

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Н.Г.Бережна, О.С.Біляєва, В.А.Войтов, О.М.Горяїнов, М.В. Карнаух,
А.Г.Кравцов, О.В.Кутья, Д.О.Музильов, Н.Ю.Шраменко**

**ПРОБЛЕМИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
В АГРАРНІЙ ГАЛУЗІ**

МОНОГРАФІЯ

Харків - 2019

УДК 656:681.518.5

ББК 39.19

Г71

Рекомендовано до друку Вченою Радою Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (протокол №6 від 27.02.19 р.)

Рецензенти:

Горбачов Петро Федорович, д.т.н., завідувач кафедри «Транспортних систем і логістики», Харківський національний автомобільно-дорожній університет;

Лаврухін Олександр Валерійович, д.т.н., професор, завідувач кафедри «Управління вантажною і комерційною роботою», Український державний університет залізничного транспорту;

Шуляк Михайло Леонідович, д.т.н., професор кафедри «Трактори і автомобілі», Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П.Василенка.

Г71 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. Монографія. – Харків: Міськдрук, 2019. – 180 с.

ISBN

У монографії наведено результати досліджень, які направлені на розв'язання завдання раціоналізації транспортного процесу обслуговування сільськогосподарських підприємств, а також підприємницьких структур. Запропоновано напрямки удосконалення технології функціонування термінальних комплексів та їхньої модернізації, які полягають у впровадженні заходів технічного, технологічного та організаційного характеру. Проведено математичну постановку задачі пошуку оптимального управлінського рішення при формуванні умов раціональної структури парку автомобілів. Розглянуто питання підвищення ефективності та надійності функціонування транспортно-логістичного комплексу виробництва цукрового буряку та питання визначення і опису видів станів об'єктів діагностування з позиції транспортної діагностики. Вирішено актуальне науково-практичне завдання з розширення паливної бази для експлуатації засобів транспорту шляхом застосування етилових ефірів рослинних олій з прогнозуванням надійності елементів паливної системи. Роботу виконано у рамках науково-дослідної роботи «Транспортно-логістичні аспекти взаємодії аграрних і міських транспортних систем» (реєстраційний номер 0118U003312).

Матеріали монографії будуть корисними для аспірантів, магістрантів, наукових співробітників, викладачів закладів вищої освіти.

УДК 656:681.518.5

ББК 39.19

ISBN

Бережна Н.Г., Біляєва О.С., Войтов В.А., Горяїнов О.М., Кравцов А.Г., Карнаух М.В., Кутья О.В., Музильов Д.О., Шраменко Н.Ю., 2019

Зміст

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. Моделювання логістичних процесів при термінальних системах доставки вантажів	9
1.1. Аналіз технологічних процесів термінальних систем доставки вантажі.....	9
1.2. Сучасні проблеми функціонування вантажних термінальних комплексів	14
1.3. Представлення процесу функціонування термінального комплексу в межах теорії мережевого планування	18
1.4. Модель оптимізації виробничих ресурсів вантажного термінального комплексу	20
1.5. Вибір технології формування розвізних (збірних) маршрутів при організації перевезень вантажів дрібними партіями у міському сполученні.....	24
1.6. Основні напрямки модернізації вантажних термінальних комплексів.....	29
1.7. Список використаних джерел до розділу 1.....	31
РОЗДІЛ 2. Технологічні особливості перевезення зернових	35
2.1. Останні тенденції при використанні збирально-транспортного комплексу з використанням логістичного підходу	35
2.2. Світовий досвід використання збирально-транспортного комплексу в період жнив: теоретичний і практичний аспекти	36
2.3. Обґрунтування технічних параметрів роботи збирально-транспортного комплексу	39
2.4. Результати дослідження функціональних залежностей елементів збирально-транспортного комплексу та використовуваних технологій	50
2.5. Рекомендації по вибору структури збирально-транспортного комплексу.....	51
2.6. Принципи вибору управлінських рішень на основі нечіткої логіки при доставці зернових вантажів до морського порту	55
2.7. Список використаних джерел до розділу 2.....	66
РОЗДІЛ 3. Моделювання логістичних процесів при транспортуванні цукрового буряку	72
3.1. Сучасний стан транспортно-логістичного обслуговування процесу доставки сільськогосподарських вантажів	72
3.2. Розробка математичної моделі логістичних процесів під час транспортування цукрових буряків з урахуванням надійності і економічної ефективності функціонування системи	84
3.3. Моделювання процесів в логістичній системі транспортного обслуговування виробників цукрового буряку з забезпеченням заданого рівня надійності і мінімальних витрат	106

