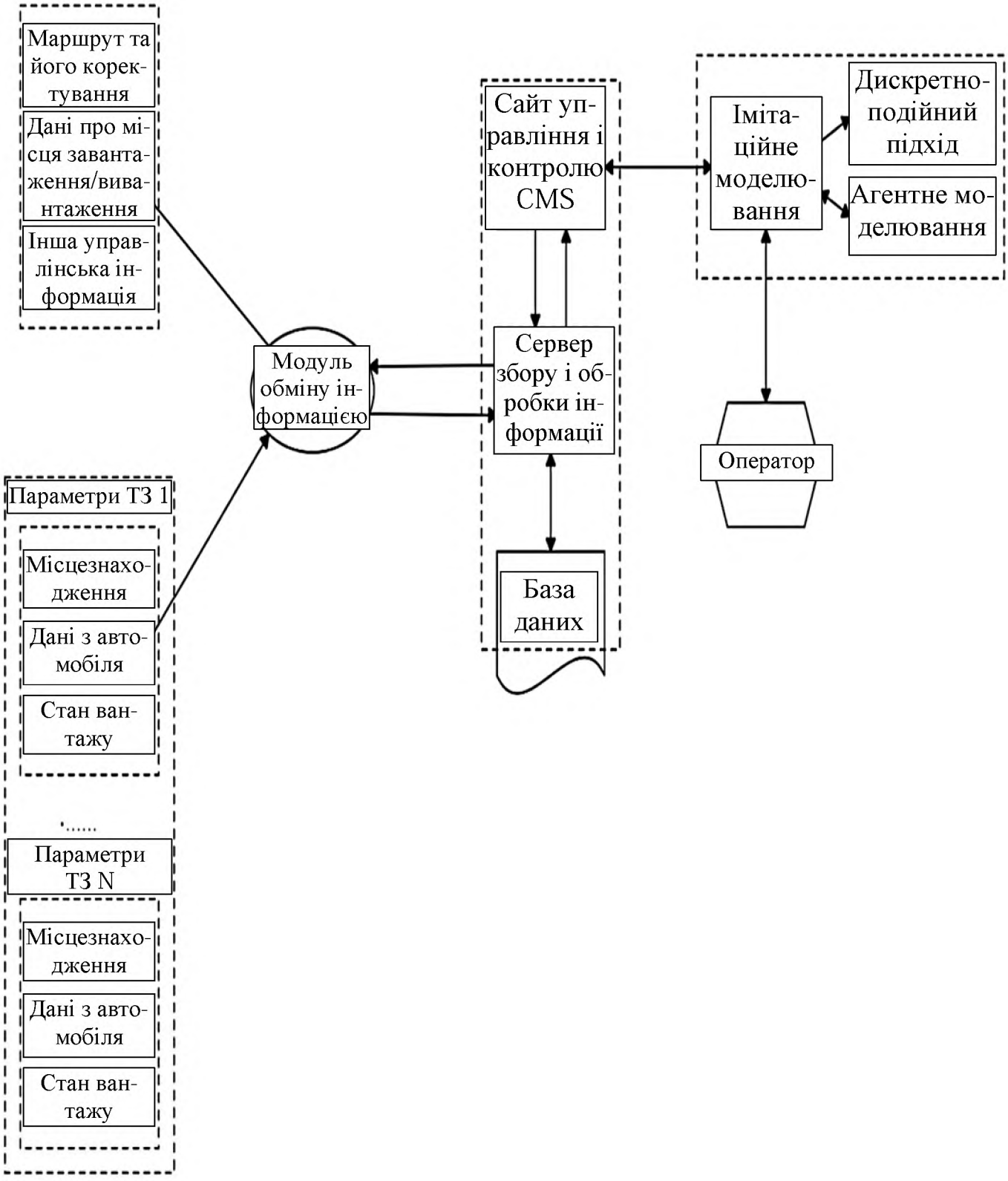


Рисунок 3.2 – Принцип встановлення програмно-апаратного комплексу на транспортну машину

Рисунок 3.3 – Архітектура програмно-апаратного комплексу

3.2 Вибір засобів імітаційного моделювання для процесу перевезення сільськогосподарської продукції

Для опису процесу перевезення сільськогосподарської продукції та його детального вивчення найбільш виправданим для вирішення поставленої задачі є створення імітаційної моделі.

Використання імітаційного моделювання дозволить створити цифрову модель процесу функціонування складної динамічної системи перевезення, з подальшою обробкою масиву даних та його переміщення в базу даних модуля, що розробляється, з метою вивчення залежностей елементів їхнього впливу на формування рекомендацій щодо покращення процесу. В даний час імітаційне моделювання є найбільш економічним та ефективним методом дослідження складних систем, оскільки дозволяє враховувати всі релевантні фактори у заданих умовах.

Залежно від характеру розв'язуваної задачі використовують такі види моделювання (рис. 3.4): за зміною значення параметрів стану, за об’єктом дослідження, змішане.

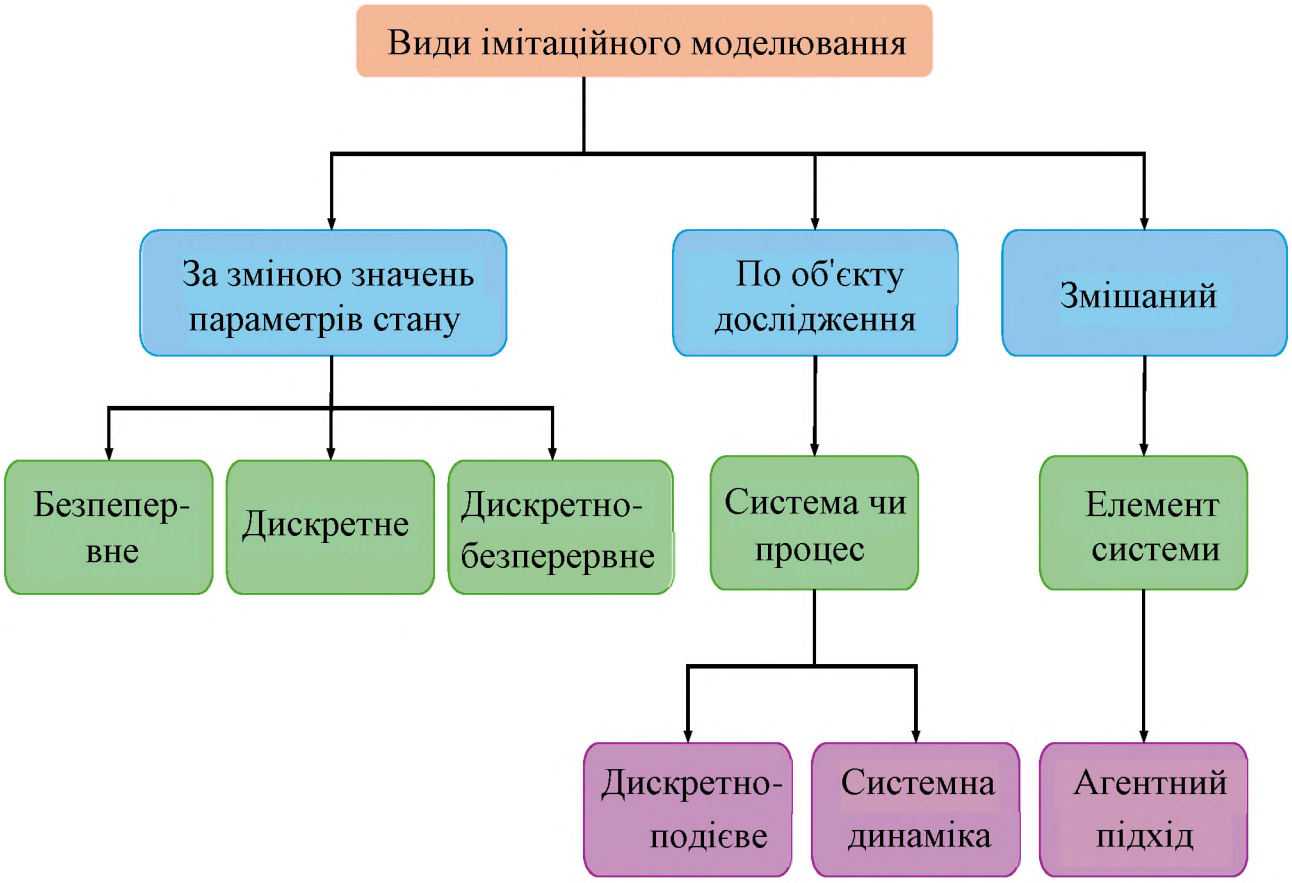


Рисунок 3.4 – Види імітаційного моделювання

Для розробки обчислювального модуля програмно-апаратного комплексу слід застосувати найбільш адаптивне середовище моделювання, що має високу швидкість обробки та обчислювальну потужність, великі функціональні можливості:

1. Вивчення результатів експерименту, а також їхня обробка;

2. Висока швидкість моделювання та його якість;

3. Додаткові функції, які не були включені до базових функціональних можливостей, внаслідок доступності із зовнішніх джерел;

4. Моделювання з використанням перспективного розвитку мови;

5. За потреби модель може бути інтегрована в інші оболонки.

Вибір засобу для створення імітаційної моделі було здійснено відповідно до розглянутих функцій, порівняльний аналіз яких представлений у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння програм для моделювання

Критерій аналізу	Середовище моделювання			
Наявність демоверсії	Anylogic	ExtendSim	GPSS World	PTV Vissim
Дискретно-подійне моделювання				-
Агентне моделювання			-	-
Системна динаміка			-	PTV Vissim
Комбінований підхід			-	-
Об'єктно-орієнтований підхід			-	PTV Vissim
Зв'язок із зовнішніми додатками			-	
Графічний інтерфейс		-	-	
Мова програмування	Java	ModL P	Plus	
Вартість	Платна/безкоштовна	Платна	Платна/безкоштовна	Платна/безкоштовна

В результаті порівняльного аналізу програмних засобів моделювання видно, що продукт компанії AnyLogic є найбільш підходящим та забезпечує можливість докладного опису логіки та поведінки моделі. При цьому він найбільш багатофункціональний, простий у вивченні та має велику бібліотеку моделей та допоміжної літератури для створення моделі у короткий термін, поєднує всі підходи моделювання та їх усілякі комбінації.

3.3 Етапи створення імітаційної моделі для процесу перевезення сільськогосподарської продукції

Сьогодні JIT-системи знайшли свій відбиток у багатьох сферах діяльності, зокрема у повсякденному житті, наприклад доставка їжі. У разі застосування JIT-систем для виробничих завдань одним із очевидних прикладів є процес виготовлення та доставки бітуму. Процес характеризується точними термінами доставки та виробничою потужністю підприємства. Тому в рамках поточного дослідження розробка моделі

буде виконана та налаштована відповідно до особливостей процесу перевезення сільськогосподарської продукції. На рис. 3.5 зображено схему етапів побудови імітаційної моделі.

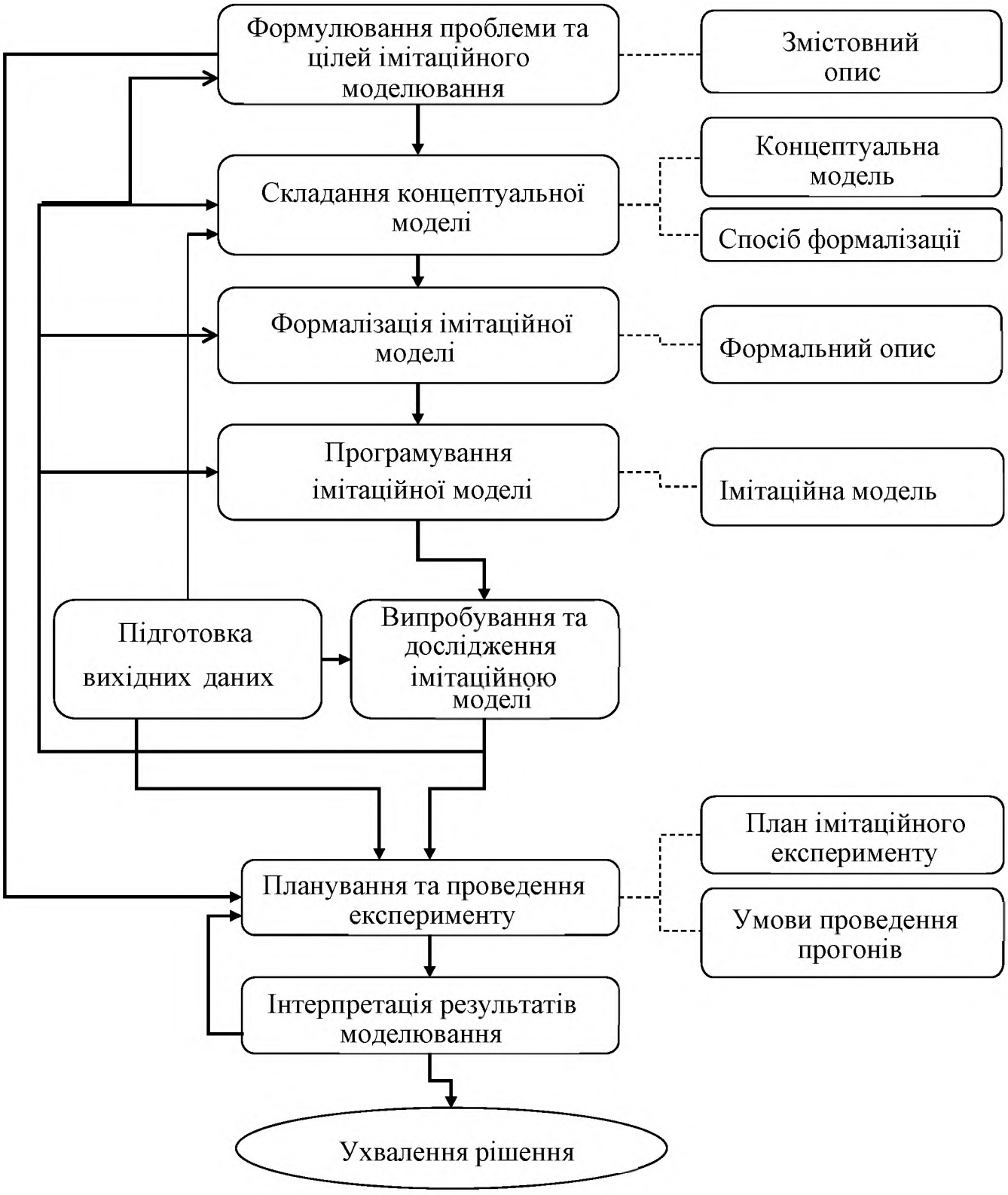


Рисунок 3.5 – Етапи побудови імітаційної моделі

На першому етапі створення імітаційної моделі необхідно вивчити особливості процесу доставки вантажів у JIT-системах. З нашої точки зору, в системі існують три основні підсистеми, що впливають на весь процес. Умовно розділимо їх у такий спосіб: вантаж, машини, маршрут.

Основні параметри підсистем такі: необхідне обладнання для навантаження та розвантаження, термін придатності вантажу, обсяг вантажоперевезень, агрегатний стан вантажу, максимальна швидкість транспортної машини, місцезнаходження вантажоодержувача, тривалість робочої зміни, максимальна допустима швидкість в залежності від дорожніх умов, технічні характеристики машини та ін.

Імітаційна модель, що розробляється, повинна мати ряд переваг перед іншими схожими програмними продуктами і вирішувати два основні завдання.

Одне з найвідоміших оптимізаційних завдань у галузі логістики вважається завдання комівояжера. Результатом розв'язання цієї задачі є визначення оптимального маршруту (найкоротшого, найшвидшого, найдешевшого), що проходить через всі задані точки (пункти, міста) по одному разу, з подальшим поверненням у вихідну точку.

Другим завданням є оптимізація кількості машин використовуючи функції дискретно-подійного моделювання, можна здійснити створення виробничих та технологічних процесів будь-якої складності. Цей метод може бути використаний для вирішення різних завдань у сфері логістики, організації масових перевезень тощо. Системна динаміка дозволить встановити взаємозв'язок елементів та їх вплив на процес, забезпечуючи можливість дослідження причинно-наслідкових зв'язків з-поміж них, вивчення різних параметрів процесу перевезення та його впливу на ефективність перевезення. Цей метод найбільш затребуваний у моделюванні динамічних систем, де потрібна точність відтворення.

Основні інструменти, використовувані середовищі AnyLogic для моделювання системно-динамічних моделей показані на рис. 3.6.

Встановлено, що системно-динамічні моделі можуть бути використані для вирішення наступних завдань та напрямків: бізнес-процеси у різних сферах діяльності, економіка міста, динаміка населення, екологічна ситуація. Продукт AnyLogic, що на-

дає можливість агентного моделювання, є останнім з усіх видів моделювання, які пропонує ця компанія. Під агентом ми розуміємо ланку моделі, яка може мати кеш (пам'ять), поведінку, властивості. Принцип застосування агентного моделювання полягає у вивченні складних систем «знизу вгору» Проводять дослідження динаміки функціонування розосереджених систем, де глобальні правила та закони не визначають поведінку системи, а індивідуальні якості та параметри агентів відіграють ключову роль. Залежно від розв'язуваної задачі, графічне зображення агента може бути виконане у вигляді елементів дискретного або динамічного моделювання.

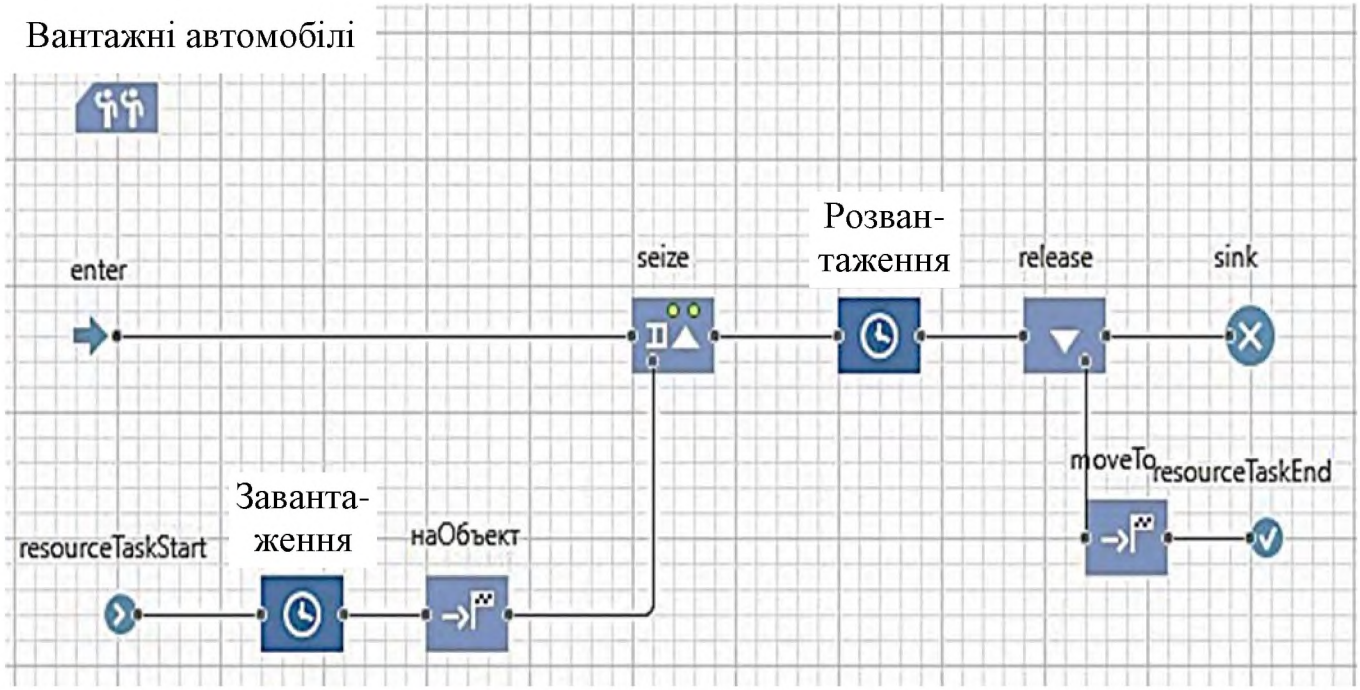


Рисунок 3.6 – Інструменти моделювання системно-динамічних моделей

Багатоагентний підхід полягає в дослідженні моделі, в якій знаходиться більше одного агента. Щоб розглядати агента як самостійний об'єкт, необхідно визначити його параметри і правила поведінки. За допомогою багатоагентного підходу, у завданнях, які вирішуються за допомогою методу багатоступеневого підходу, мета дослідження полягає у збільшенні кількості агентів з метою повноцінного функціонування системи. Цей підхід рекомендований на вирішення двох категорій завдань. Перше завдання включає опис поведінки всіх агентів системи з можливістю коригування їх кількості, дозволяючи встановити залежності необхідної кількості елементів

для її вирішення, відповідно до теорії масового обслуговування. Друге завдання аналогічне першому, але кожен елемент має унікальні параметри. Багатоагентний підхід дозволяє використовувати індивідуальні характеристики для кожного елемента при збереженні загального принципу поведінки, що робить його ефективним для вирішення завдань у сфері перевезення, складування, постачання та обробки заявок. Після вивчення можливостей пакета моделювання AnyLogic можна рекомендувати його дослідження різних складних систем. Особливістю даного продукту є можливість самостійного створення та додавання необхідних інструментів до існуючих бібліотек, якщо вони відсутні у стандартній комплектації.

3.4 Визначення параметрів комп'ютерного експерименту

Для визначення значення показників оперативного планування перевезення сільськогосподарської продукції розроблено та досліджено модель у середовищі імітаційного моделювання AnyLogic [7]. Застосування методу імітаційного моделювання дозволяє отримати рішення при зміні вхідних параметрів, а також надає детальний аналіз динаміки системи з урахуванням зміни в підсистемах і параметрах зовнішнього середовища, відстежує всі логічні умови та нелінійність процесів. Однією з переваг даного об'єктно-орієнтованого середовища є прив'язка до GIS-карт, що дозволяє моделювати в реальному часі можливість комбінування відразу декількох видів моделювання: системна динаміка, дискретно-подійне моделювання та агентне моделювання.

Побудова моделі відбувається за ієрархічним принципом і являє собою дерево верхнього рівня, в якому агенти представлені у вигляді послідовних ланок. Проведення дослідів та використання Java-класів та різних агентів дозволяють сформувати рівень дерева.

Розглянемо агентів моделі, що характеризує поведінку системи загалом.

Агент "Main" – виконує роль середовища для інших агентів, а також задає логіку моделі.

Агент "Об'єкт" – показує стан об'єкта, а також у нашому випадку задає логіку переміщення вантажівок.

Агент «Замовлення-Вантажівка» – нестиме набір параметрів, що характеризують реальний об'єкт (швидкість, вантажопідйомність, обсяг замовлення тощо).

Агент "Виробництво" – показує безпосередньо роботу підприємства, механізм роботи.

На рис. 3.7 представлена процесна діаграма, розроблена в рамках цієї роботи в середовищі AnyLogic.