3.4. Структура методики розрахунку і управління надійністю та ефективністю логістичної системи	128
3.5. Список використаних джерел до розділу 3.....	135
РОЗДІЛ 4. Діагностичні основи опису станів систем транспорту	142
4.1. Проблематика опису станів систем транспорту	142
4.2. Види станів об'єктів діагностування з позиції транспортної діагностики.....	145
4.3. Визначення зв'язку стану об'єкта діагностування з його недоліками....	149
4.4. Технологічні процеси на транспорті та визначення технологічних станів систем транспорту	153
4.5. Виділення діагностичних параметрів в групах показників роботи транспорту	156
4.6. Висновки до розділу.....	159
4.7. Список використаних джерел до розділу 4.....	160
РОЗДІЛ 5. Використання біопалива в якості джерела енергії на транспорті.....	163
5.1. Аналіз використання поновлювальних джерел енергії у якості палива в агропромисловому комплексі.....	163
5.2. Теоретичні дослідження надійності паливної системи дизелів засобів транспорту при розширенні паливної бази.....	181
5.3. Проведення експериментальних стендових досліджень.....	200
5.4. Обґрунтування критерію оптимізації та вибір сумішевого складу палива для експлуатації засобів транспорту при розширенні паливної бази.....	220
5.5. Розробка рекомендацій щодо забезпечення надійності паливної системи дизелів засобів транспорту при розширенні паливної бази і оцінка економічного ефекту.....	238
5.6. Список використаних джерел до розділу 5.....	259

ВСТУП

Останнім часом економічний розвиток України все більше поєднують з аграрним напрямком. Сільськогосподарській діяльності приділяється все більше і більше уваги. Ефективність функціонування сільськогосподарського виробництва залежить в більшості від впровадження і застосування логістичних підходів, а також розвитку логістичної інфраструктури.

Всі напрями сільського господарства мають як спільне, так і особливе в процесах виробництва. Основною загальною характеристикою аграрної галузі є сезонність, а відповідно і пов'язані з нею обмеження в часі на проведення посадкових, збиральних і транспортних робіт. Пора збору врожаю найважливіша й найважча для аграріїв. Наприклад, для виробників цукрового буряку цей період характеризується інтенсивним вантажопотоком; обмеженістю в часі виконання безперебійної доставки високоякісної, за умовами цукроваріння, перероблювальної сировини на завод; узгодженістю в роботі усіх учасників збирально-транспортного комплексу. Ефективне управління доставкою коренеплоду на завод є запорукою надійного і економічно-вигідного функціонування транспортно-логістичного комплексу при перевезенні цукрового буряку.

Господарська діяльність підприємницьких структур пов'язана з плануванням, організацією, управлінням та контролем матеріальних потоків і відповідної їм інформації у процесі їх фізичного переміщення від місця виробництва до місця споживання шляхом послідовного та взаємоузгодженого у часі й просторі виконання певного переліку функцій. Однією із основних функцій господарювання виробничих підприємств вважається реалізація транспортного процесу, що має на меті переміщення вантажів від виробника до споживача і здійснюється за допомогою різних типів транспорту.

У монографії наведені результати досліджень, які виконані викладачами кафедри транспортних технологій і логістики Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Дослідження направлені на розв'язання завдання раціоналізації транспортного процесу обслуговування сільськогосподарських підприємств, а також підприємницьких структур.

Розділ 1. Моделювання логістичних процесів при термінальних системах доставки вантажів підготовлено д.т.н., проф. Шраменко Н.Ю. В розділі проведено аналіз технологічних процесів термінальних систем, розкрито особливості та фактори, що впливають на їх ефективність, визначено проблеми, що перешкоджають розвитку термінальних систем та які потребують раціонального та оперативного вирішення.

Сформовано мережевий граф технологічного процесу функціонування термінального комплексу. За допомогою мережевого графу визначено критичний шлях виконання комплексу робіт та резерви часу на виконання кожної операції.

Запропоновано математичну модель оптимізації трудових і транспортно-складських ресурсів вантажного терміналу, яка базується на комплексному підході. Застосування моделі дозволяє здійснювати оперативне планування та ко-

регування існуючої технології з обробки вантажів на терміналі при змінному попиті із урахуванням наявних резервів і технічного оснащення терміналу та з урахуванням інтересів вантажовласників і перевізників.

Проаналізовані стратегії формування розвізних маршрутів за комплексним критерієм, який враховує інтереси як перевізника, так і вантажовласника, та вибрана оптимальна в умовах невизначеності. Визначено, що за малого попиту доцільною є стратегія формування маршрутів з мінімальним пробігом, для середнього та підвищеного – по періодам доби.

Запропоновано для вибору стратегії обслуговування вантажовласників при формуванні розвізних (збірних) маршрутів при плануванні транспортної роботи на терміналі застосовувати критерії прийняття рішення в умовах невизначеності, а саме критерію Ходжа-Лемана.

Запропоновані напрямки удосконалення технології функціонування термінальних комплексів та їхньої модернізації, які полягають у впровадженні заходів технічного, технологічного та організаційного характеру.

Розділ 2. Технологічні особливості перевезення зернових підготовлено к.т.н., доц. Музильовим Д.О., д.т.н., проф. Шраменко Н.Ю., к.т.н. Бережною Н.Г., к.т.н., доц. Кравцовим А.Г., к.т.н. Карнаухом М.В., викладачем Кутьсю О.В. В розділі виконано раціональний вибір технології доставки зернових культур із урахуванням техніко-економічних та експлуатаційних показників роботи збирально-транспортного комплексу. Запропоновано методику формування його структури з використанням комплексної номограми, побудова якої базується на логістичному підході. Встановлено закономірності зміни параметрів роботи збиральної та транспортної техніки в залежності від урожайності зернових культур, посівних площ і технології збирання та доставки врожаю.

У роботі представлений підхід з вироблення управлінських рішень для коректного підбору автотранспортних засобів в умовах невизначеності і стохастичного характеру попиту на перевезення зернових по ділянці ланцюга поставок «зерновий елеватор - морський термінал». Виконано обґрунтування актуальності дослідження з описом основних проблем, що виникають при доставці зернових вантажів в ланцюзі постачань за участю автомобільного та морського транспорту. Представлено типову схему у вигляді структурної моделі для візуалізації можливих варіантів доставки зернових в експортному сполученні.

Проведено математичну постановку задачі пошуку оптимального управлінського рішення при формуванні умов раціональної структури парку автомобілів, які здійснюють перевезення сільськогосподарської продукції в морський термінал. Розроблено набір управлінських рішень з урахуванням апарату нечіткої логіки. Для вироблення коректного управлінського рішення обґрунтовані значення вхідних факторів у вигляді набору лінгвістичних змінних.

Проведено логічне обґрунтування кількісних характеристик кожного з терм-множин на основі тоннажності прибуваючого в порт судна і кількості зерна, яке знаходиться в резерві безпосередньо на морському терміналі. Попередньо проведено вибір типу функцій належності, які будуть в подальшому вико-

ристані для побудови простору з метою прискорення вибору рішень на основі нечітко визначених вхідних параметрів.