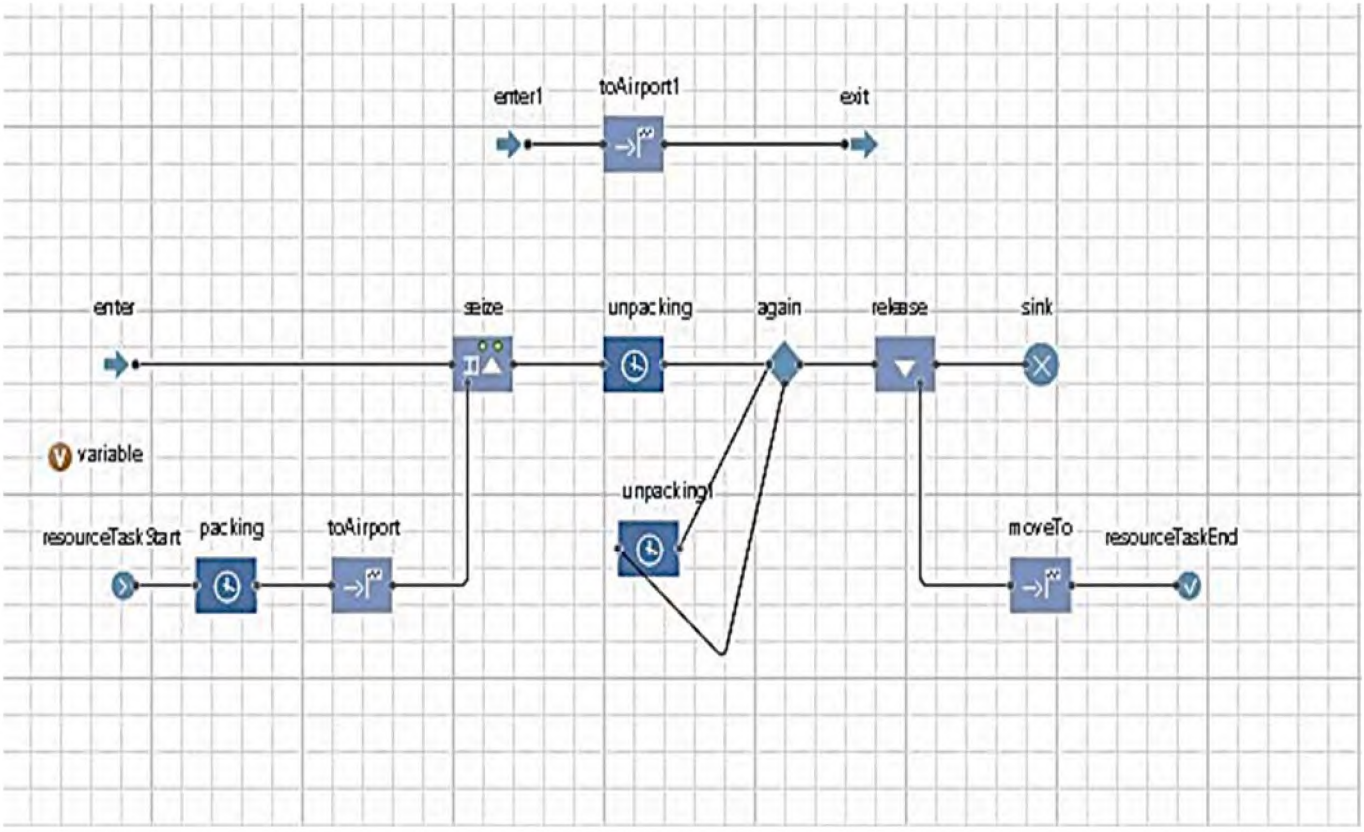


Рисунок 3.7 – Процесна діаграма

При формуванні заявки основною умовою є місце розташування, обсяг, та тип вантажу, який необхідно доставити. Створивши першу заявку, модель визначає оптимальний маршрут та кількість необхідних транспортних машин для перевезення. При додаванні нової заявки відбувається перерахунок з урахуванням вхідних параметрів, які задаються за допомогою сформованої бази MySQL (тип та обсяг вантажу; техніч-

ний паспорт транспортної машини, тип кузова, марка, рівень завантаження; періодичність технічного обслуговування та ремонту; додаткові умови, що впливають на витрату палива в процесі експлуатації).

Якщо перебудова маршруту не може бути реалізована наявними транспортними машинами, то додається нове сполучення та виконується перевірка інших сполучень. Пошук рішення здійснюється покроковим спуском з постійним кроком, рівним заздалегідь заданої похибки визначення коефіцієнтів. На рис. 3.8 показаний алгоритм додавання та обробки заявки.

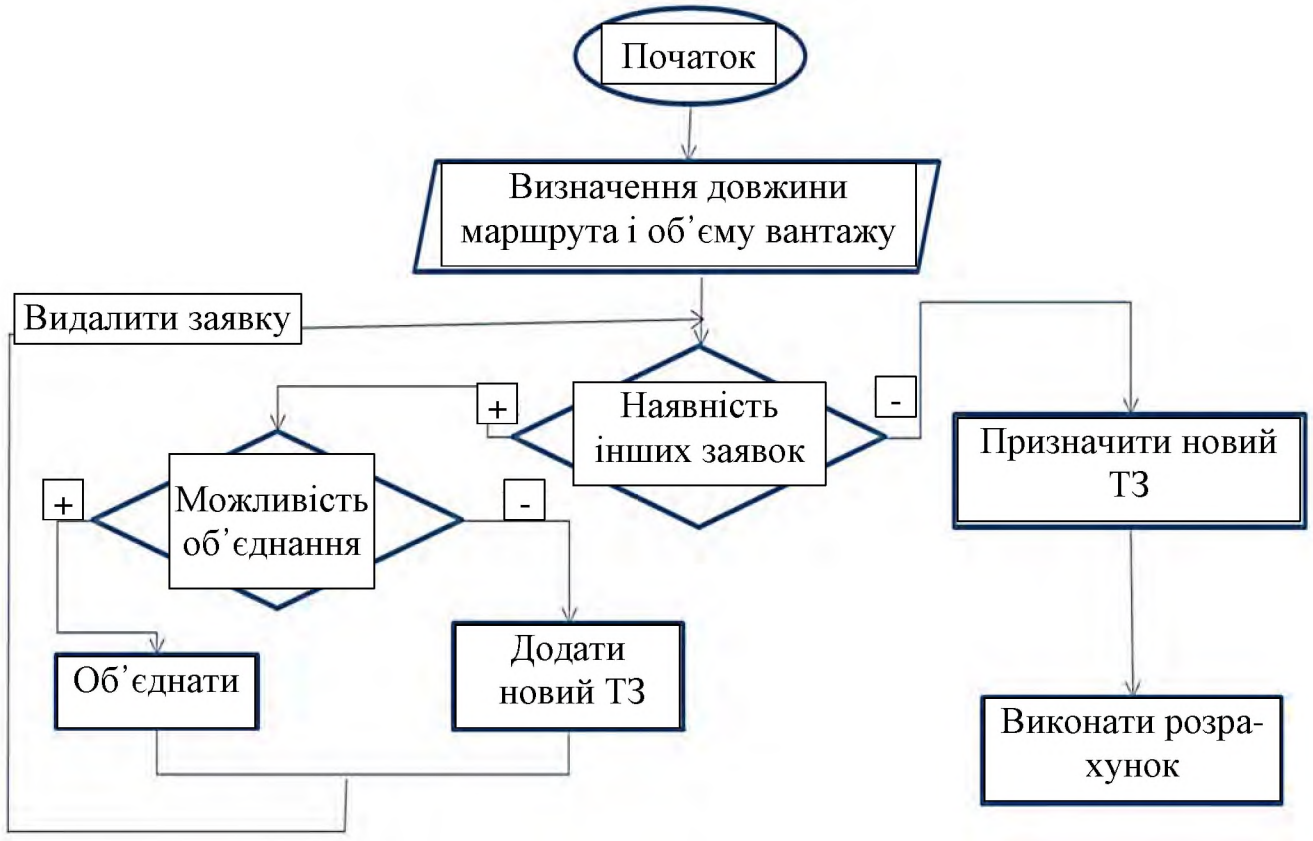


Рисунок 3.8 – Алгоритм додавання та обробки заявки

Відповідно до послідовності функцій, прямі зв'язки використовуються для передачі інформації від одного елемента до іншого відповідно до послідовності. Зворотні зв'язки виконують функцію управління [6]. Рівні структурного опису ієрархічні, і його деталізація здійснюється на тих рівнях, які необхідні для створення повного уявлення основних властивостей системи.

Структура створюваної моделі складається з чотирьох основних елементів, які створюються як агенти:

1. агент "транспортна машина";
2. агент "логістична функція";
3. агент "матеріального потоку";
4. агент "споживач" (агент – це об'єкт з однаковим серед популяції набором властивостей, дій та вхідними параметрами).

Створення оптимального маршруту перевезень здійснюється в залежності від обсягу замовлення споживача з найменшою кількістю транспортних машин, що використовуються.

Обсяг замовлення регулюється згідно з розкладом з використанням дискретно-подійного моделювання та функцією псевдовипадкового розподілу для динамічної перебудови маршруту.

Маршрут оцінюється математичною функцією, що використовує вирішення завдання Комівояжера – визначення найкоротшого шляху. Якщо запит споживача був меншого розміру, ніж можливий обсяг перевезення вантажу, то підбирається ще одне замовлення до повного наповнення транспортної машини. Якщо замовлення отримано і відстань між споживачами нижча за критичну, то в такій ситуації найкоротший шлях визначається через дві точки.

3.5 Підготовка вихідних даних для завантаження в імітаційну модель

Створення програмно-обчислювального модуля включає розробку імітаційної моделі перевезення сільськогосподарської продукції з метою проведення комп'ютерних експериментів. Запропонована методика складається з характерних етапів вивчення складних систем, системного аналізу та етапів імітаційного моделювання (рис. 3.9).

Створена імітаційна мультиагентна модель описує процес вантажоперевезення сільськогосподарських вантажів з урахуванням сезонності, специфіки перевезення вантажів, а також територіальної віддаленості регіонів виробництва. Відповідно до

технології перевезення транспортно-технологічні засоби виконують дванадцять основних операцій. Комплекс складається з транспортно-технологічних машин: навантажувача, тягача з причепом, а також з персоналу.

Рисунок 3.9 – Методика проведення експерименту

Визначення найбільш ефективного транспортного засобу для перевезення сільськогосподарської продукції в умовах парку машин ТОВ ТК «САТ» виконується відповідно до запропонованої методики та включає кілька етапів.

Перший етап паспортизації техніки включає формалізацію основних технічних характеристик транспортних машин, які використовуються при моделюванні. Складені статистичні дані щодо економічних та технічних показників експлуатаційних спостережень вносяться на другому етапі до бази даних. У результаті третього етапу

відбувається коригування точності результатів моделювання, і навіть їх відповідність передбачуваному часу проведення експерименту. Функціонал комплексу буде розглянуто на заключному етапі, де буде дано загальну оцінку результатів моделювання.

Для підвищення достовірності результатів, які знімаються з моделі, на вході були задані отримані в процесі спостереження статистичні дані [5]. Результати обробки статистичних даних представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати обробки статистичних даних

Марка транспортного засобу	Пробіг, км на рік	Тип кузова	Витрати на паливо в рік, грн.	Кількість днів ремонту	Витрати на ремонт, грн.	Середня вартість ремонту, грн.
KAMAZ	7305274	Тент Рефрижератор Ізотерм Бортовий	118345438,8	1774,24	69505699	25867
Mercedes	3451610		55916082	3058,58	84827402	34937
Scania	3183488		51572505,6	961,96	49217322	30437

Збір статистичної інформації проводився з моменту формування парку з 20 вересня 2024 року. Протягом року експлуатації під наглядом перебували 306 транспортних машин. Збірна статистична інформація фіксувалася в електронній базі даних, потім дані заносилися в імітаційну модель, де відбувається обробка. У ході обробки емпіричних даних була проведена статистична оцінка випадкових характеристик: вибіркове середнє, вибіркова дисперсія та середньоквадратичне відхилення та встановлено закон розподілу.

Відмінною рисою імітаційної моделі є можливість зміни технічних параметрів транспортних засобів з урахуванням вхідних параметрів, які задаються за допомогою сформованої бази MySQL (тип та обсяг вантажу, технічний паспорт транспортних машин, тип кузова, марка, ступінь завантаження, періодичність технічного обслуговування і ремонту, додаткові умови, що впливають на витрату палива в процесі експлуатації). Використання вбудованого генератора випадкових чисел дозволяє враховувати імовірнісний характер показників, що робить модель більш реалістичною.

Для пошуку оптимального рішення було обрано критерій технічної готовності, час напрацювання на відмову та час усунення відмови, коефіцієнт завантаженості транспортних засобів, мінімальне значення паливних витрат на перевезення вантажу. Одним з приводів для відмови від виконання перевезення, є технічна складова, а саме несправний стан транспортного засобу. Статистичний аналіз, показує, що в залежності від умов діяльності та завантаженості час напрацювання на відмову, час на усунення відмови та коефіцієнт технічної готовності може змінюватись. У загальному вигляді коефіцієнт технічний готовності визначається за формулою (1.1).

Процес вантажоперевезення розглядається в транспортно-часових характеристиках (протяжність, його циклічність і повторюваність, а також рівень технічної готовності на кожному етапі протягом певного часу) представляється у вигляді матриці представленої в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Матриця змодельованої системи

Порядковий номер дослідження / Порядковий номер процесу	1	2	3	….	i	i=1,2…i
j n=1,2….	T_{1j}^{i+1}	T_{1j}^{i+2}	T_{1j}^{i+3}	….	T_J^{i+n}	$\sum_{i=n}^{n} T_J^{1j} + T_J^{1j}$
1	T_J^{1j}	T_J^{1j}	T_J^{1j}	….	T_J^{1j}	$\sum_{i=n}^{b} T_J^{1j} + T_J^{1j}$
…	….	….	….	….	….	$\sum_{i=n}^{b} T_J^{1j} + T_J^{1j}$
j	$T_J^{i+\cdots n}$	$T_J^{i+\cdots}$	$T_J^{i+\cdots}$	….	$T_J^{i+\cdots n}$	$\sum_{i=n}^{b} T_J^{i+\cdots} + T_J^{i+\cdots}$

Дана матриця охоплює всі параметри технічної готовності. У співвідношенні із запропонованою методикою плану коп'ютерного експерименту, зводиться до опису процесів перевезення сільськогосподарської продукції та включає перебір всіх можливих поєднань транспортних машин з розглянутого пулу.

Функціональний зміст агента транспортної машини описується математично і у загальному вигляді виглядає так:

$$А_{ТЗ} = f_i(T_i;\ t_{без};\ t_{відм.};\ К_{сез.};\ t_i;\ N_{куз};\ N_{вантаж};\ t_{то};\ Q_i), \quad (3.1)$$

де T_i – час виконання перевезення, год;

$t_{без}$ – час безвідмовної роботи транспортного засобу під час перевезення;

$t_{відм}$ – час усунення відмови у рейсі;

$К_{сез}$ – коефіцієнт сезонності;

t_i – температурний режим усередині кузова, °С;

$N_{куз}$ – тип кузова;

$N_{вантаж}$ – тип вантажу;

$t_{то}$ – час на технічне обслуговування, год;

Q_i – середня витрата палива на 100 км, л.

3.6 Висновки

1. В результаті аналізу програмних комплексів у сфері вантажоперевезень та логістики встановлено, що наявні програми вирішують лише завдання визначення найкоротшого маршруту.

2. Встановлено, що для вирішення поставлених завдань необхідно розробити імітаційну модель з урахуванням специфіки сільськогосподарської продукції, що перевозиться, і показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин.

3. Вироблений порівняльний аналіз серед імітаційного моделювання, під час якого визначено вимоги, а саме мову програмування, можливість застосування кількох способів моделювання, швидкість отримання та обробки даних в результаті якого вибрано програмне середовище AnyLogic.

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ЗБОРУ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ І ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Статистичне дослідження про відмови транспортних засобів ТОВ «Транспортна компанія "CAT"»

У реальних умовах експлуатації вихід із ладу транспортної машини відбувається, як правило, внаслідок виникнення раптових відмов. Показниками, що характеризують роботи машин, є час безвідмовної роботи та трудомісткість усунення відмови, які відображають ефективність роботи машин протягом певного періоду. В результаті проведених досліджень, під наглядом перебували 306 вантажних автомобілів транспортної компанії «CAT», з них 118 од. автомобілів KAMAZ (5490, 4389 F1, M 1840, M 1945, T 2640), 67 од. автомобілів SCANIA (G400, R400, R440), 121 од. автомобілів MERCEDES-BENZ ACROSS (1836, 1841LS, 1844LS, 1845LS, 1846LS, 1848LS, 1853LS, 1840L) (рис. 4.1).

Середній пробіг машин за досліджуваний період становив близько 700 тис. км на кожен автомобіль з початку експлуатації. Для оцінки впливу показників безвідмовності на ефективність роботи парку машини зібрано та систематизовано статистичні дані про кількість ремонтно-технічних впливів щодо марок транспортних машин.

Щоб оцінити, як коефіцієнт технічної готовності впливає на ефективність використання парку машин, ми проаналізували і зібрали статистичні дані про кількість ремонтних робіт для різних марок транспортних машин (рис. 4.2).

Дані про пробіг транспортних засобів розподілені між інтервалами для того, щоб побудувати статистичні характеристики замінених деталей (рис. 4.3). Визначили мінімальне, середнє та найбільше значення показників. Також, визначено: дослідна ймовірність, частота та середньоквадратичне відхилення. Коефіцієнт варіації було визначено як відношення максимального та мінімального значень показника.

Найбільш частими відмовами машин: SCANIA є несправності двигунів (36,7%), електрообладнання (22,5%), ходова частина і підвіска (9,3%); КАМАЗ – гальмівної

системи (18,6%), електрообладнання (13,3%), трансмісії (13,3%); MERCEDES – ходової частини (17,2%), електрообладнання (17,7%) та гальмівної системи (13,9%).

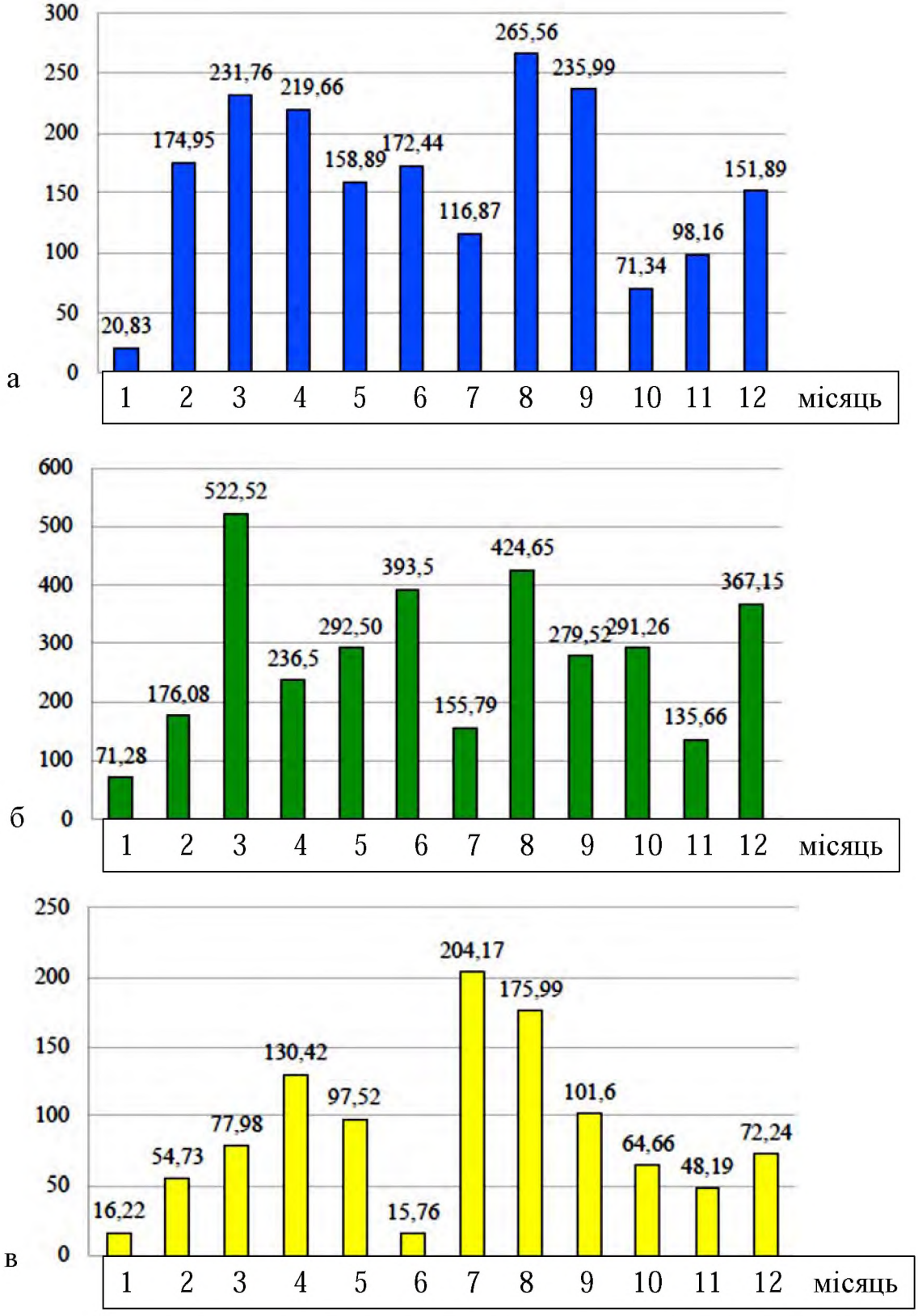


Рисунок 4.1 – Кількість ремонтних робіт на 2024 рік, залежно від марок транспортних засобів: а) KAMAZ; б) Mercedes; в) Scania