Розділ 3. Моделювання логістичних процесів при транспортуванні цукрового буряку підготовлено д.т.н., проф. Войтовим В.А., к.т.н. Бережною Н.Г., к.т.н., доц. Кравцовим А.Г., викладачами Біляєвою О.С., Кутьєю О.В. Розділ присвячено вирішенню науково-прикладної задачі підвищення ефективності та надійності функціонування транспортно-логістичного комплексу виробництва цукрового буряку за рахунок проведення моделювання динаміки процесів транспортного обслуговування сільськогосподарського виробництва. Отримані часові параметри транспортного процесу в логістичній системі і узгоджені з технологічним циклом вантажоутворюючого підприємства.

Удосконалено визначення і розрахункові формули для оцінки надійності логістичних ланок і логістичної системи. Встановлено технологічні параметри, які впливають на надійність – це інерційність в логістичних ланках, яка оцінюється в годинах і час затримок в логістичних ланках при виконанні технологічних операцій.

Запропоновано чотирьохблокову схему методики визначення оптимального складу парку транспортних засобів, що забезпечують достатній рівень надійності і мінімальні питомі витрати на функціонування транспортно-логістичного комплексу та розроблено методику оцінки узгодження роботи постів розвантаження на цукровому заводі і транспортних засобів, що доставляють коренеплоди, та розроблено графік їх роботи.

Розділ 4. Діагностичні основи опису станів систем транспорту підготовлено к.т.н., доц. Горяїновим О.М. В даному розділі розглянуті питання визначення і опису видів станів об'єктів діагностування з позиції транспортної діагностики. Матеріали є продовженням досліджень, які опубліковані в монографії [1].

Розділ 5. Використання біопалива в якості джерела енергії на транспорті підготовлено д.т.н., проф. Войтовим В.А., к.т.н. Карнаухом М.В. В розділі вирішено актуальне наукове-практичне завдання розширення паливної бази для експлуатації засобів транспорту шляхом застосування етилових ефірів рослинних олій з прогнозуванням надійності елементів паливної системи. Виконано структурний аналіз надійності паливної системи дизеля засобів транспорту. Отримано математичні вирази для визначення ймовірності безвідмовної роботи паливної системи при експлуатації на різних видах палива. Із застосуванням розробленого математичного апарата отримано залежності, які дозволяють встановити ступінь впливу різних типів біопалива на показники надійності паливної системи. Експериментальним шляхом отримано залежності ефективної потужності і питомої витрати палива при застосуванні сумішевих палив на базі етилових ефірів ріпакової, соняшникової та соєвої олій. Отримано залежності зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу у відпрацьованих газах при використанні різних типів сумішевих палив. Удосконалено критерій оптимізації сумішевого складу біопалива для експлуатації засобів транспорту, який враховує об'ємну витрату палива дизелем, кількість шкідливих речовин, що викида-

ються в атмосферу, кінематичну в'язкість сумішевого палива і крутний момент на колінчастому валу двигуна. На базі отриманих залежностей запропоновано розрахункову формулу коригування строків технічного обслуговування з урахуванням вмісту етилових ефірів рослинних олій в дизельному паливі.

РОЗДІЛ 1. МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ТЕРМІНАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ

1.1 Аналіз технологічних процесів термінальних систем доставки вантажів

Технологія перевізного процесу є важливою ланкою в організації перевезень вантажів у прямому й змішаному сполученнях. Складові технології перевезень активно впливають на вибір виду сполучення й швидкість доставки вантажів. Взаємодія різних видів транспорту при перевезеннях вантажів є складним процесом у плані організації, рівень якого визначається узгодженням їхніх технологій. Тому розробка типових технологічних рішень для організації транспортного процесу є завданням першорядної важливості, рішення якого дозволить підвищити економічну ефективність перевезень вантажів у масштабах району, міста, регіону й держави.

Постійний розвиток 3-PL, 4-PL та 5-PL провайдерів потребує відповідного постійного розвитку технологій виконання складських робіт та обробки вантажопотоків. Ринок транспортно-логістичних послуг України поступово переймає досвід зарубіжних логістичних провайдерів, отже необхідно забезпечити високий рівень організації усіх структур, що приймають участь у технології просування матеріальних потоків.

Таким чином, розширення попиту на перевезення всіма видами транспорту на світових ринках супроводжується новими, більше високими вимогами до якості транспортних послуг. У результаті названих обставин виникла необхідність у створенні ефективної системи, що забезпечує взаємозв'язок видів транспорту, в якості якої виступає термінальна система.

Термінальний комплекс, де здійснюється взаємодія одного (автомобільного) або декількох видів транспорту – це складна система, що складається із взаємопов'язаних підсистем, до яких входять шість основних ресурсних складових: простір, час, матеріали, енергія, праця (трудові ресурси), фінанси, що об'єднані між собою матеріальним потоком, інформаційною системою та документообігом і функціонують задля забезпечення сконцентрованої та цілеспрямованої діяльності у сфері задоволення потреб виробничої сфери в ефективному просуванні матеріальних ресурсів [1].

Сучасний вантажний термінал є підприємством, що здійснює різноманітну діяльність, включаючи продаж такої послуги, як перевезення, обробку й зберігання вантажів, надання безлічі додаткових послуг, у тому числі транспортування вантажу.

Термінали передбачають спрощення й здешевлення складських операцій за рахунок ефективного використання складських площ, обладнання та робочої сили. Успішне використання усіх складських операцій потребує не тільки висо-

кої організації складського господарства, а й раціонального налагодження технологічного процесу [1, 2].

Характерною тенденцією останнього часу діяльності та розвитку терміналів є уніфікація технологічних процесів перевантажувальних і сортувальних робіт з урахуванням розвитку логістичних систем.

Питанням організації технологічних процесів транспортно-складських комплексів присвятили свої роботи вчені: Бабушкін Г.Ф., Балалаєв А.С., Бутько Т.В., Гаджинський А.М., Губенко В.К., Зайцев Е.І., Котенко А.М., Ковалев В.А., Курганов В.М., Левковець П. Р., Лукінський В.С., Міроненко В.К., Міротін Л.Б., Нечаєв Г.І., Николайчук В.Є., Никифоров В.В., Бойко Н.І, Чередниченко С.П., Бенсон Д., Уайтхед Дж. та інші.

В роботі [3] зазначено, що:

- термінальні технології та технічна база, що використовуються при обслуговуванні сучасних міжнародних транспортних потоків потребують кардинальних змін;
- необхідний комплексний контроль над перевезеннями, що заснований на широкому застосуванні сучасних електронних, комунікаційних, інформаційних технологій.

Для підвищення ефективності організації та управління транспортно-складськими комплексами в роботі [4] автор запропонував модель логістичної системи транспортно-складського комплексу.

В [5] запропоновано підходи для підвищення ефективності обслуговування вантажовласників на терміналі шляхом прискореної переробки тарно-штучних вантажів.

Транспортна стратегія України спрямована на створення в Україні національної системи термінальних перевезень, яка забезпечує на її території швидке просування від відправників одержувачам вантажів, включаючи експортно-імпортні, та орієнтована на розвиток і модернізацію транспортної інфраструктури, систем керування, інформатизації, удосконалення рухомого складу, швидкісного руху, безпеки [11].

Більшість робіт охоплює питання організації складської діяльності та стандартизації технологічних процесів на складських комплексах, розглядає класифікацію складського устаткування й засобів механізації, проте не висвітлює методів визначення оптимальної їх кількості в складських структурах, доцільність їх використання при організації складських операцій [12, 13]. Запропоновані в [14] організаційно-технічні та технологічні напрямки розвитку складських комплексів не в повній мірі враховують вимоги сьогодення щодо функціонування складних систем.

У цей час розглядаються питання підвищення ефективності вантажних автомобільних перевезень на основі синхронізації різних видів потоків у системі міжнародної доставки вантажів. В [15] доведено, що тривалість інформаційних і фінансових потоків наближається до тривалості потоку товару й руху транспортних засобів, тому необхідно прикладати однакові зусилля до зменшення тривалості всіх потоків і організації їхнього погодженого руху. Авторами від-

значено необхідність організації інформаційного потоку [16], однак не приділено уваги оптимізації технологічних процесів термінального комплексу в умовах економії ресурсів різних видів.