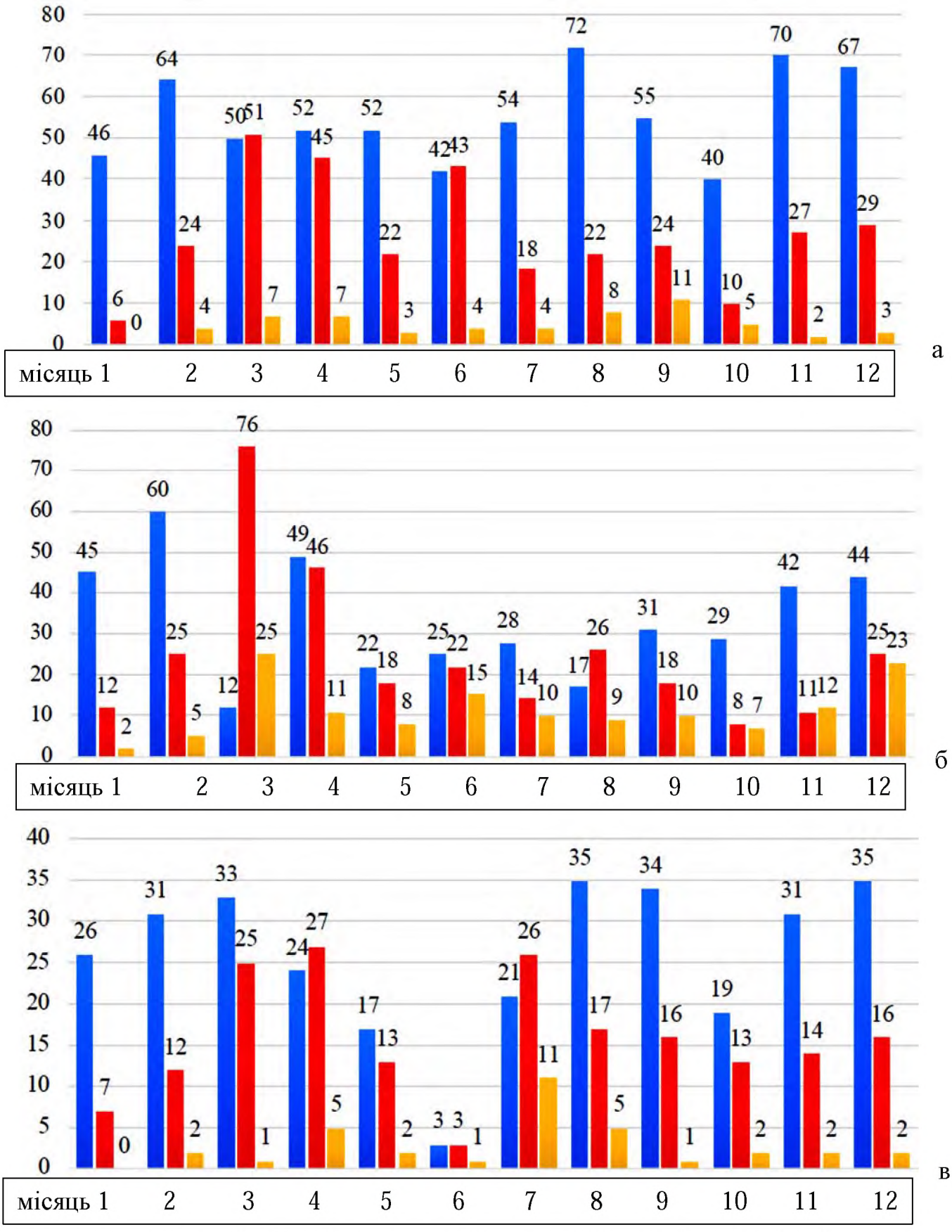


Рисунок 4.2 – Час відновлення транспортних засобів та їх кількість

до 1 дня від 1 до 5 днів більше 5 днів

а) KAMAZ; б) Mercedes; в) Scania

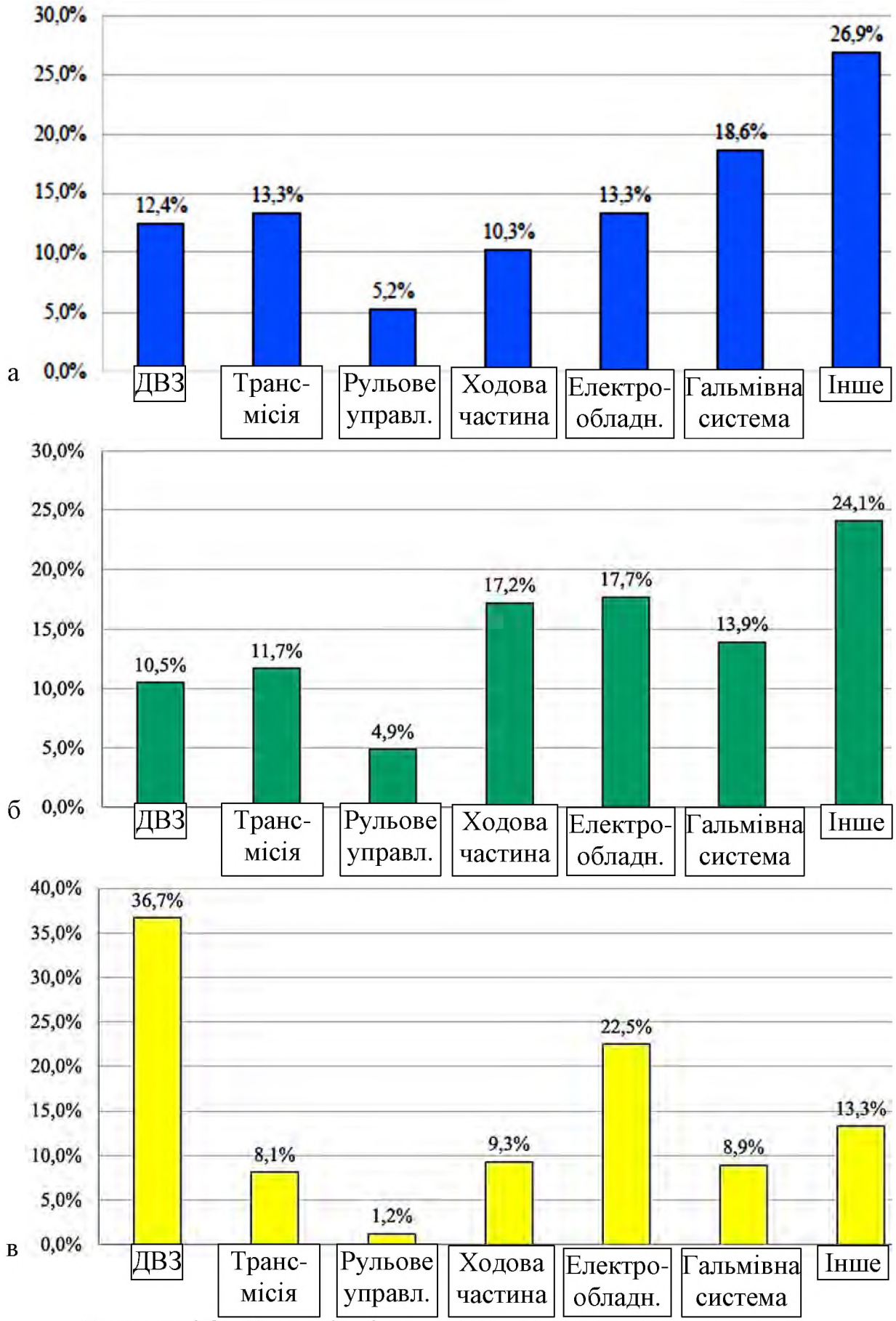


Рисунок 4.3 – Розподіл відмов по вузлах транспортних машин:

а) KAMAZ; б) Mercedes; в) Scania

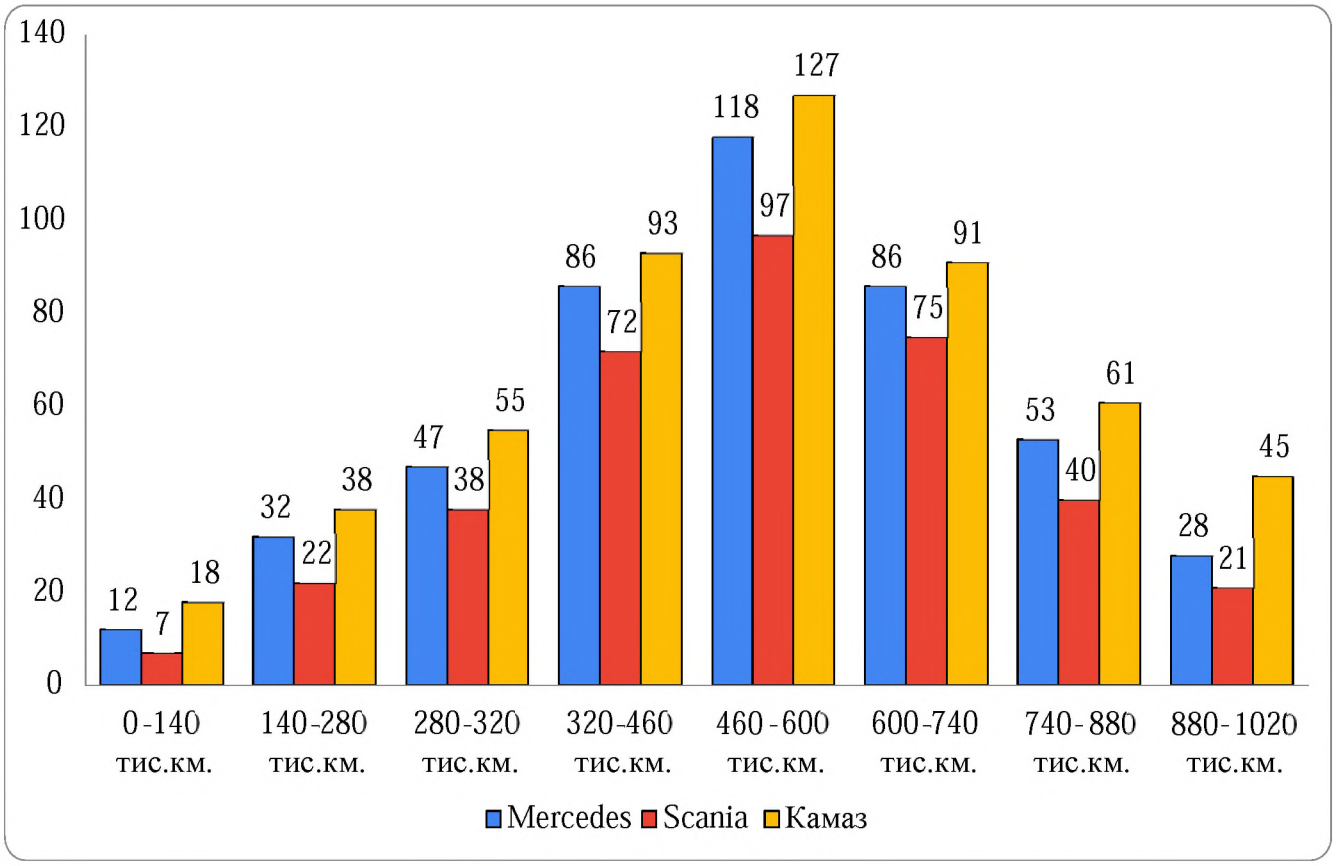


Рисунок 4.4 – Розподіл відмов транспортних засобів залежно від пробігу

Дослідження відмов відносно пробігу (рис. 4.4) показало, що пікова кількість відмов у розглянутих машин посідає на пробіг 460–600 тис. км. Оцінка відмов та їх трудомісткості усунення дозволяє визначити найменш надійні вузли та агрегати машин, що вимагають особливої уваги під час підготовки транспортного засобу до випуску в рейс.

4.2 Проведення статистичних випробувань із застосуванням методу Монте-Карло

Встановлено, що процес перевезення сільськогосподарської продукції залежить від випадкових чи псевдовипадкових величин. Тому результати експерименту не гарантують однакових результатів під час повторення. У зв'язку з цим для вивчення процесу необхідно провести серію експериментів з їх подальшою обробкою даних.

Однією з характерних рис обраного середовища є можливість проводити такі експерименти: простий експеримент; варіювання параметрів; оптимізація; порівняння «прогонів»; Монте-Карло; аналіз чутливості; калібрування; навчання штучного інтелекту. Так як у моделі існують деякі змінні величини, то найбільш коректно у цьому дослідженні застосувати метод Монте-Карло [6].

При розробці імітаційної моделі основний алгоритм доповнювався методом Монте-Карло, включаючи визначення необхідної кількості прогоном для отримання достовірних результатів.

Результати аналізу наукових праць із проведення статистичних випробувань показав, що ще немає єдиної методики визначення оптимальної кількості прогонів експерименту. Одним із методів визначення оптимальної кількості прогонів експерименту є центральна гранична теорема, яка стверджує, що при збільшенні кількості прогонів частота подій прагне до ймовірності, а середнє значення – до математичного очікування. Таким чином, доцільно замінити ймовірність події – частотою, а математичне очікування – середнім арифметичним. Серед методів оцінки, заснованих на центральній граничній теоремі, можна виділити методи Муавра-Лапласа та Бернуллі.

Згідно з центральною граничною теоремою, сума випадкових величин стає невипадковою величиною і підпорядковується нормальному розподілу. Доведення теореми виконується так:

Нехай P_i – кількість i-их результатів значення досліджуваної статистичної величини в n дослідах, тоді $P_i = n_i / n$ – частота i-го вихідного значення.

Коли частота наближається до теоретичної ймовірності, тобто за умови, що $n \to \infty$ та $p \to P$, емпіричні характеристики будуть також прагнути до теоретичних. Відповідно до центральної граничної теореми, p слідуватиме нормальному розподілу з математичним очікуванням m і середньоквадратичним відхиленням σ.

З цього випливає:

$$m = P_i, \tag{4.1}$$

$$\sigma = \sqrt{p * (1 - \frac{p}{n})} \tag{4.2}$$

Таким чином, ймовірність відхилення частоти від ймовірності буде відрізнятися не більше ніж на ε.

Застосувавши теорему Бернуллі отримуємо:

$$Q(|p - P| \leq \varepsilon) = F\left(\frac{F}{\sigma}\right) = F(\frac{\varepsilon\sqrt{n}}{\sqrt{p(1-p)}} \tag{4.3}$$

де Q – довірча ймовірність;

ε – довірчий інтервал;

F – інтегральна функція Лапласа.

Тоді визначення мінімальної кількості дослідів знаходиться за формулою:

$$n = \frac{p*(1-p)}{\varepsilon^2} * (F^{-1}(Q))^2, \tag{4.4}$$

де F^{-1} – зворотна функція Лапласа.

Слід зазначити, що з застосування формули 4.4 необхідно знати значення статистичної характеристики, що часто неможливо без попередніх розрахунків. Виникаючий феномен у деяких випадках виключає необхідність пошуку статистичної характеристики, отриманої внаслідок кількох послідовних ітерацій. Кількість повторів досліду для виконання цього завдання розраховують за такою формулою:

$$n = 1/\varepsilon^2. \tag{4.5}$$

Після проведення n повторних обчислень за формулою 4.5 оцінюється статистична характеристика досліджуваної величини, потім коригується кількість повторів n за тією ж формулою. Величину p слід вибирати виходячи з найкращого або найгіршого результату величини, що вивчається. Імовірності, близькі до 1 або 0,1, вважаються оптимальними для визначення кількості дослідів. Необхідно уникати вибору

значення *p*, близького до 0,5, оскільки це може призвести до невизначеності результату.

Ця особливість дуже помітна при графічному порівнянні залежності кількості прогонів від довірчого інтервалу при рівній ймовірності та різних статистичних характеристиках (рис. 4.5).

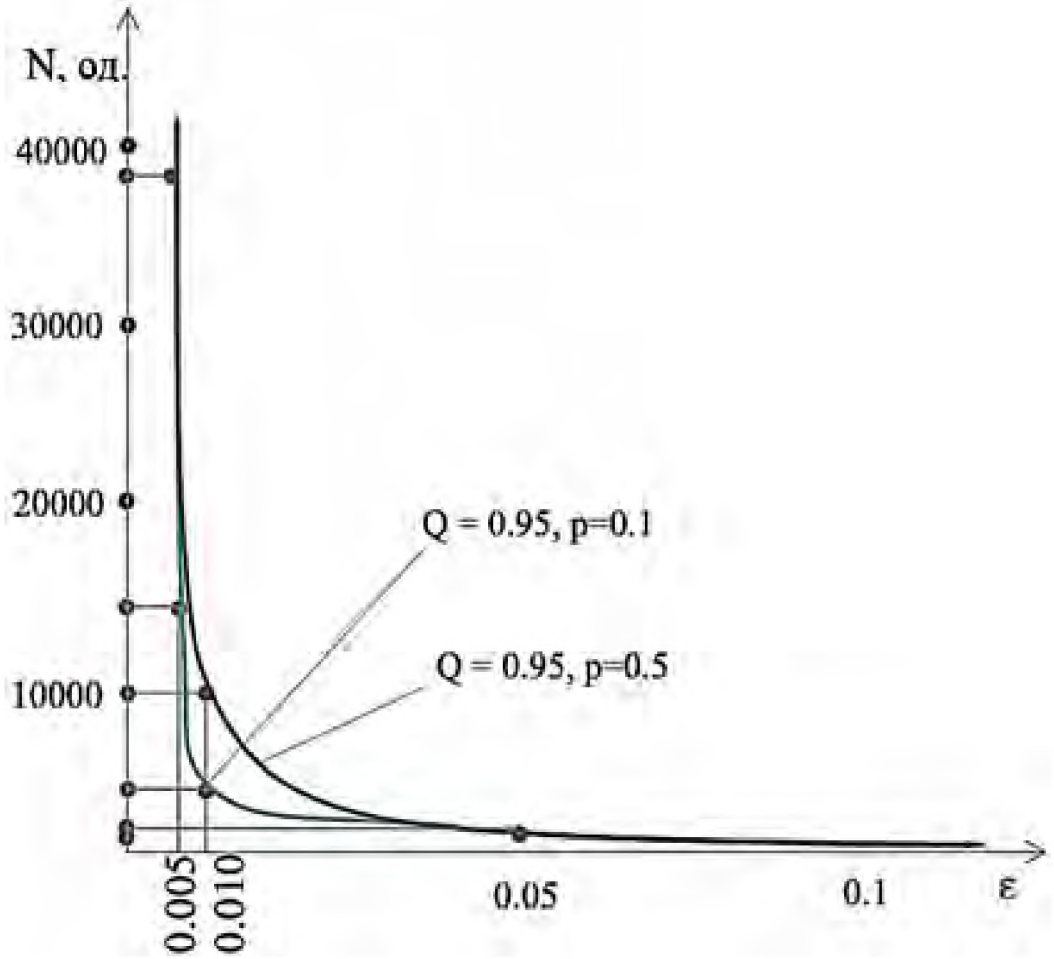


Рисунок 4.5 – Залежність кількості необхідних повторів експерименту від довірчого інтервалу

Методики визначення кількості прогонів є суворо обов'язковими і можуть бути адаптовані для скорочення часу експерименту. Дане рішення щодо скорочення кількості прогонів приймається на основі аналізу характеристик об'єкта дослідження, включаючи математичне очікування, довірчий інтервал отриманих результатів моделювання.

З цієї причини, ухвалення рішення про кількість необхідних повторень експерименту є одним з найважливіших завдань, яке вирішується в процесі розробки експериментів.

4.3 Визначення параметрів комп'ютерного експерименту

В рамках поставленого завдання комплексна оцінка ефективності процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників надійності може бути виконана внаслідок порівняння всіх можливих поєднань транспортних засобів з урахуванням їхньої безвідмовної роботи. Для їх знаходження необхідно скористатися такою формулою:

$$N_{\text{ком}} = N_{\text{тз}} * N_{\text{нав}} * (N_{\text{тз}} - 1) \quad (4.6)$$

де $N_{\text{ком}}$ – кількість можливих унікальних поєднань, од.;

$N_{\text{тз}}$ – кількість транспортних засобів, од.;

$N_{\text{нав}}$ – кількість навантажувачів, од.;

Розраховане значення вказує на необхідну кількість експериментів для вибору транспортних засобів. Отже, введення вхідних даних та збір результатів експерименту повинні бути здійснені відповідно до встановленої формули менш ніж $N_{\text{кптз}}$ разів.

Поетапний процес розробки алгоритму моделі поділено на частини. За допомогою першої частини відбувається заповнення таблиці дослідів, а друга дозволяє замінити вхідні параметри моделі для нового експерименту, зберігши дані раніше проведених у хмарному середовищі. Після закінчення процесу моделювання відбувається коригування точності результатів

Для цього розраховується час моделювання всіх комбінацій та визначаються витрати часу на реалізацію комп'ютерного розрахунку:

$$T_{mod} = N_{\text{ком}} * ((t_{pr} * n_{prog}) * t_{obm} + t_{start}) \quad (4.7)$$

де T_{mod} – час на моделювання, с;

$(t_{pr} * n_{prog})$ – час моделювання експерименту, с;

n_{prog} – кількість прогонів експерименту, од.;

r_{obm} – загальний час на завантаження даних у модель, с;

t_{start} – втрати часу на повторний запуск, с.

Слід зазначити, що у формулі 4.7 добуток $(t_{pr} * n_{prog})$ являє собою більшу частину часу, витраченого на процес моделювання. З цієї причини, у ряді випадків відбувається коригування критеріїв точності та довірчої ймовірності, які були задані методом Монте-Карло. Це дозволяє зменшити кількість прогонів кожного сполучення транспортних засобів.

4.4 Уточнення допустимої похибки моделювання та оцінка часових витрат на серію комп'ютерних експериментів

У наукових дослідженнях точність моделювання методом Монте-Карло коливається у діапазоні від 0,01 до 0,05. Для досягнення точності 0,01 при довірчій ймовірності 0,95, потрібно провести певну кількість прогонів:

$$n = ta^2 \frac{0.5^2}{\varepsilon^2} = 1{,}76^2 \frac{0.5^2}{0.01^2} \approx 7744 \quad (4.8)$$

де t_a – табульований аргумент функції Лапласа.

У середньому розрахунковий час одного прогону становить 0,3 сек. Загальний час розрахунку для визначення результатів за всіма 306 одиницями техніки при $t_{обм}$ = 140 сек, і $t_{зап}$ = 30 сек згідно з формулою (4.7) складає:

$$T_{мод} = (0.3 * 7744 + 140 + 30) * 306 = 754290 \text{ сек} \approx 209{,}52 \text{ год}$$

Час, необхідний для проведення комп'ютерного експерименту із заданою точністю і довірчою ймовірністю, виявляється занадто довгим для ефективного викори-

стання моделі. Особливо актуально за зміни умов експерименту, зі збільшенням кількості транспортних машин, що значно збільшує тривалість. Було прийнято провести серію експериментів для визначення оптимальних значень параметрів, що впливають на кількість ітерацій моделі, під час яких варіювалася кількість прогонів моделі. Отримані області показано на рис. 4.6.

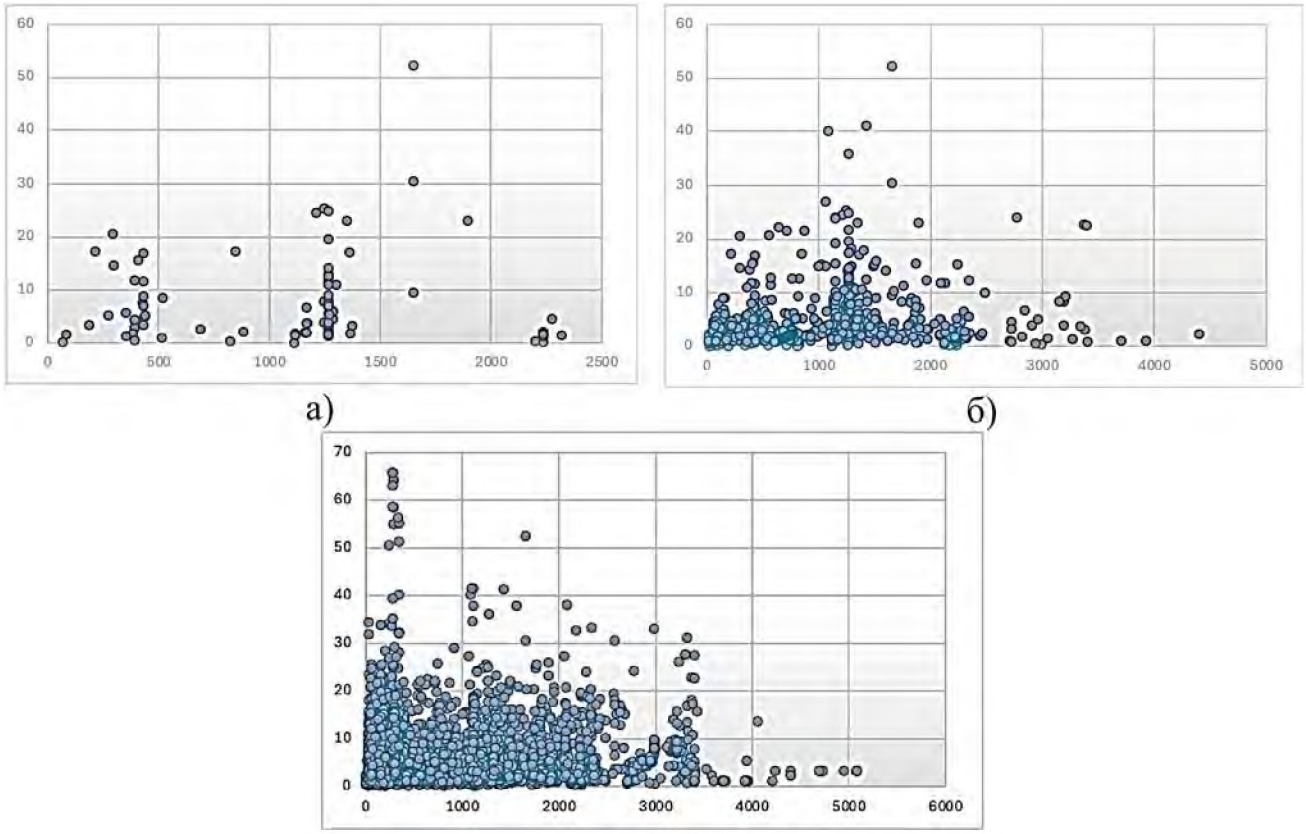


Рисунок 4.6 – Точність імітаційного моделювання процесу перевезення сільськогосподарської продукції:
а - 100 прогонів; б - 1000 прогонів; в – 10000 прогонів

Результати моделювання процесу перевезення сільськогосподарської продукції показали, що для досягнення достатньої точності необхідно приблизно 10 000 прогонів моделі. Цей результат відповідає розрахунковим при довірчій ймовірності $Q = 90$, точності $\varepsilon = 0{,}05$ і найменш визначеної ймовірності результату $p = 0{,}5$. Таким чином, загальна тривалість експерименту склала 4,6 годин на розрахунок моделі та близько 5,6 годин для обслуговування.

4.5 Висновки

1. За результатами збору та обробки статистичних даних транспортної компанії «CAT», сформовано групи відмов для автомобілів SCANIA – несправності у двигуні (36,7%), електрообладнання (22,5%), ходова частина і підвіска (9,3%); для автомобілів КАМАЗ - несправності гальмівної системи (18,6%), електроустаткування (13,3%), трансмісії (13,3%); для автомобілів MERCEDES – несправності ходової частини (17,2%), електрообладнання (17,7%) та гальмівної системи (13,9%). Пікова кількість відмов у всіх розглянутих транспортних засобів спостерігається при пробігу 460–600 тис. км.

2. Розроблено мультиагентну імітаційну модель процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням специфіки продукції, що перевозиться, та показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин. Рівень узгодженості даних із реальними умовами експлуатації та імітаційної моделі не перевищує 10%.

3. Відмінною особливістю імітаційної моделі є можливість зміни експлуатаційних показників транспортних машин та специфіки продукції, що перевозиться:

– технічні показники транспортних машин: технічний паспорт, тип напівпричепа, марка, періодичність технічного обслуговування та ремонту, зазначення додаткових умов, що впливають на витрату палива в процесі експлуатації, ймовірність безвідмовної роботи, пробіг до відмови, час усунення відмови;

– технологічні показники продукції, що перевозиться: тип і обсяг продукції, що перевозиться, рівень завантаження, час перевезення, коефіцієнт сезонності, вологість і температура в процесі перевезення овочів і фруктів.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Інтерпретація результатів серії комп'ютерних експериментів

Відповідно до розробленої методики, формується база даних, в рамках якої відбувається пошук всіх можливих варіації транспортних машин з урахуванням показників надійності та специфіки продукції, що перевозиться. Цей процес повністю автоматизований, кількість прогонів, може змінюватись в залежності від поставленого завдання та обмежень, тому для пошуку оптимального рішення необхідне коригування, замість формули 4.6 використовується формула 5.1, після чого проводиться перерахунок.

$$N_{\text{ком}} = N_{\text{тз}} * N_{\text{нав}} * N_{\text{гр}} = 306 * 5 * 5 \approx 7650 \text{ прогонів} \quad (5.1)$$

де $N_{\text{гр}}$ – пропускна спроможність.

Складена план-матриця дозволяє отримати 306 різних варіацій транспортних машин, які відображають порядок виконання розрахунків, у ході яких збираються вихідні дані щодо техніко-економічних показників перевезення. Також варто зазначити, що результати, які отримуються з моделі, формуватимуть область рішень, що виникають із впливу випадкових величин та подій у процесі моделювання перевезення сільськогосподарської продукції. Тому для порівняльного аналізу параметрів різних транспортних машин обчислюється їхнє математичне очікування. Результати, отримані в процесі моделювання показано на рис.5.1 та рис.5.2.

Ключовими показниками щодо ефективності експлуатації машинного парку є час і витрати на здійснення перевезення. Значення цих параметрів представлені нижче, розташовані відповідно до порядку виконання експерименту (рис. 5.3).

Результати отриманих даних (сумарні витрати та тривалості), які отримані в ході імітаційного моделювання, представлені на діаграмі ранжування даних (рис. 5.4), а також зведеному графіку результатів моделювання (рис. 5.5) із зазначенням обмежень у вигляді тривалості та вартості виконання перевезення сільськогосподарської продукції.

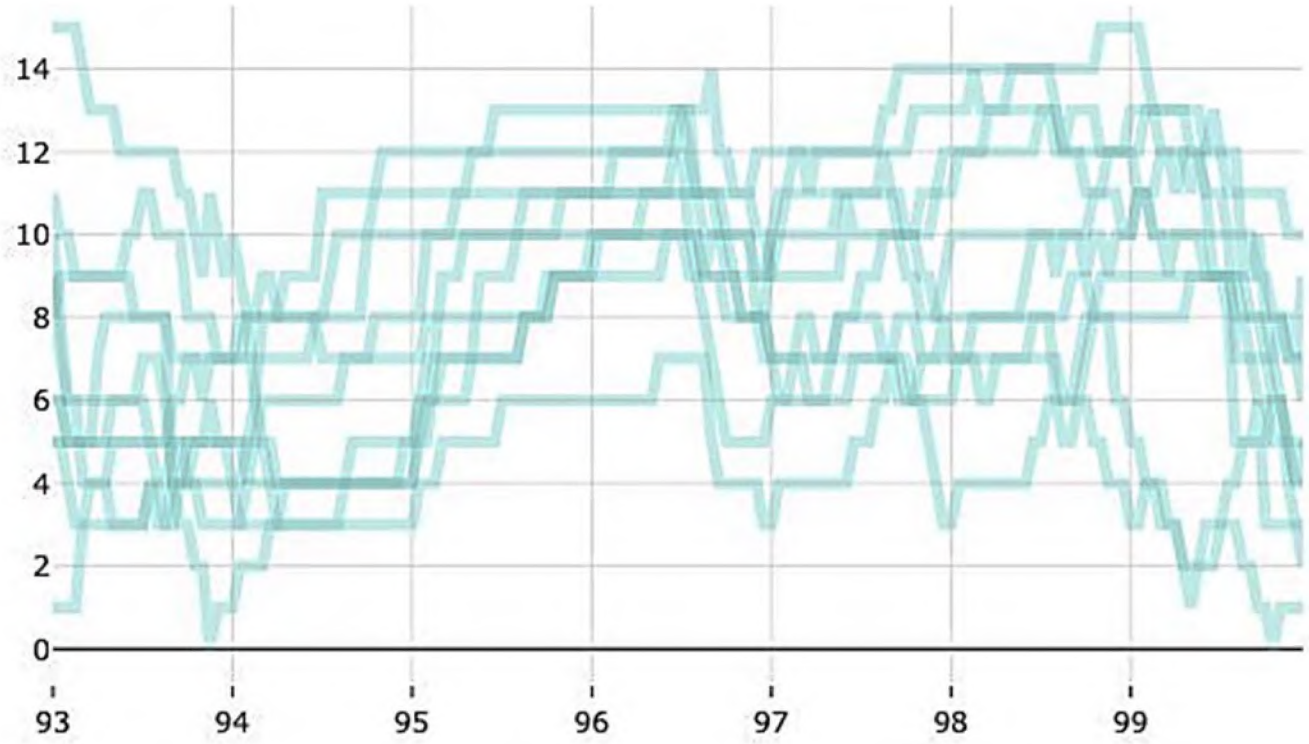


Рисунок 5.1 – Графік реалізації комп'ютерного експерименту процесу перевезення сільськогосподарської продукції

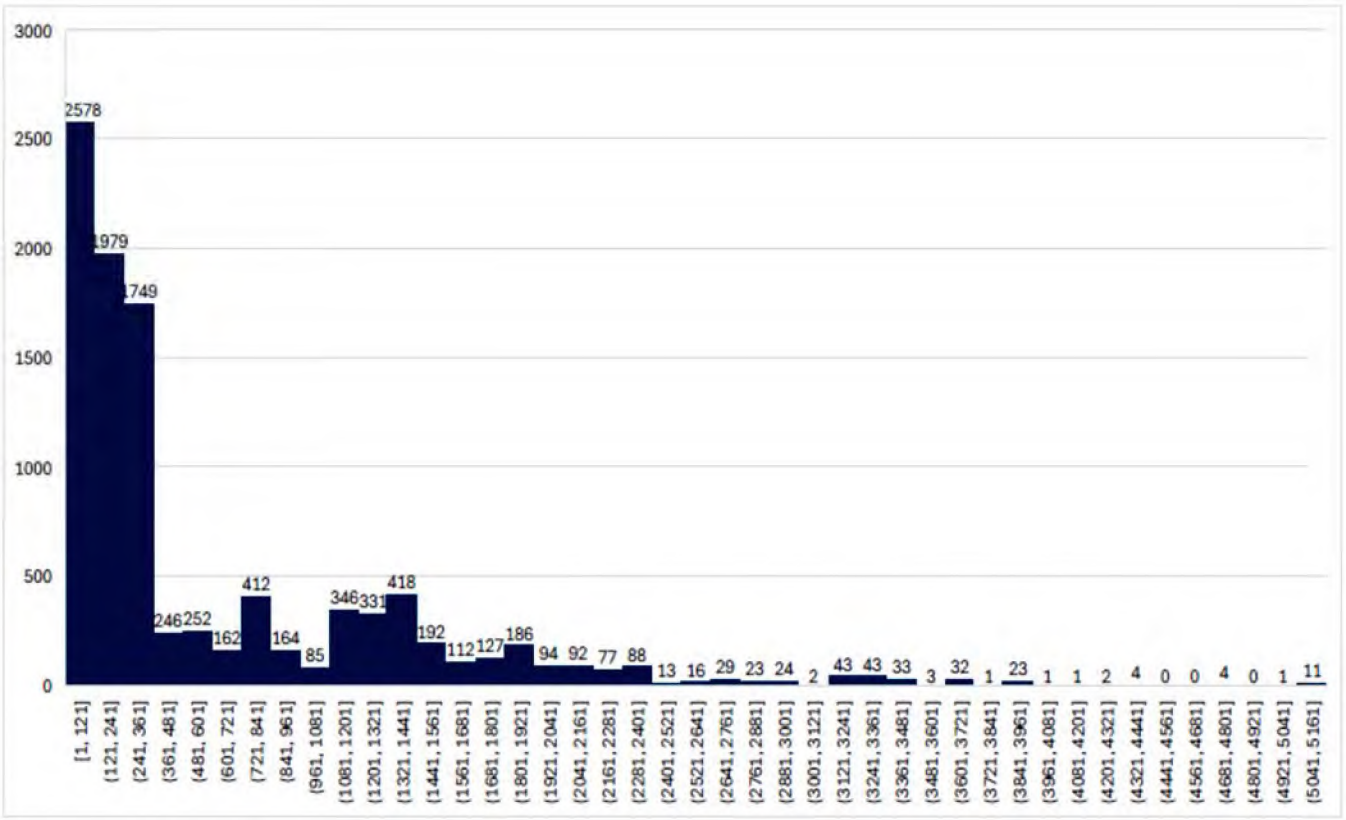
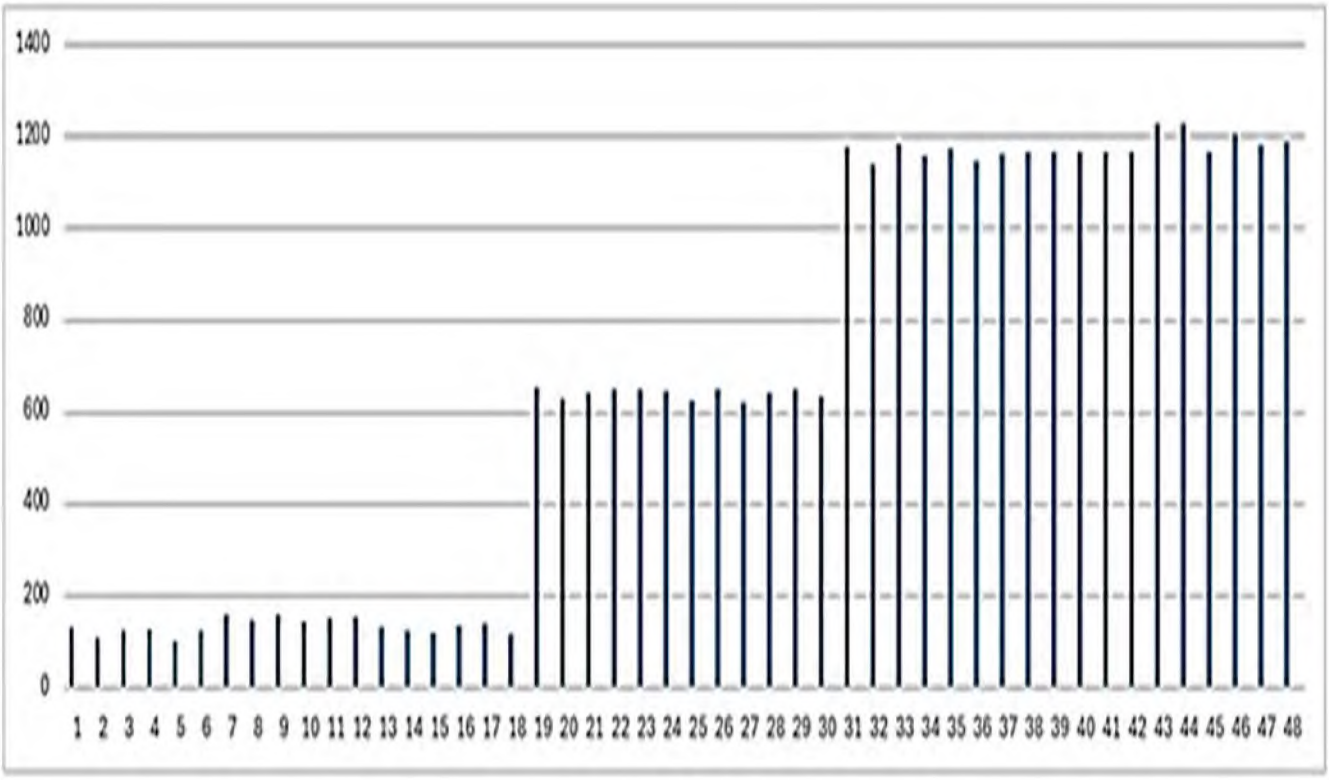
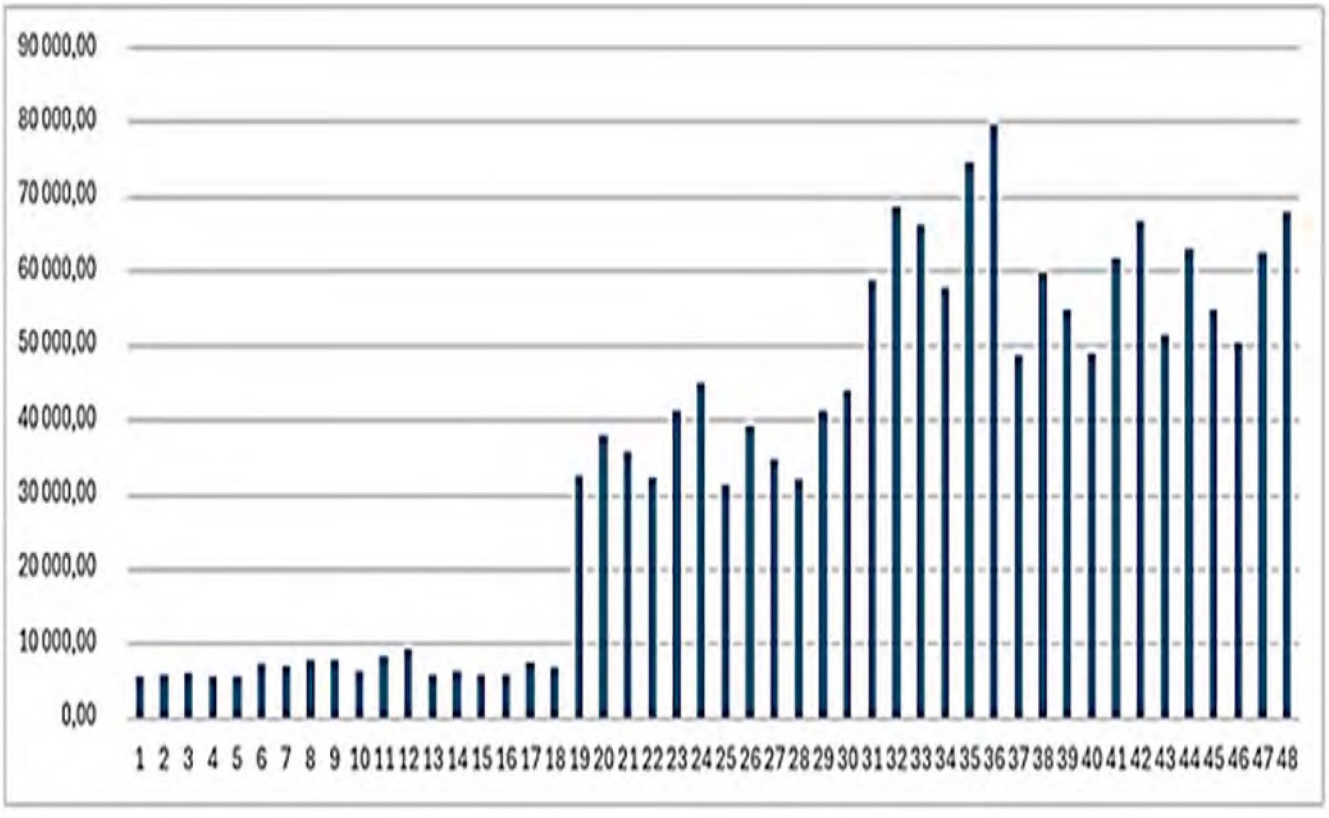


Рисунок 5.2 – Гістограма розподілу результатів моделювання від тривалості маршруту



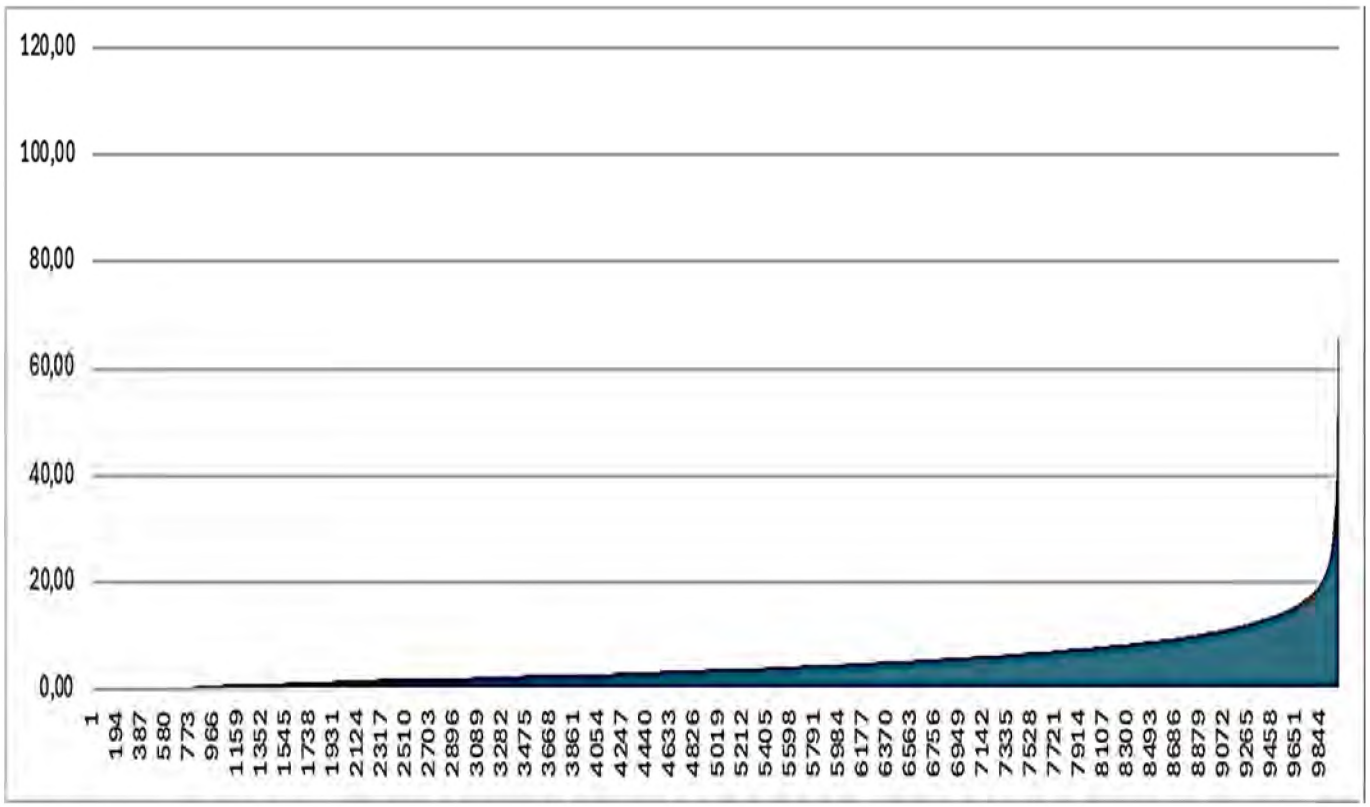
а



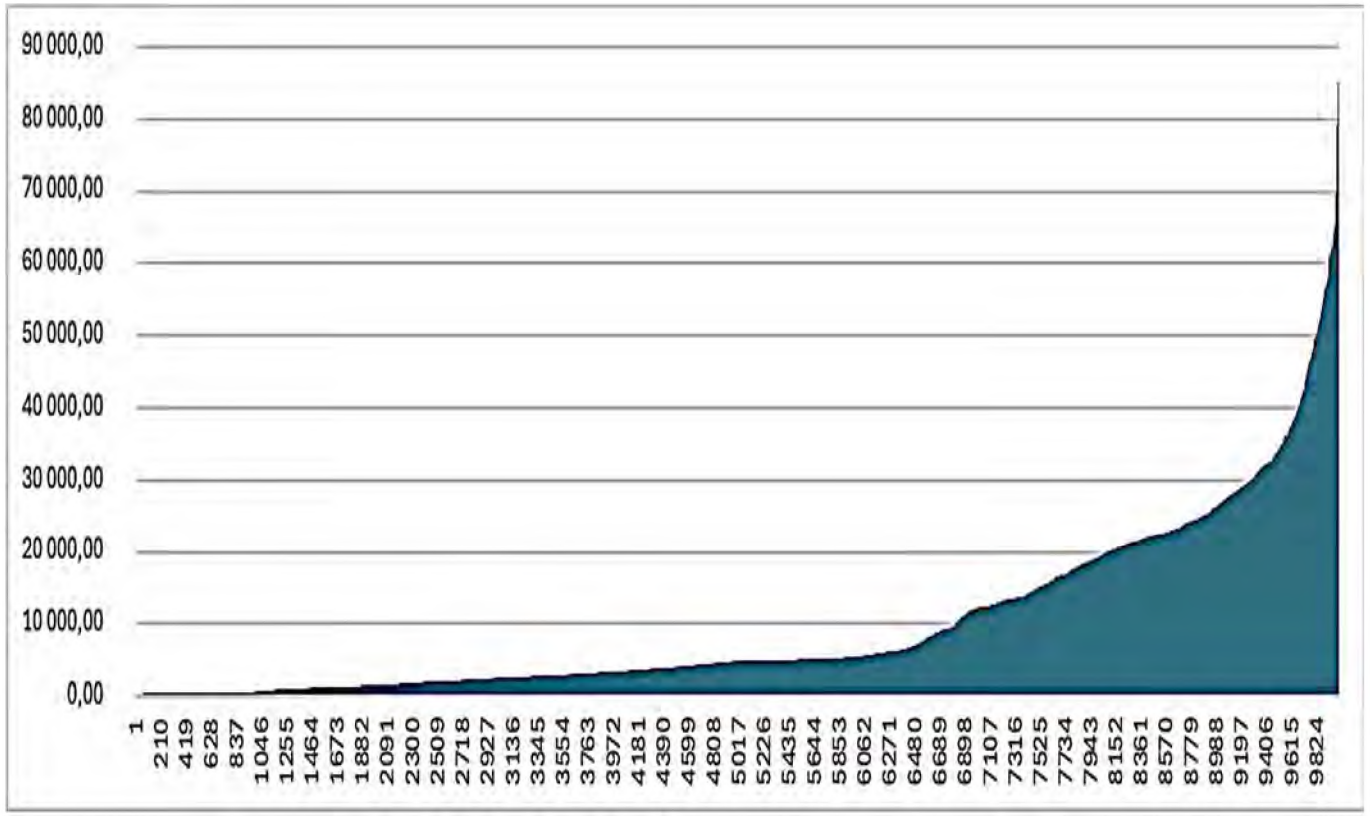
б

Рисунок 5.3 – Результати імітаційного моделювання:

а) Строки перевезення, год; б) Витрати на перевезення, грн.