Між тим питання комплексного дослідження такого складного техніко-економічного об'єкта як вантажний термінал, де здійснюється взаємодія одного (автомобільного) або декількох видів транспорту, зміна транспортної одиниці для подальшого транспортування вантажу з урахуванням міжнародних аспектів та принципів логістики, і, зокрема, шляхи вибору стратегії його розвитку та питання удосконалення технології функціонування не знайшли до цього часу відповідного висвітлення у наукових роботах.

Сутність термінальної технології полягає в розмежуванні процесу доставки вантажу на три взаємозалежних підсистеми [2]:

- 1) підвіз - розвіз дрібнопартійних вантажів між клієнтами й вантажними терміналами;
- 2) формування (розформування) великотоннажних відправлень на терміналах;
- 3) міжтермінальні перевезення вантажів автопоїздами великої вантажопідйомності.

Розмежування термінальної системи на технологічні підсистеми дозволяє вести аналіз щодо впливу часу виконання технологічних операцій по кожній підсистемі на сумарний час доставки вантажу до місця призначення. Подібні дослідження сприяють розкриттю недоліків в організації процесів кожної технологічної підсистеми. Такий диференційований підхід дозволяє вчасно вживати заходи щодо усунення технологічних недоліків.

У цьому аспекті термінальна система визначає форми організації й управління перевезеннями, розміри й структуру парку рухомого складу по видах транспорту, диктує технічні вимоги до рухомого складу. Однак важливою умовою чіткої роботи всієї системи є централізоване управління, що дозволяє синхронізувати функціонування підвозу-розвозу та самих терміналів з лінійними перевезеннями.

Основні напрямки підвищення ефективності функціонування термінальних систем відображені на рис. 1.1.

Технологічний цикл вантажного термінала складається з наступних технологічних процесів: імпорт, експорт і транзит.

Імпорт включає вивантаження вантажу, розміщення вантажу на складі з наступною видачею клієнтові.

Експорт включає продаж перевезення відправникові вантажу, приймання вантажу на склад, доставку його зі складу і його завантаження.

Транзит є сукупністю перших двох процесів, найчастіше з додаванням проміжних операцій.

У зв'язку з зростанням міжнародних автомобільних перевезень вантажів актуальності набуває підвищення ефективності виконання зовнішньоторговельних операцій.