а



б

Рисунок 5.4 – Ранжування результатів імітаційного моделювання:

а) Строки перевезення, год; б) Витрати на перевезення, грн.

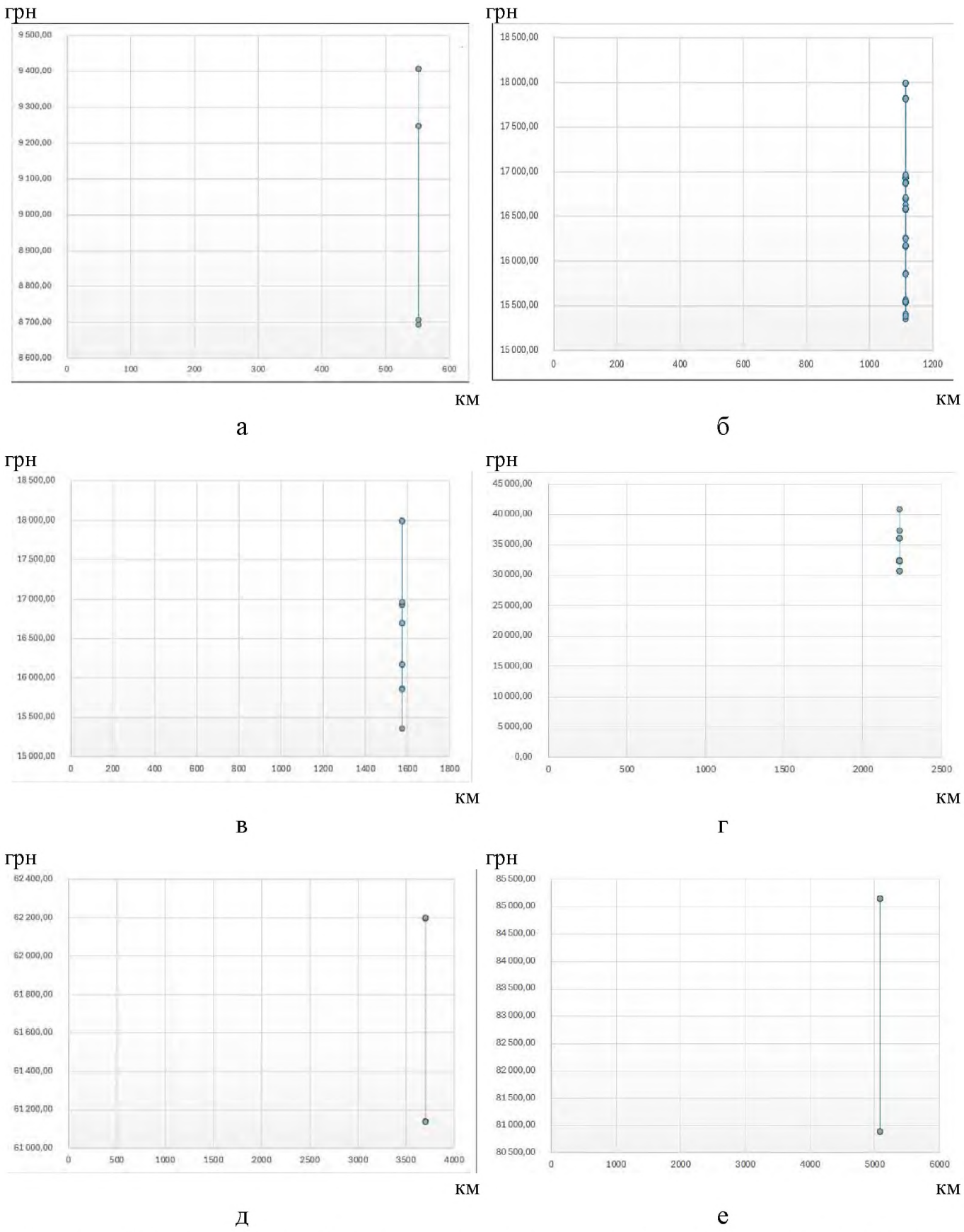


Рисунок 5.5 – Діапазон варіювання вартості маршруту (грн) в залежності від його довжини: а) L = 551 км; б) L = 1115 км; в) L = 1573 км; г) L = 2234 км; д) L = 3072 км; е) L = 5081 км

Слід зазначити, що в процесі перевезення сільськогосподарської продукції необхідно враховувати специфіку продукції, що перевозиться, сезонність і тип кузова, показники безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин, тому в процесі пошуку оптимального рішення слід враховувати максимально допустимий час перевезення продукції (рис. 5.6).

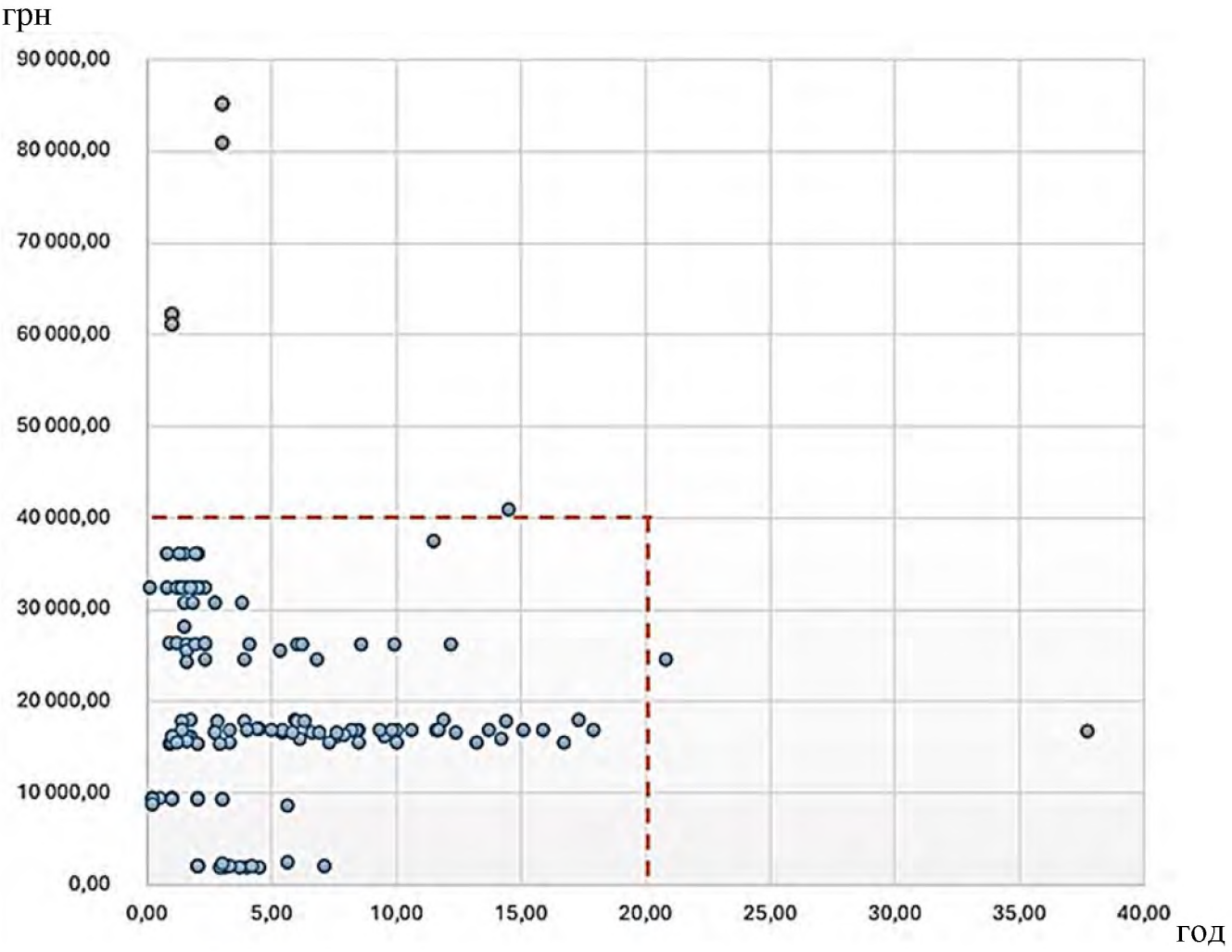


Рисунок 5.6 – Зведений графік результатів імітаційного моделювання

Важливо відзначити, що границя, яка встановлює максимально дозволений термін перевезення продукції, може змінюватись в залежності від сезонності, типу продукції та показників безвідмовності та ремонтопридатності; крім економічного критерію, доцільно оцінити можливість моделі коригувати тривалість маршруту в залежності від обмежень, що вводяться.

5.2 Результати імітаційного моделювання експлуатації різних варіантів транспортних засобів під час перевезення сільськогосподарської продукції

В результаті обробки статистичних даних було отримано показники надійності транспортних машин, які представлені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники надійності транспортних засобів

Марка ТЗ	Кількість транспортних засобів, од.	Трудомісткість ремонтно-технічних дій, люд· год	Витрати на ремонтно-технічні впливів, грн	Середня кількість відмов на один автомобіль	Середній пробіг, км	Середній пробіг до першої відмови, км	$К_{ТГ}$
KAMAZ	121	9591,71	74461057,71	16,1	558292	121429,84	0,94
MERCEDES	118	16732,1	90738441	27,7	1138100	204657,02	0,92
SCANIA	67	5297,38	53262193,43	13,8	1214448,8	303661,53	0,95

З метою визначення часу на перевезення в залежності від тривалості маршруту було проведено додаткові експерименти (таблиця 5.2, таблиця 5.3 та таблиця 5.4).

Таблиця 5.2 – Залежність довжини маршруту від часу перевезення

Довжина маршруту	Час перевезення, год					
L=120 км	2,02	4,04	7,07	5,05	5,05	7,07
L=551 км	4,04	4,04	7,17	8,19	7,27	5,42
L=1115 км	17,07	16,05	17,17	17,2	15,25	14,44
L=1573 км	20,05	19,04	20,17	23,23	20,29	20,44
L=2234 км	25,05	27,07	25,14	29,2	28,28	28,28
L=3072 км	41,07	42,2	44,45	44,25	40,28	40,4
L = 5081 км	60,6	64,44	61,35	65,3	66,2	66,2

Було визначено економічні показники транспортних засобів із розрахунку заданих обсягів до оптимізації та після наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.3 – Залежність довжини маршруту від вартості перевезення

Довжина маршруту	Вартість перевезення, грн					
L=120 км	2 167,00	2 177,00	2 020,00	2 152,00	2 139,00	2 048,00
L=551 км	9 310,00	9 009,00	8 903,00	8 723,00	9 107,00	9 304,00
L=1115 км	15 722,00	15 506,00	17 635,00	15 723,00	16 800,00	15 752,00
L=1573 км	25 948,00	26 509,00	26 695,00	26 796,00	28 026,00	26 325,00
L=2234 км	37 366,00	33 151,00	38 846,00	38 368,00	38 273,00	34 658,00
L=3072 км	61 179,00	62 064,00	61 503,00	61 281,00	62 139,00	61 763,00
L=5081 км	84 154,00	81 638,00	80 980,00	81 162,00	82 632,00	84 100,00

Таблиця 5.4 – Залежність довжини маршруту від вартості витрати на пальне

Довжина маршруту	Витрати на паливо, грн					
L=120 км	1 864,00	1 702,00	2 012,00	1 941,00	1 746,00	1 875,00
L=551 км	7 981,00	7 957,00	8 157,00	8 214,00	7 983,00	8 248,00
L=1115 км	15 631,00	14 876,00	14 164,00	14 855,00	14 553,00	16 039,00
L=1573 км	24 004,00	24 136,00	22 326,00	22 768,00	22 617,00	24 008,00
L=2234 км	30 815,00	35 192,00	34 805,00	29 617,00	30 409,00	31 702,00
L=3072 км	55 645,00	55 236,00	55 801,00	55 920,00	55 542,00	55 833,00
L=5081 км	73 047,00	73 946,00	74 099,00	73 052,00	73 854,00	75 140,00

Таблиця 5.5 – Економічні показники перевезення до та після оптимізації

Довжина маршруту, км	Середня тривалість перевезення, год		Вартість маршруту, грн	
	До	Після	До	Після
120	4,88	3,00	2 032,67	1 877,00
551	6,23	4,20	9 003,50	8 071,17
1115	13,47	12,15	16 933,17	15 217,33
1573	21,04	18,60	26 534,67	23 757,67
2234	27,44	23,40	36 966,33	33 291,33
3072	41,07	36,75	61 653,17	55 545,83
5081	63,29	57,15	81 276,67	74 722,00

Аналіз наведених економічних показників роботи показує, що ефективність транспортних машин за критерієм мінімуму витрат на пальне в залежності від виконання плану перевезення залежить від транспортної завантаженості, обсягу вантажу, сезонності, характеру продукції.

На рис. 5.7 наведено результати моделювання процесу перевезення сільськогосподарської продукції з використанням різних марок транспортних машин, напрямків та протяжності.

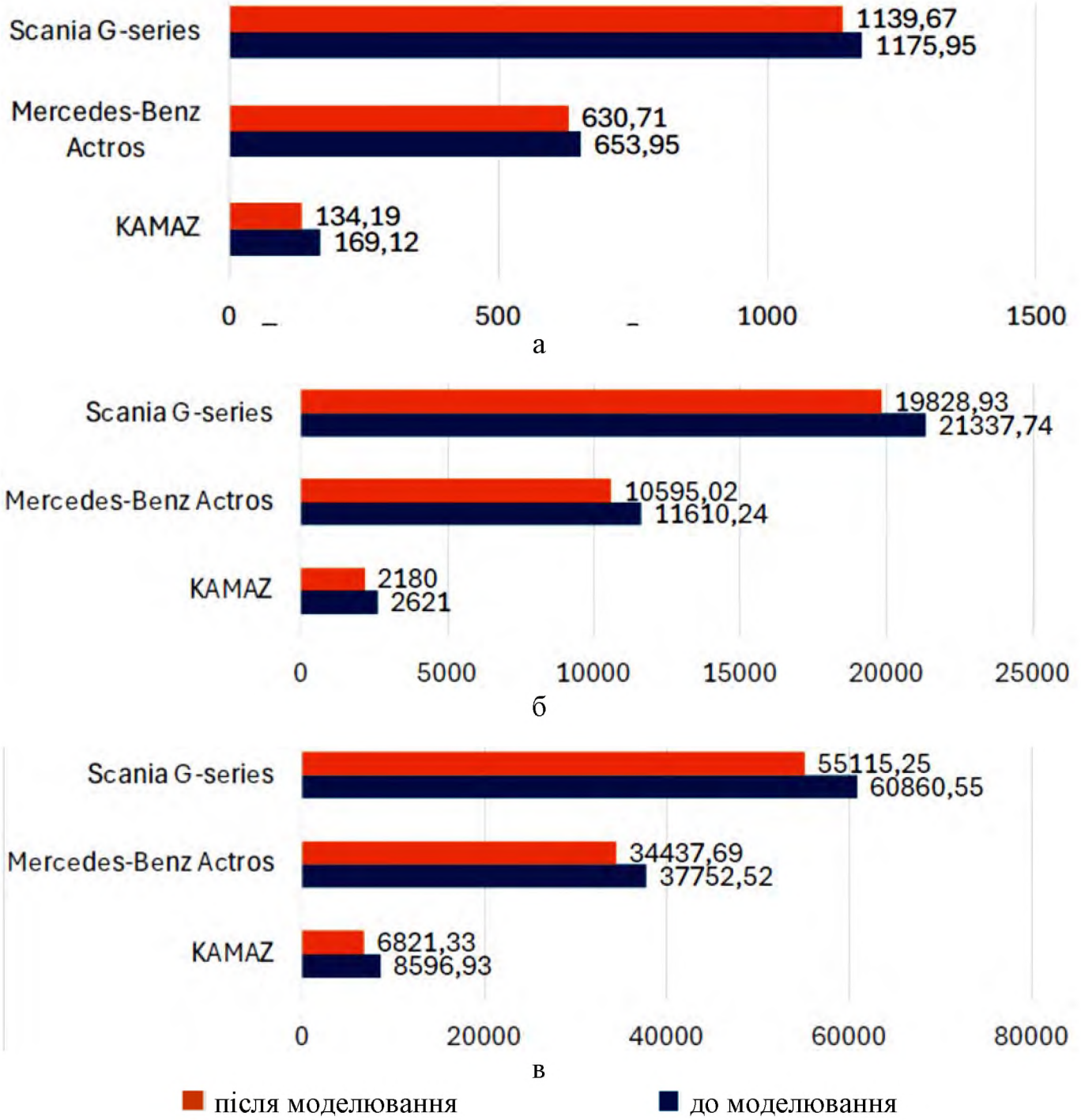


Рисунок 5.7 – Результати моделювання за основними економічними показниками ефективності використання транспортних засобів у процесі перевезень сільськогосподарської продукції:

а) довжина маршруту, км; б) витрати на паливо, грн; в) вартість маршруту, грн

За допомогою розробленої моделі відбувається коригування маршруту, підбір транспортних засобів з урахуванням специфіки вантажу, що перевозиться, і показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин.

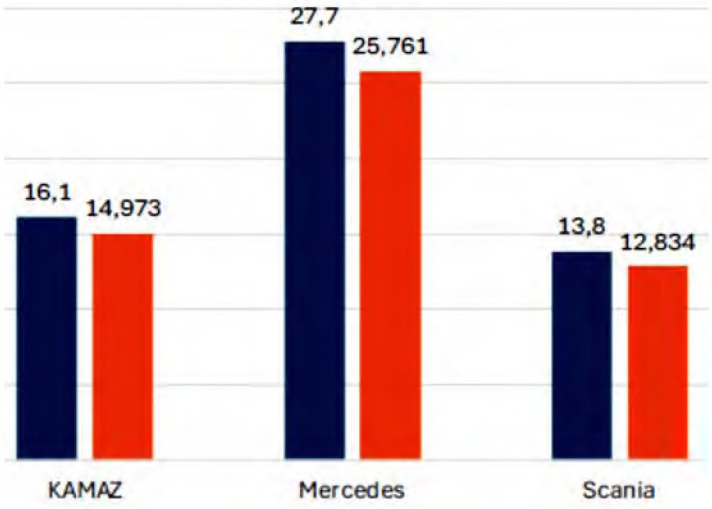
Порівняння результатів моделювання з даними, отриманими в процесі експлуатації автомобілів , показують наступну тенденцію, а саме зниження довжини маршруту: з 1175 до 1139 км – SCANIA, з 653 до 630 км – MERCEDES, з 169 до 134 км – KAMAZ залежно від маршруту перевезення цей ефект склав у середньому 20-60 км.

За рахунок створення оптимального маршруту перевезення залежно від обсягу продукції, що перевозиться, з найменшою кількістю використовуваних машин обсяг вантажу, що перевозиться, збільшився з 16 до 17,55 тонн, з 16,7 до 17,8 тонн, з 16,9 до 18,1 тонн.

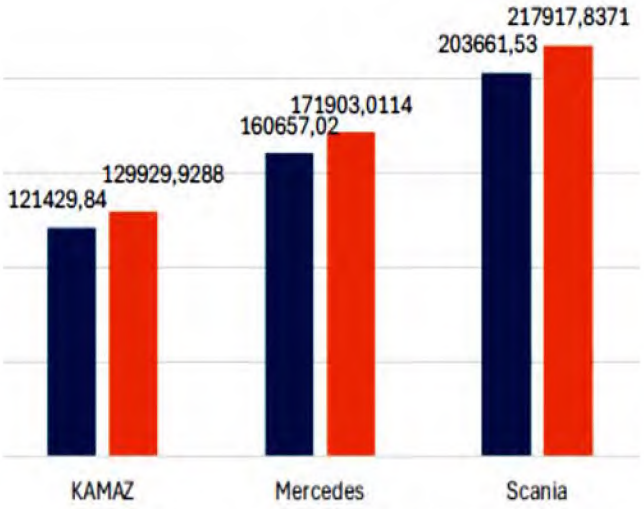
На рис 5.7 видно, що витрати на паливо знизилися з 21337,00 грн до 19828,00 грн – SCANIA, з 11610,00 до 10595, 00 грн – MERCEDES і 2180,00 до 2621,00 грн – KAMAZ відповідно за рахунок введених обмежень (у прикладі, що розглядається, є термін і режими перевезення продукції), а також динамічній перебудові маршруту. Якщо перебудова маршруту не може бути реалізована наявними машинами, то додається нова і виконується перевірка інших поєднань. Якщо запит споживача був меншого розміру, ніж можливий обсяг перевезення вантажу, то підбирається ще одне замовлення до повного наповнення машини. Якщо замовлення отримано і відстань між споживачами нижча за критичну, то в такій ситуації найкоротший шлях визначається через дві точки.

Для проведення порівняльного аналізу та розробки рекомендацій щодо визначення оптимальних параметрів перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин наведено порівняльні гістограми відповідним критеріями оцінки їхньої ефективності (рис. 5.8).

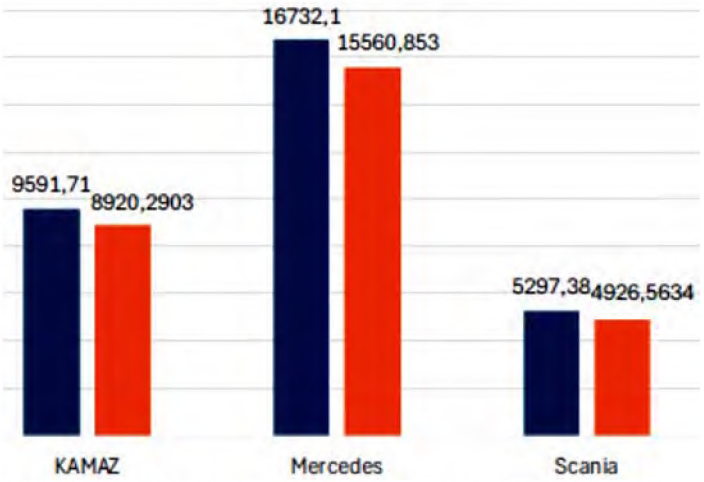
За результатами розрахунків за розробленою методикою середня кількість раптових відмов на один автомобіль марки KAMAZ, MERCEDES, SCANIA знизилася з 16,1 до 14,8; з 27,7 до 25,7; з 13,8 до 12,8 відповідно, а пробіг збільшився з 121419 км до 129 929 км; з 160 657 км до 171 903 км; з 203661 км до 217903 км відповідно.



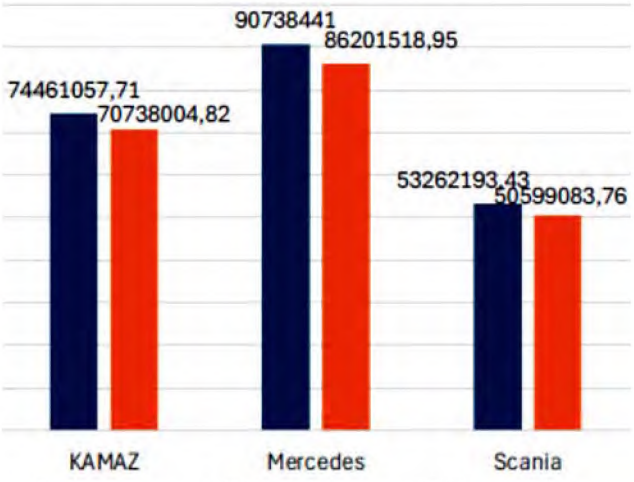
Середня кількість відмов на один ТЗ



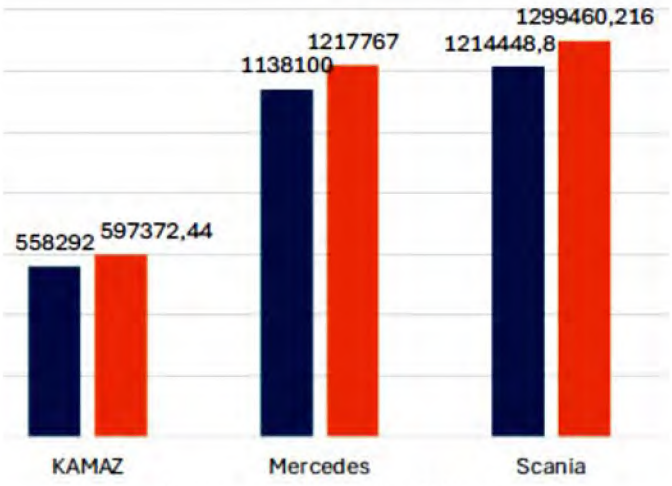
Середній пробіг ТЗ до відмови, км



Трудомісткість ремонтних робіт, людгод



Витрати на ТО і ремонт ТЗ, грн/рік



Середній пробіг ТЗ, км

Рисунок 5.8 – Результати моделювання за основними експлуатаційними показниками ефективності транспортних засобів під час перевезення сільськогосподарської продукції ТОВ ТК «САТ»

При цьому виріс і середній пробіг транспортних машин до 597 тис. км, 1217 тис. км, 1299 тис. км відповідно.

Собівартість перевезення сільськогосподарської продукції знизилася з 60860 грн до 55115 грн, з 37752 грн до 34752 грн, з 8517 грн до 6821 грн залежно від марки транспортних машин.

Використання розробленої методики на прикладі функціонування транспортної компанії «САТ» показали зниження часу усунення відмов на 7 % і зменшення витрат на їх усуненням на 5 %, одержуючи загалом економію коштів у вигляді 10 299 000 грн.

5.3 Висновки

1. Надано рекомендації щодо підбору транспортних машин на основі розробленої методики. Оптимальними транспортними машинами для виконання далеких рейсів від 2000 км і вище є машини марки SCANIA, для середньої групи маршрутів від 500 км до 2000 км рекомендується використовувати MERCEDES, для коротких рейсів машини KAMAZ.

2. Використання розробленої методики визначення оптимальних параметрів перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин дозволяє:

– скоротити тривалість і вартість перевезення, за рахунок створення оптимального маршруту перевезення в залежності від обсягу продукції, що перевозиться, з найменшою кількістю використовуваних машин;

– знизити витрати, пов'язані з ремонтно-технічними впливами, за рахунок визначення найменш надійних вузлів та агрегатів машини, додатковою діагностикою та спостереженням під час підготовки до випуску в рейс. У разі виявлення таких елементів, рекомендувати заміну агрегату або вузла, не доводячи його до граничного стану.

4. За результатами застосування розробленої методики щодо визначення опти-

мальних параметрів процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин встановлено, що:

– середня кількість позапланових відмов на один автомобіль марки KAMAZ, MERCEDES, SCANIA знизилася з 16,1 до 14,8; з 27,7 до 25,7; з 13,8 до 12,8 відповідно;

– пробіг до відмови на один автомобіль марки KAMAZ, MERCEDES, SCANIA збільшився з 121 419 км до 129 929 км; з 160 657 км до 171 903 км; з 203661 км до 217903 км відповідно;

– собівартість перевезення сільськогосподарської продукції загалом знизилася на 8–15% і становить від 2 до 6 тис. грн за одне перевезення залежно від марки транспортних машини.

5. Впровадження розроблених програмних модулів дозволило транспортній компанії "CAT" забезпечити зниження часу на усунення відмов на 7% та скорочення витрат, пов'язаних з їх усуненням на 5%.

6. Отримано економічний ефект від застосування розробленої методики щодо визначення оптимальних параметрів перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням технічного стану (показників безвідмовності та ремонтопридатності) транспортних машин у розмірі 10 299 000 грн без зниження якості сільськогосподарської продукції, що перевозиться.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз питання транспортування сільськогосподарської продукції показав, що у світі рівень втрат сільськогосподарської продукції під час перевезення становить від 3% до 18%. З усього різноманіття факторів при перевезенні визначені основні показники, що впливають на якість і собівартість перевезення сільськогосподарської продукції, а саме технологічні (тип кузова, час перевезення, коефіцієнт сезонності, вологість, температура), а також показники безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин (ймовірність безвідмовної роботи транспортної машини).

2. Встановлено, що найбільш вдалим рішенням щодо забезпечення ефективного перевезення сільськогосподарських продукції з існуючих на даний час є системи типу «точно в строк» («just-in-time», JIT-система). Дані системи дозволяють: знизити тривалість циклу перевезення на 35%, скоротити витрати на 15–20% і скоротити запаси на 25%.

3. Запропоновано нову функціональну схему процесу перевезення сільськогосподарської продукції за допомогою нотації BPMN з урахуванням технічного стану (показників безвідмовності та ремонтопридатності) транспортних машин.

4. Розроблено методику визначення оптимальних параметрів процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин у середовище AnyLogic. Рівень узгодженості даних із реальними умовами експлуатації та імітаційної моделі не перевищує понад 10%.

5. Встановлено, що пікова кількість відмов у розглянутих транспортних машин припадає на пробіг 490-600 тис. км, середній пробіг до відмови для автомобілів марок KAMAZ, MERCEDES, SCANIA склав 121 419 км, 160 657 км, 203 661 км відповідно, а середня кількість відмов для автомобілів 16,1; 27,7; 13,8 відповідно. В результаті збору та обробки статистичних даних сформовано характерні групи відмов для автомобілів марок KAMAZ, MERCEDES, SCANIA.

6. За результатами застосування розробленої методики визначення оптимальних параметрів процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин встановлено, що:

- середня кількість позапланових відмов на один автомобіль марки KAMAZ, MERCEDES, SCANIA знизилася з 16,1 до 14,8; з 27,7 до 25,7; з 13,8 до 12,8 відповідно;

- пробіг до відмови на один автомобіль марки KAMAZ, MERCEDES, SCANIA збільшився з 121 419 км до 129 929 км; з 160 657 км до 171 903 км; з 203661 км до 217903 км відповідно;

- собівартість перевезення сільськогосподарської продукції загалом знизилася на 8–15% і становить від 2 до 6 тис. грн за одне перевезення залежно від марки транспортних машини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Teixeira G.H. de Almeida, Meakem V., C. de L. Medeiros de Morais, K. M. Gomes de Lima, Whitehead S. R. Conventional and alternative pre-harvest treatments affect the quality of 'Golden delicious' and 'York' apple fruit. *Environmental and Experimental Botany*, 2020. Vol. 173. Article 104005.

2. Beyaz A. Harvest glove and LabView based mechanical damage determination on apples. *Scientia Horticulturae*, 2018. Vol. 228. P. 49-55.

3. Stopa R., Szyjewicz D., Komarnicki P., Kuta Ł. Determining the resistance to mechanical damage of apples under impact loads. *Postharvest Biology and Technology*, 2018. Vol. 146. P. 79-89.

4. Stopa R., Szyjewicz D., Komarnicki P., Kuta Ł. Limit values of impact energy determined from contours and surface pressure distribution of apples under impact loads. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018. Vol. 154. P. 1-9.

5. F. Xu, F. Lu, Z. Xiao, Z. Li. Influence of drop shock on physiological responses and genes expression of apple fruit. *Food Chemistry*, 2020. Vol. 30315. Article 125424.

6. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й., Равицький С. В. Економіко-математична модельвантажних перевезень автомобільним транспортом. *Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 25-27 жовтня 2021 року: збірник наукових праць*, 2021. С. 41-43.

7. Біліченко В. В. Виробничі системи на транспорті: стратегії розвитку : монографія. Вінниця: ВНТУ, 2016. 268 с.

8. Борисюк Д. В., Біліченко В. В. Дослідження операцій в транспортних системах. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи (студентам спеціальності 275 «Транспортні технології»). Частина 1. Вінниця: ІРВЦ ВНТУ, 2022. 41 с.

9. Борисюк Д. В., Огневий В. О. Дослідження операцій в транспортних системах. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт (студентам спеціальності 275 «Транспортні технології»). Частина 2. Вінниця: ІРВЦ ВНТУ, 2022.

57 с.

10. Вільковський Є. К., Бакуліч О. О. Вантажознавство. Львів : Інтелект-Захід, 2005. 224 с.

11. Горяїнов О. М. Практика вантажних перевезень і логістики. Харків : Кортес, 2008. 323 с.

12. Правила перевезення вантажів автомобільним транспортом в Україні. Державний департамент автомобільного транспорту Мінтранс України. Київ, 1998. 129 с

13. Босняк М. Г. Вантажні автомобільні перевезення. Київ : Видавничий Дім "Слово", 2010. 408 с.

14. Соловйова О. О., Висоцька І. І., Герасименко І. М. Загальний курс транспорту. Київ : НАУ, 2019. 244 с.

15. Савченко Л. В., Соловйова О. О. Взаємодія видів транспорту. Київ : НТУ, 2010. 96 с.

16. T. Goldsby, R. Martichenko. Lean Six Sigma Logistics: Strategic Development to Op-erational Success. J. Ross Publishing. 2005. 248 p.

17. B. Villarreal, J. Garza-Reyes, V. Kumar, M. Lim. Improving Road Transport Operations through Lean Thinking: A Case Study. *International Journal of Logistics Research and Applications*. 2016. vol. 20, no 2. P. 163-180.

18. J. Garza-Reyes, J. Beltran Forero, V. Kumar, B. Villarreal, M. Gaston Cedillo-Campos, L. Rocha-Lona. Improving Road Transport Operations using Lean Thinking. *27th International Conference on Flexible Automation and Intelli-gent Manufacturing, FAIM2017*, 27-30 June 2017, Modena, Italy. Procedia Manu-facturing, no 11, 2017, pp. 1900-1907.

19. Ohno T. Toyota Production System. Beyond Large-Scale Production. Portland, Oregon: Productivity Press, 1988. 143 p.

20. B. Villarreal, J. Garza-Reyes, V. Kumar. Lean road transportation – A systematic method for the improvement of road transport operations. *Production Planning & Control*, 2016, vol. 27, no 11, pp. 865-877.

21. J. Womack, D. Jones. Lean Thinking. Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York at al.: Free Press, 2003. 397 p.

22. Розміщення продуктивних сил і регіональна економіка: підручник під редакцією С. І. Дорогунцова. Київ: КНЕУ, 2005. 988 с.

23. Гунько І. В., Гуцаленко О. В. Транспорт – актуальні проблеми та сьогодення. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2015. Випуск 2 (90). С. 98-103.

24. Огневий В.О., Смирнов Є. В., Борисюк Д.В. Вдосконалення методики оперативного планування міських вантажних перевезень. *Вісник машинобудування* та транспорту, Вінниця. 2022. №2(16). С. 81-87.

25. Дмитриченко М.Ф., Яцківський Л.Ю., Ширяєва С.В., Докуніхін В.З. Основи теорії транспортних процесів і систем. Київ: Видавничий Дім «Слово», 2009. 336 с.

26. Хара М. В., Ніколаєнко І. В. Управління ланцюгами постачання та мережами / Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг: колективна монографія / В. М. Самсонкін [та ін.]. Київ, 2021. Розділ 3. С. 74–100.

27. Чухрай Н., Гірна О. Формування ланцюга поставок: питання теорії та практики: монографія. Львів: "Інтелект-Захід", 2007. 232 с.

28. Маселко Т.Є., Шевченко С.Г. Проблеми управління транспортно-логістичними системами України та перспективи розвитку в контексті європейської інтеграції. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2017. Вип. 12. С. 301-305.

29. Білоус В. А. Досконала дорожня мережа – основа економічного розвитку держави. *Науковий вісник Укр. держ. лісотехн. ун-ту*. Львів, 2005. Вип. 9.11: Сучасна екологія і проблеми сталого розвитку суспільства. С. 159–163.

30. Галкін А.С. Логістичне управління автотранспортним обслуговуванням : навч. посібник. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 212 с.

31. Герзель В.М., Марчук М.М., Фабрицький М.А., Рижий О.П. Організація автомобільних перевезень, дорожні умови та безпека руху: Навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2008. 199 с.

32. Лебідь В.В. Підвищення ефективності управління міжнародними автомобільними перевезеннями на маршрутах МТК з використанням результатів

експериментальних досліджень. *Збірка тез доповідей LXIX науково – практичної конференції науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів НТУ*. Київ: НТУ, 2013. С. 225.

33. Бережна Н.Г., Біляєва О.С., Войтов В.А., Горяїнов О.М., Карнаух М.В., Кравцов А.Г., Кутья О.В., Музильов Д.О., Шраменко Н.Ю. Проблеми транспортно-логістичного забезпечення в аграрній галузі. Харків: Міськдрук, 2019. 180 с.

34. Дуна Н., Матвієнко А. Перспективи розвитку українського ринку автомобільних вантажоперевезень: євроінтеграційний аспект. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2022. Випуск 44. С. 21–29.

35. Стасюк О., Чмирьова Л., Федяй Н. Ринки вантажних та пасажирських перевезень в Україні: проблеми та тенденції. *Ефективна економіка*. 2020. № 9. С. 1–19.

36. Швець В., Бойченко М. Аутсорсинг в логістиці автомобільних вантажоперевезень в Україні: стан, проблеми та перспективи. *Економічний вісник Донбасу*. 2019. № 3(57). С. 103–109.

37. Функціонування ринку вантажних перевезень в Україні: фактори впливу та пріоритети розвитку: науково-аналітична доповідь (електронне видання) / наук. ред. Х. М. Притула; ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долішнього НАН України». Львів, 2021. 94 с.

38. В.О. Огневий, Є.В. Смирнов, В.П. Кужель, Д.В. Борисюк. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Вантажознавство» для студентів спеціальності 275 – «Транспортні технології». Вінниця : ВНТУ, 2023. 86 с.

39. Д.В. Борисюк, Є.В. Смирнов. Дослідження операцій в транспортних системах. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт (студентам спеціальності 275 «Транспортні технології»). Частина 1. Вінниця: ІРВЦ ВНТУ, 2022. 52 с.

40. Д.В. Борисюк., В.О. Огневий. Дослідження операцій в транспортних системах. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт (студентам спеціальності 275 «Транспортні технології»). Частина 2. Вінниця: ІРВЦ ВНТУ, 2022. 57 с.

41. Економіка міжнародних транспортних перевезень: підручник / М.І. Данько, В.Л. Дикань, О.Г. Дейнека, Л.О. Позднякова, Ю.М. Юрченко. Харків: "Олант", 2004 352 с.

42. Окландер М. А., Хромов О. П. Промислова логістика. Київ: Цент навчальної літератури, 2004. 222 с.

43. Шарай С.М., Стефанович О.М., Рой М.П. Методика вибору послідовності виконання замовлень на міжміські вантажні автомобільні перевезення. *World Science*. 2021. № 9(70). С. 1–7.

44. Чупрін Є. С., Кондратенко Є. В., Гелеверя Є. М. Аналіз та перспективи розвитку транспортної галузі України з позиції автотранспортних підприємств. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2019. Вип. 24. С. 125–130.

45. Літвінова Я. В., Барановський О. Д. Пошук та обґрунтування шляхів підвищення ефективності перевезень тарно-штучних вантажів. Наука та прогрес транспорту. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2020. № 5(89). С. 22–31.

46. Калініченко О. П., Павленко О. В., Нефьодов В. М. Оптимізація рішення задач оперативного планування вантажних перевезень на автомобільному транспорті. *Комунальне господарство міст*. 2018. Вип. 142. С. 108–113.

47. Ziebuhr M., Kopfer H. Solving an integrated operational transportation planning problem with forwarding limitations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2016. Vol. 87. P. 149–166.

48. Дослідження економічної доцільності автомобільних перевезень / Г. І. Нестеренко та ін. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті: зб. наук. пр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти та молодих вчених, м. Рубіжне (Луганська обл.)*, 1–2 груд. 2020 р. Сєвєродонецьк, 2020. С. 126–129.

49. Борисюк Д.В., Вдовиченко О.В., Марисюк В.О. Основні вимоги до перевезення сільськогосподарської продукції. *Матеріали XVIII-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»*, 20-22 жовтня 2025 року (м. Вінниця).

Додаток А (обов'язковий).

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Удосконалення процесу перевезення сільськогосподарської продукції в межах України автомобілями товариства з обмеженою відповідальністю «Транспортна компанія «САТ»» місто Київ

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

магістерської кваліфікаційної роботи

Галузь знань 27 – «Транспорт»
Спеціальність 275 – «Транспортні технології (за видами)»
Спеціалізація 275.03 – «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

Виконав студент гр. 1ТТ-24м Марисюк В.О.

Керівник к.т.н., доцент кафедри АТМ Борисюк Д.В.

Вінниця – 2025

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Удосконалення процесу перевезення сільськогосподарської продукції в межах України автомобілями товариства з обмеженою відповідальністю «Транспортна компанія «САТ»» місто Київ

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

магістерської кваліфікаційної роботи

Галузь знань 27 – «Транспорт»
Спеціальність 275 – «Транспортні технології (за видами)»
Спеціалізація 275.03 – «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

Виконав студент гр. 1ТТ-24м Марисюк В.О.

Керівник к.т.н., доцент кафедри АТМ Борисюк Д.В.

Вінниця – 2025

Удосконалення процесу перевезення сільськогосподарської продукції в межах України автомобілями товариства з обмеженою відповідальністю «Транспортна компанія «САТ»» місто Київ

Метою дослідження є встановлення впливу показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин на ефективність процесу перевезення сільськогосподарської продукції.

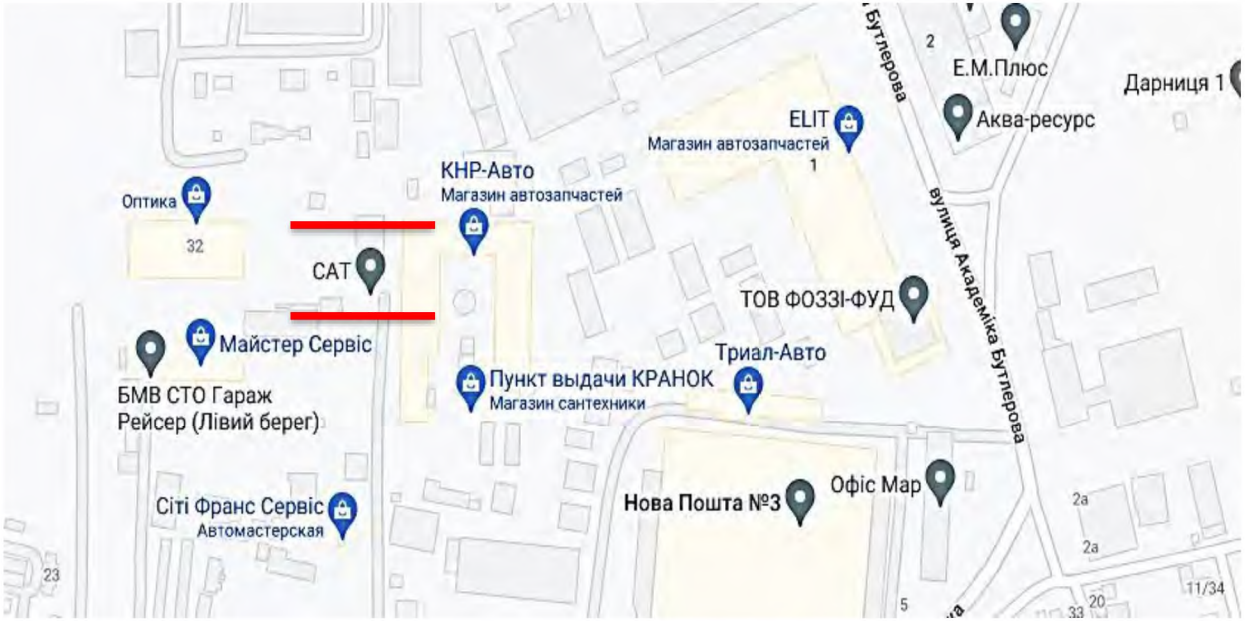
Для досягнення мети роботи сформовано такі **завдання:**

1. Провести аналіз діяльності ТОВ «Транспортна компанія «САТ».
2. Провести аналіз системи транспортного забезпечення сільськогосподарського виробництва та визначити транспортно-технологічні показники процесу перевезення сільськогосподарської продукції, що впливають на якість та вартість.
3. Дослідити існуючі методи та моделі організації перевезень та обґрунтувати необхідність удосконалення процесу перевезення з урахуванням специфіки продукції, що транспортується, та показників надійності транспортних машин.
4. Описати логічну структуру процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників надійності транспортних машин.
5. Вибрати середовище та засоби моделювання, розробити робочу версію та здійснити її налаштування з подальшою оцінкою адекватності та точності.
6. Провести збір та обробку статистичної інформації транспортних машин під час перевезення сільськогосподарської продукції, у тому числі показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин в умовах реальної експлуатації.
7. Розробити та апробувати методику визначення оптимальних параметрів процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин.
8. Оцінити економічну ефективність запровадження результатів дослідження.

Об'єктом дослідження є транспортні машини, які здійснюють процес перевезення сільськогосподарської продукції.

Предметом дослідження є показники безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

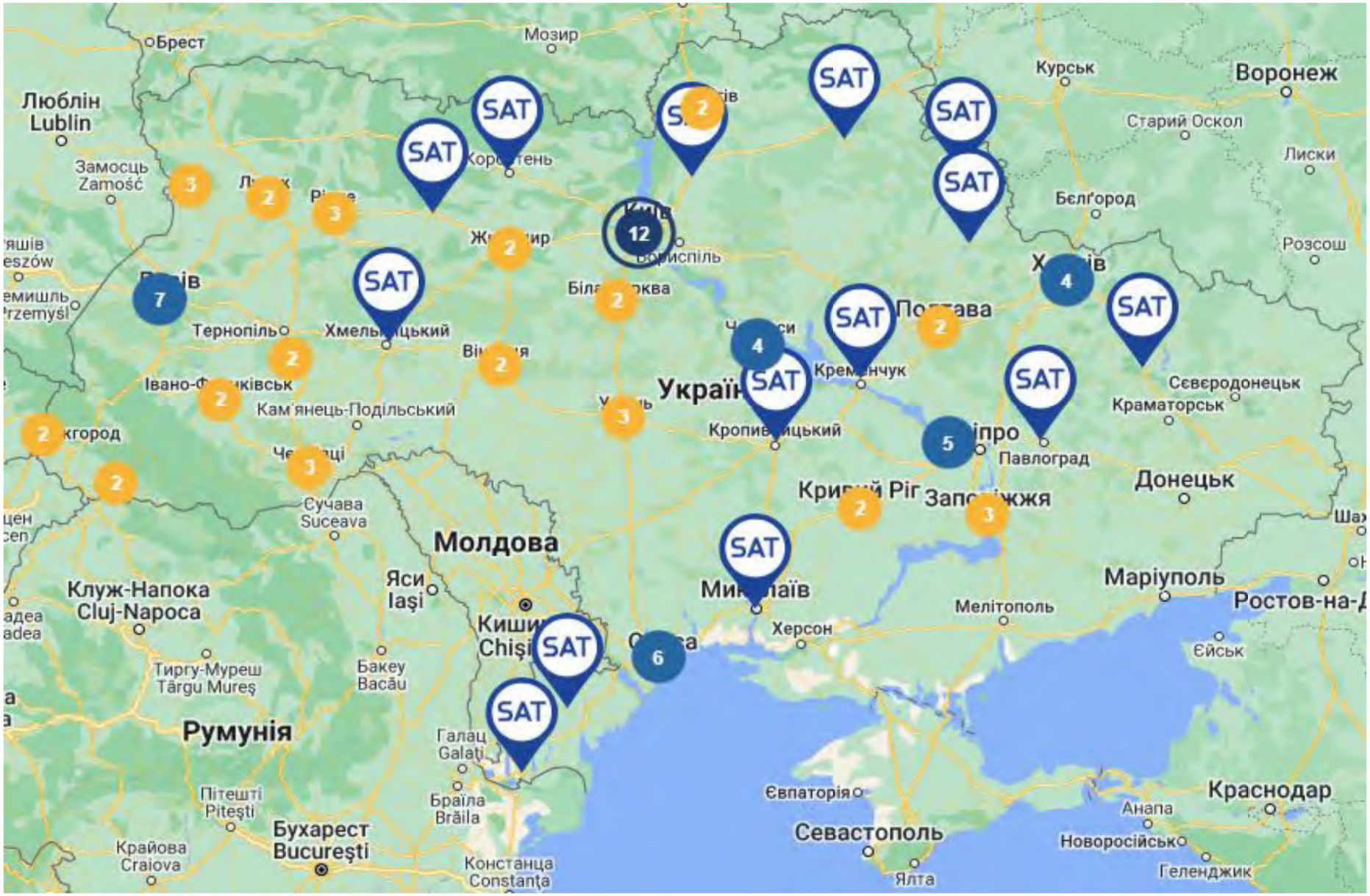


Розташування головного офіса транспортної компанії «CAT» у м. Київ

Види діяльності компанії:

- доставка будь-яких вантажів протягом 24-72 годин;
- адресна доставка відправлень кінцевому споживачеві;
- online-відстеження пересування вантажів (товару) за допомогою мобільного додатку;
- складське зберігання;
- кур'єрська служба доставки;
- обробка вантажів;
- підготовка і доставка імпортно-експортної і фрахтової документації;
- оренда та лізинг вантажних транспортних засобів.

Розташування відділень і складів транспортної компанії «САТ» на території України

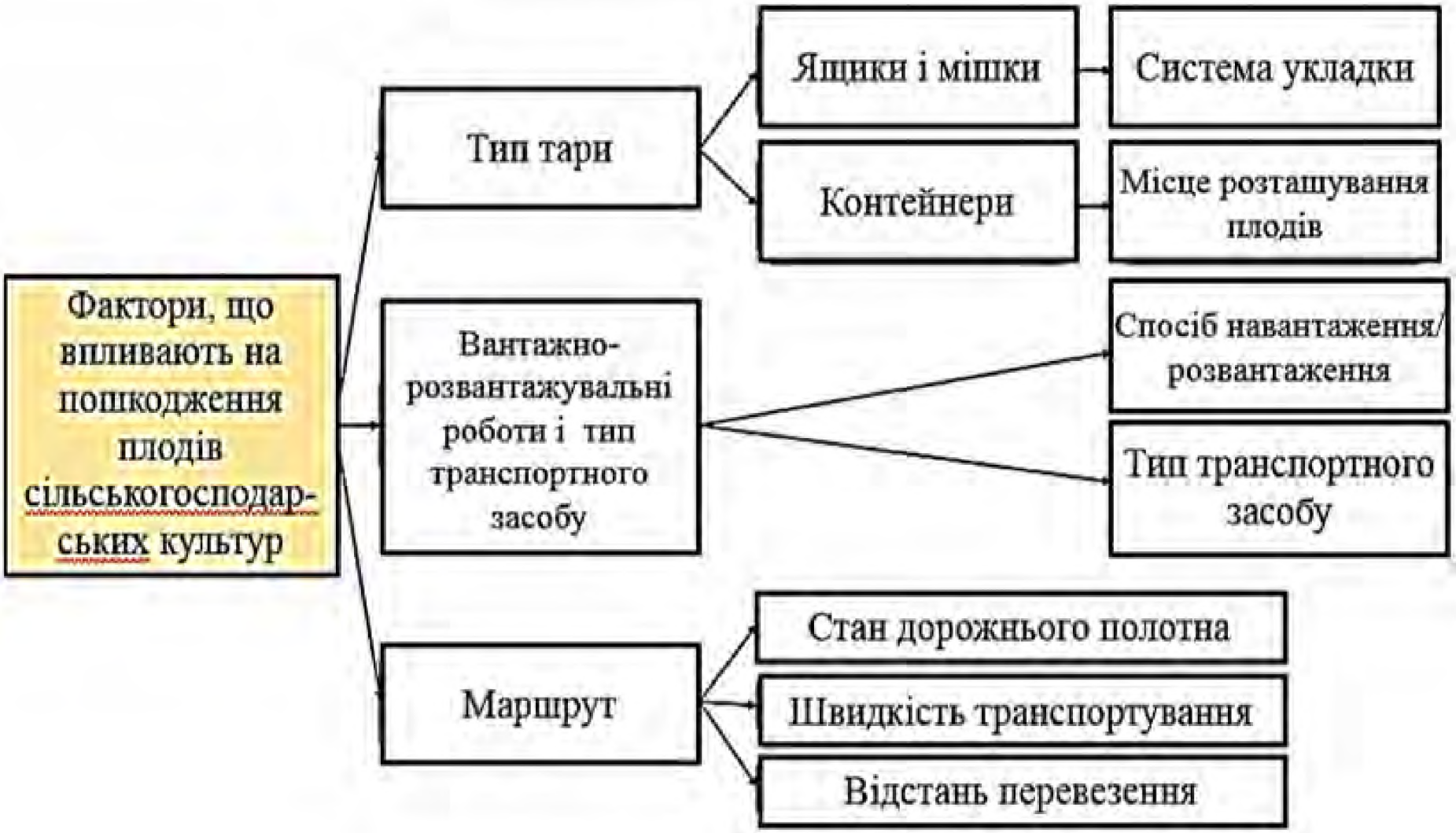


Продовольчі втрати сільськогосподарської продукції на різних етапах виробництва

Вирощування та збирання (до 10…30%)	Обробка та переробка (10…25%)	Транспортування та зберігання (до 15%)	Реалізація (до 30-45%)

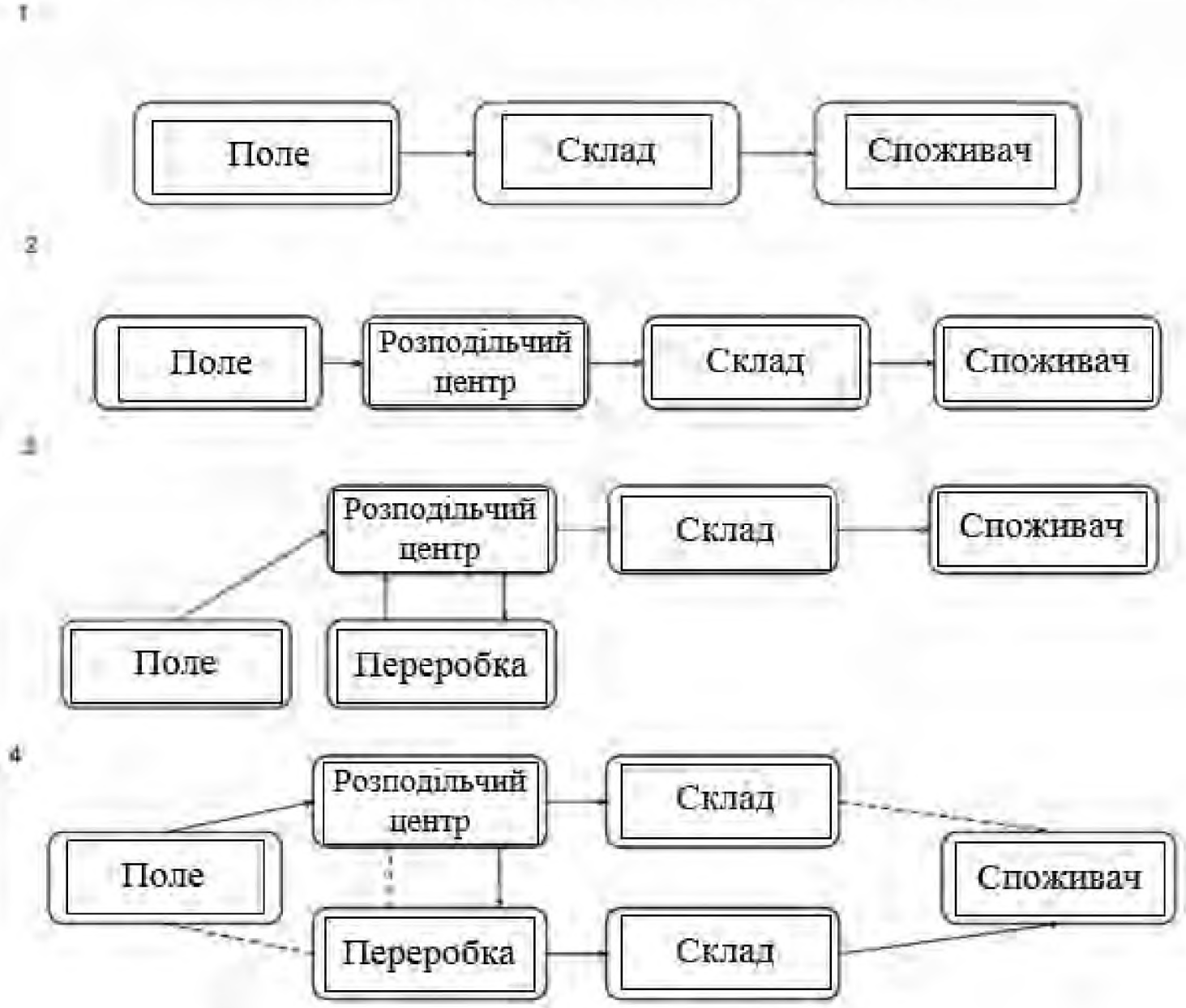
Продовольчі втрати під час перевезення сільськогосподарської продукції

Фактори, що впливають на ушкодження плодів під час виконання транспортно-технологічних операцій



Базові проблеми раціонального використання транспорту в сільському господарстві

Функціональні схеми процесу перевезення сільськогосподарської продукції



Опис процесу перевезення сільськогосподарської продукції

Як правило, при формуванні парку машин підприємство вважає, що повне завантаження всіх транспортних засобів при виконанні процесу перевезення сільськогосподарської продукції забезпечується за дотримання наступної рівності:

$$\frac{Q_1}{N_1 * W_1} = \frac{Q_2}{N_2 * W_2} = \cdots = \frac{Q_i}{N_i * W_i}$$

де Q_1, Q_2, Q_i – обсяг перевезення, що виконується транспортними машинами 1, 2…, i;
N_i, N_0, N_1 – кількість транспортних машин 1, 2 …, i;
W_i, W_0, W_1 – корисний об'єм напівпричепа 1, 2 …, i;

$$N = Q / (W \cdot T)$$

де N − необхідна кількість транспортних машин;
Q − заданий обсяг перевезення;
T − час виконання перевезення;
W − корисний об’єм напівпричепа.

Показники надійності транспортних машин, що впливають на ефективність перевезення сільськогосподарської продукції

В теорії надійності за випадкову величину зазвичай приймають час роботи виробу (час (пробіг) до виникнення відмови):

$$T = 1/\lambda$$

де λ – інтенсивність відмов об'єкта дослідження, λ = const.

У нашій моделі знаходиться *N*-а кількість транспортних машин, тоді критерієм надійності транспортної системи є можливість безвідмовної роботи, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі або в межах пробігу не відбудеться жодної відмови:

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N}$$

де *N* – загальна кількість транспортних машин;

n(*t*) – кількість несправних транспортних машин;

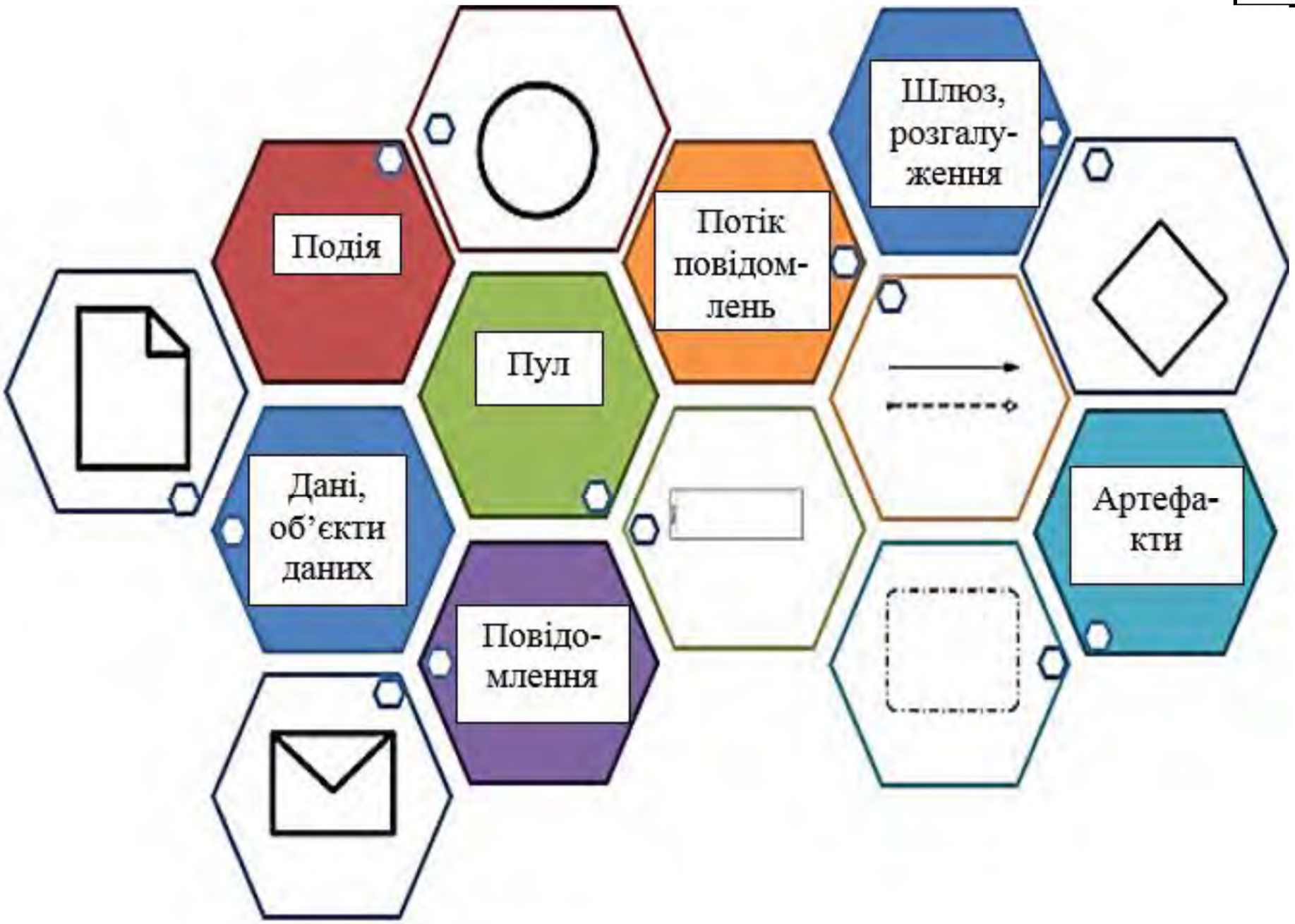
P(*t*) – можливість безвідмовної роботи транспортних машин.

Функція *P*(t) має такі властивості:

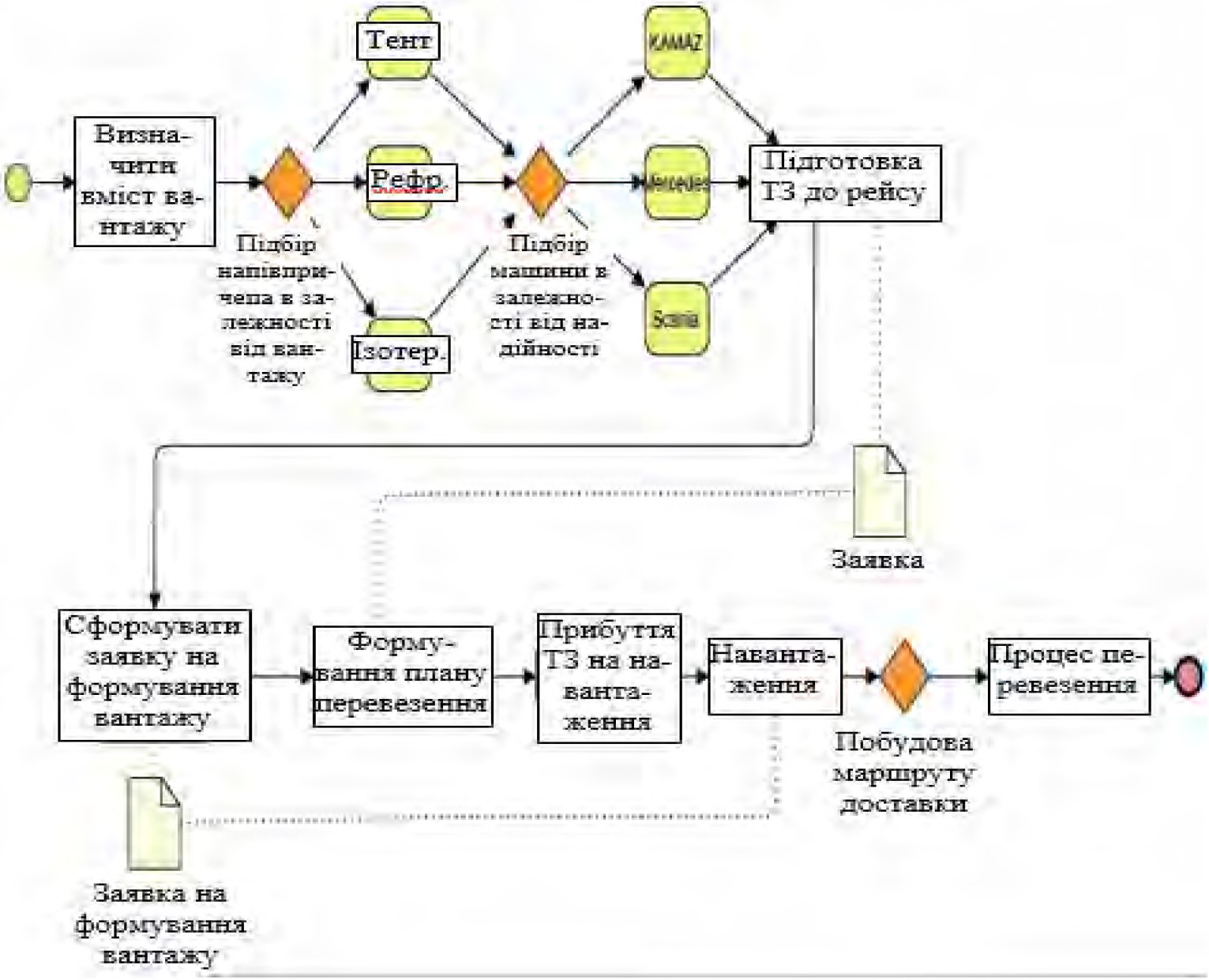
$$0 \leq P(t) \leq 1;\ P(0) = 1;\ P(\infty) = 0.$$

Чим більший P(t), тим вища надійність транспортних машин.

Основні елементи системи BPMS

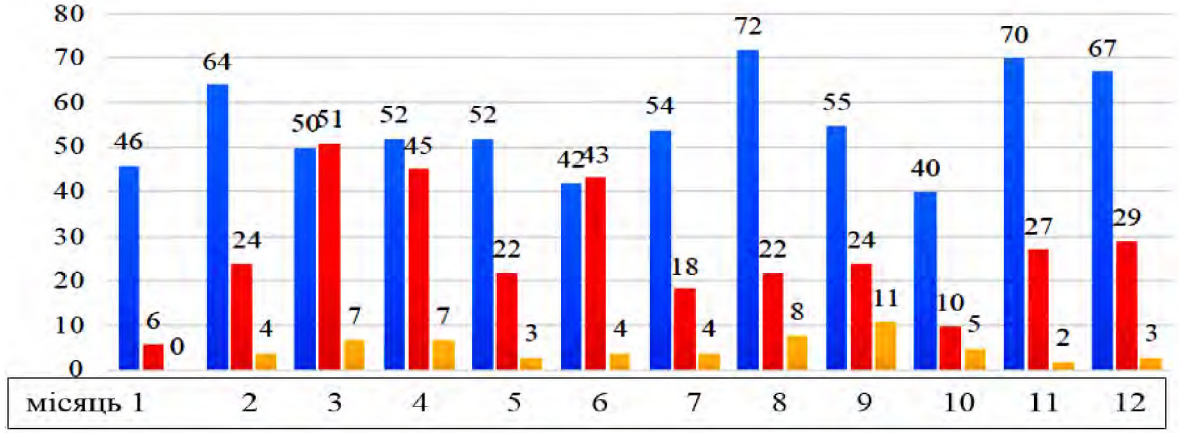


Приклад побудови моделі перевезення сільськогосподарської продукції

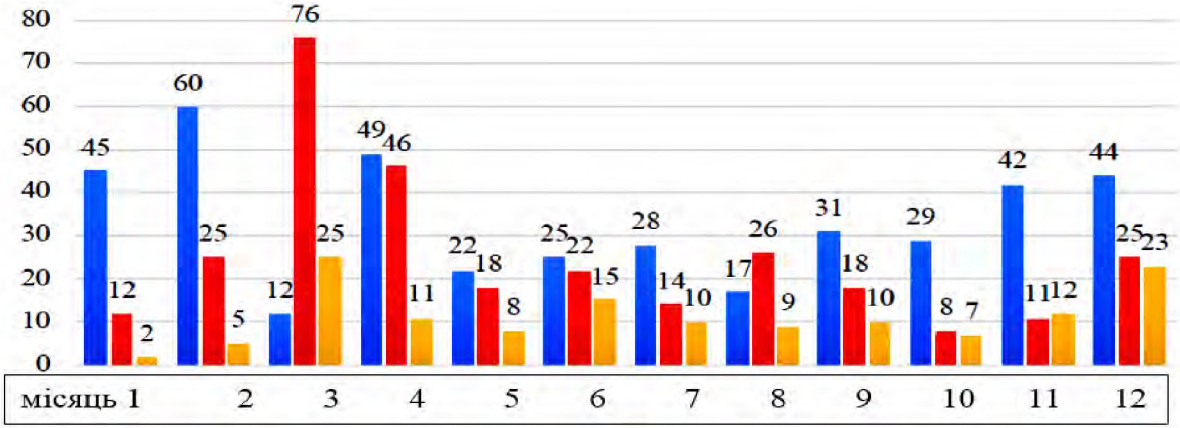


Архітектура програмно-апаратного комплексу

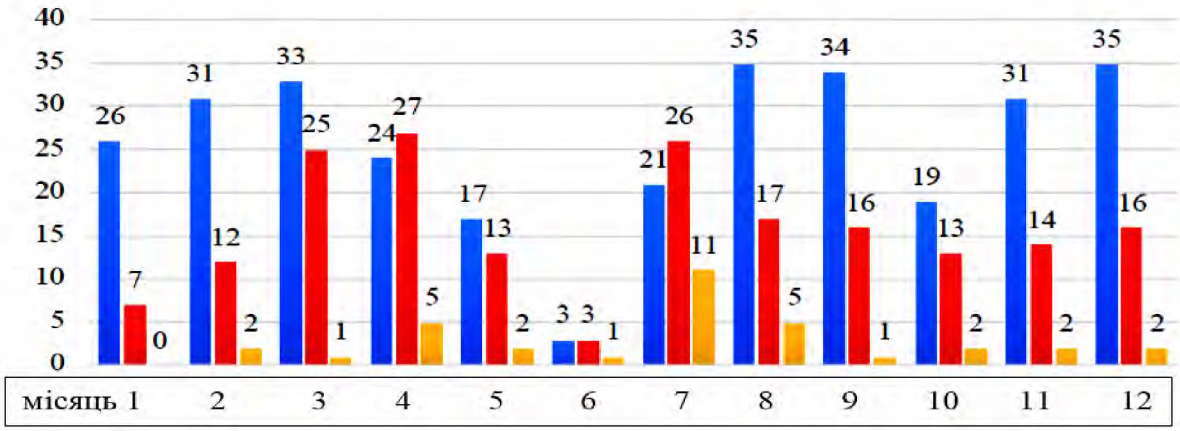
Час відновлення транспортних засобів та їх кількість



а



б

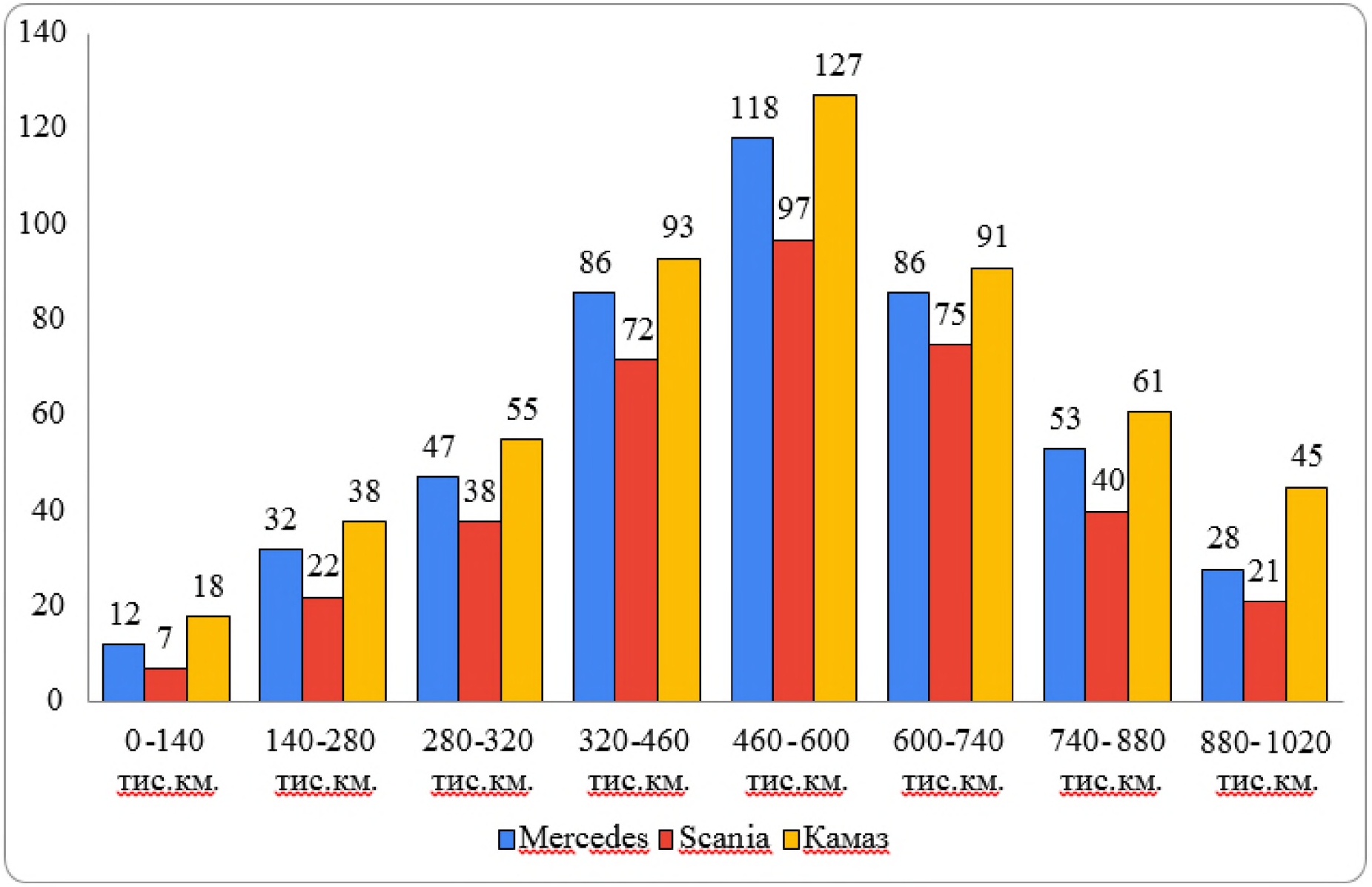


в

до 1 дня від 1 до 5 днів більше 5 днів

а) KAMAZ; б) Mercedes; в) Scania

Розподіл відмов транспортних засобів залежно від пробігу



Умови для імітаційного моделювання експлуатації різних варіантів транспортних засобів під час перевезення сільськогосподарської продукції

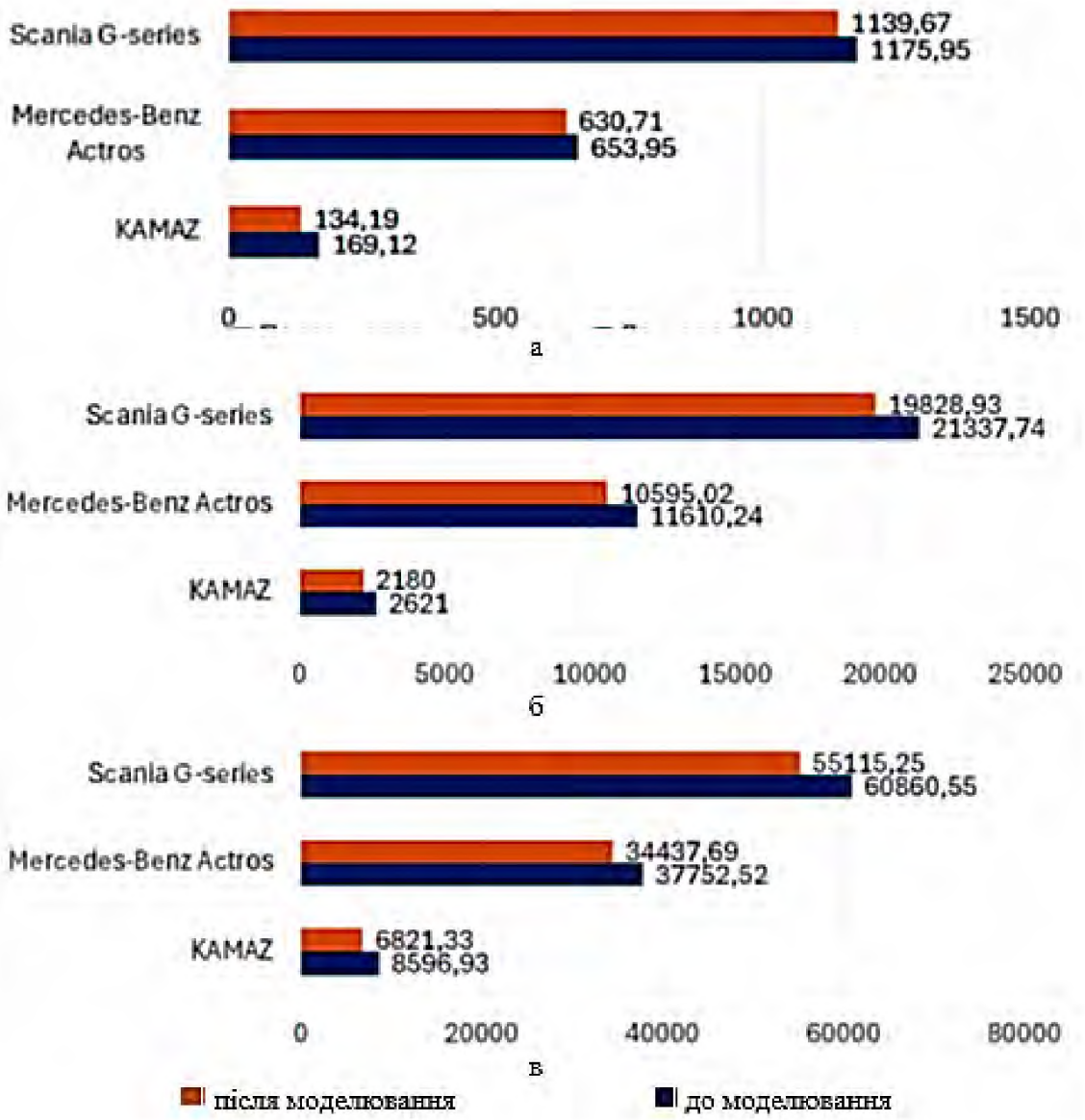
1. Показники надійності транспортних засобів

Марка ТЗ	Кількість транспортних засобів, од.	Трудомісткість ремонтно-технічних дій, люд· год	Витрати на ремонтно-технічні впливів, грн	Середня кількість відмов на один автомобіль	Середній пробіг, км	Середній пробіг до першої відмови, км	$К_{тг}$
KAMAZ	121	9591,71	74461057,71	16,1	558292	121429,84	0,94
MERCEDES	118	16732,1	90738441	27,7	1138100	204657,02	0,92
SCANIA	67	5297,38	53262193,43	13,8	1214448,8	303661,53	0,95

2. Залежність довжини маршруту від часу перевезення

Довжина маршруту	Час перевезення, год					
L=120 км	2,02	4,04	7,07	5,05	5,05	7,07
L=551 км	4,04	4,04	7,17	8,19	7,27	5,42
L=1115 км	17,07	16,05	17,17	17,2	15,25	14,44
L=1573 км	20,05	19,04	20,17	23,23	20,29	20,44
L=2234 км	25,05	27,07	25,14	29,2	28,28	28,28
L=3072 км	41,07	42,2	44,45	44,25	40,28	40,4
L = 5081 км	60,6	64,44	61,35	65,3	66,2	66,2

Результати моделювання за основними економічними показниками ефективності використання транспортних засобів у процесі перевезень сільськогосподарської продукції

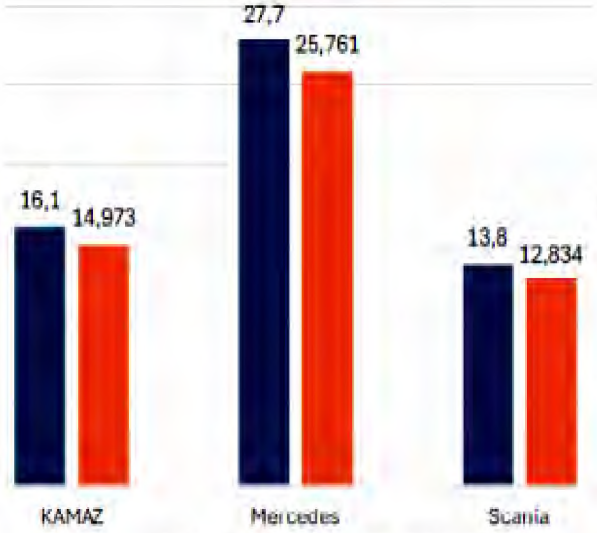


довжина маршруту, км

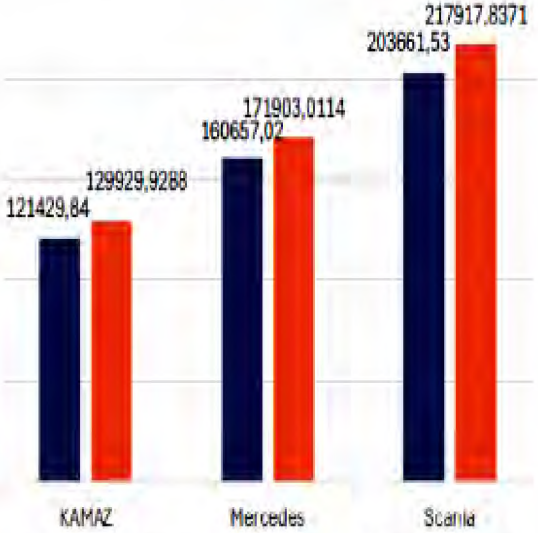
витрати на паливо, грн

вартість маршруту, грн

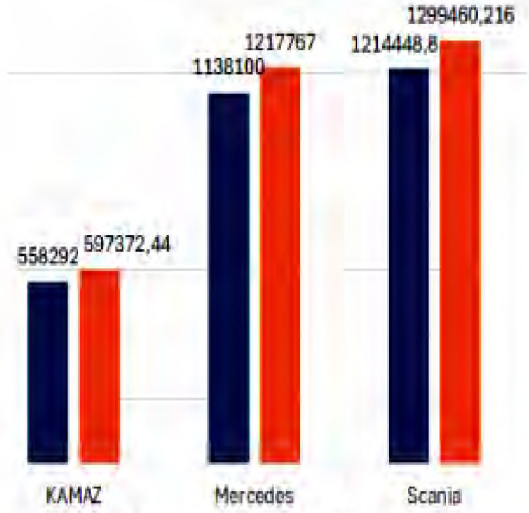
Результати моделювання за основними експлуатаційними показниками ефективності транспортних засобів під час перевезення сільськогосподарської продукції ТОВ ТК «САТ»



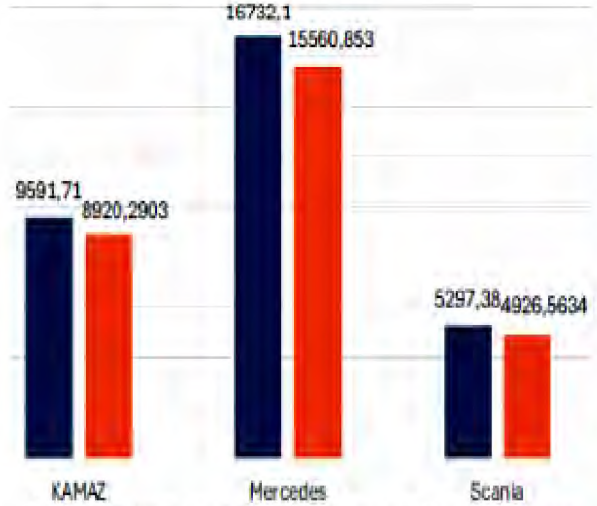
Середня кількість відмов на один ТЗ



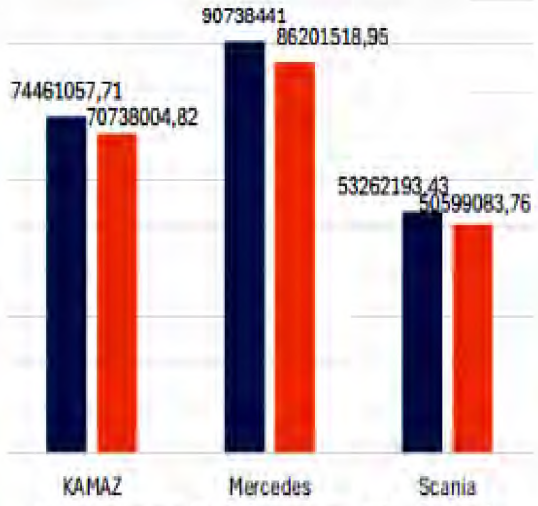
Середній пробіг ТЗ до відмови, км



Середній пробіг ТЗ, км



Трудомісткість ремонтних робіт, людгод



Витрати на ТО і ремонт ТЗ, грн/рік

після моделювання

до моделювання

ВИСНОВКИ

1. Аналіз питання транспортування сільськогосподарської продукції показав, що у світі рівень втрат сільськогосподарської продукції під час перевезення становить від 3% до 18%. З усього різноманіття факторів при перевезенні визначені основні показники, що впливають на якість і собівартість перевезення сільськогосподарської продукції, а саме технологічні (тип кузова, час перевезення, коефіцієнт сезонності, вологість, температура), а також показники безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин (ймовірність безвідмовної роботи транспортної машини).
2. Встановлено, що найбільш вдалим рішенням щодо забезпечення ефективного перевезення сільськогосподарських продукції з існуючих на даний час є системи типу «точно в строк» («just-in-time», JIT-система). Дані системи дозволяють: знизити тривалість циклу перевезення на 35%, скоротити витрати на 15–20% і скоротити запаси на 25%.
3. Запропоновано нову функціональну схему процесу перевезення сільськогосподарської продукції за допомогою нотації BPMN з урахуванням технічного стану (показників безвідмовності та ремонтопридатності) транспортних машин.
4. Розроблено методику визначення оптимальних параметрів процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин у середовище AnyLogic. Рівень узгодженості даних із реальними умовами експлуатації та імітаційної моделі не перевищує понад 10%.
5. Встановлено, що пікова кількість відмов у розглянутих транспортних машин припадає на пробіг 490-600 тис. км, середній пробіг до відмови для автомобілів марок KAMAZ, MERCEDES, SCANIA склав 121 419 км, 160 657 км, 203 661 км відповідно, а середня кількість відмов для автомобілів 16,1; 27,7; 13,8 відповідно. В результаті збору та обробки статистичних даних сформовано характерні групи відмов для автомобілів марок KAMAZ, MERCEDES, SCANIA.
6. За результатами застосування розробленої методики визначення оптимальних параметрів процесу перевезення сільськогосподарської продукції з урахуванням показників безвідмовності та ремонтопридатності транспортних машин встановлено, що:
- середня кількість позапланових відмов на один автомобіль марки KAMAZ, MERCEDES, SCANIA знизилася з 16,1 до 14,8; з 27,7 до 25,7; з 13,8 до 12,8 відповідно;
- пробіг до відмови на один автомобіль марки KAMAZ, MERCEDES, SCANIA збільшився з 121 419 км до 129 929 км; з 160 657 км до 171 903 км; з 203661 км до 217903 км відповідно;
- собівартість перевезення сільськогосподарської продукції загалом знизилася на 8–15% і становить від 2 до 6 тис. грн за одне перевезення залежно від марки транспортних машини.

Додаток Б (обов'язковий).

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення процесу перевезення сільськогосподарської продукції в межах України автомобілями товариства з обмеженою відповідальністю «Транспортна компанія «САТ»» місто Київ

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КП1) 2 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☑ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Цимбал С.В., завідувач кафедри АТМ _____ (підпис)
(прізвище, ініціали, посада)

Кужель В.П., доцент кафедри АТМ _____ (підпис)
(прізвище, ініціали, посада)

Особа, відповідальна за перевірку _____ (підпис) Цимбал О.В. (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____ (підпис) Борисюк Д.В., доцент кафедри АТМ (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____ (підпис) Марисюк В.О. (прізвище, ініціали)