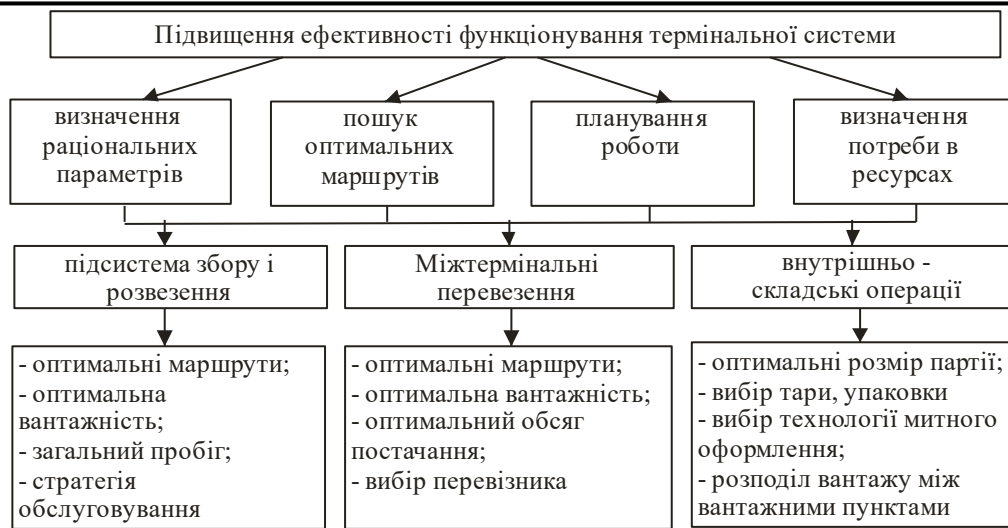


Рис. 1.1. Структурно-логічна схема функціонування термінальної системи

Особливого рішення вимагає проблема обслуговування перевезеннями експортно-імпорتنих вантажів споживачів, які знаходяться в середніх містах з невеликими обсягами перевезень, а також в малих містах. Підвищити ефективність міжнародних перевезень вантажів можна за рахунок:

- використання більш раціонального типу рухомого складу;
- вибору найкоротшого маршруту прямування;
- скорочення витрат на паливо шляхом визначення оптимальних місць заправок;
- вибору варіанту доставки вантажу декількома видами транспорту;
- шляхом раціоналізації технології митного оформлення вантажів.

Основні технологічні процеси супроводжуються низкою допоміжних, таких як:

- складання розкладу й відстеження графіка виконання всіх етапів технологічного циклу;
- відстеження стану й підготовка тари;
- надання різноманітних послуг клієнтам, нарахування оплати й відстеження платежів;
- підтримка функціонування розгалуженого складського господарства;
- виявлення несправностей при перевезеннях, у тому числі розшук вантажу й ідентифікація вантажу без маркування;
- здійснення митного контролю складів тимчасового зберігання.

Настільки багатофункціональна діяльність неможлива без застосування сучасних інформаційних технологій і автоматизованих систем. Використання таких систем дозволяє зменшити терміни й підвищити якість обробки вантажів. Це досягається завдяки більш повному контролю виконання технологічного циклу й зменшенню витрат і порушень при обробці вантажу.

Зі зменшенням витрат пов'язані наступні фактори:

- виключення помилок при розрахунку сум за послуги;
- повний контроль оплати при видачі вантажу;

- своєчасне повідомлення клієнтів;
- своєчасне виявлення залежаних і відмовних вантажів;
- повний облік зроблених знижок.

Зі збільшенням доходів пов'язані фактори:

- збільшення вантажообігу за рахунок зменшення часу обробки вантажів;
- залучення нових клієнтів і перевізників за рахунок поліпшення якості обслуговування;
- поліпшення якості прийнятих рішень за рахунок повної й оперативної інформації.

Робота на терміналі пов'язана з відносно постійною номенклатурою вантажу, який постачають з визначеною періодичністю і невеликим терміном збереження, що і дає змогу автоматизувати обробку вантажу або більше механізувати виконувани операції.

Системи подібного роду будуються на основі єдиної інтегрованої бази даних і охоплюють весь технологічний цикл термінала. Вони дозволяють проводити облік проходження вантажу, тари й документів по всіх етапах технологічного циклу, управляти складами й здійснювати автоматизований обмін інформацією із зовнішніми інформаційними системами контрагентів.

Створення терміналів можливе як на базі існуючих вантажних залізничних станцій, портів, аеропортів, які мають значний резерв пропускної та перероблювальної спроможності, так і шляхом спорудження нових комплексів. При цьому одним із шляхів збільшення пропускної й перероблювальної спроможності терміналів, у тому числі тих, що споруджуються на базі портів, аеропортів, залізничних станцій, є вдосконалення технології організації їхньої роботи й вибір раціональних параметрів їхнього функціонування. Однак в будь-якому випадку необхідне врахування сучасних вимог щодо доставки вантажів, передбачення функціонування відповідних служб (у випадку міжнародних перевезень) та взаємоузгодженої роботи окремих підсистем.

В якості критерію ефективності функціонування термінальної системи доставки вантажів запропонована економічна складова синергетичного ефекту системи.

Математична постановка задачі формування ресурсозберігаючих технологій доставки вантажів при термінальній системі:

$$\Psi = f(F_{\text{ВВ}i}, F_{\text{АТП}i}, F_{\text{Т}i}, F_{\text{МП}i}) \rightarrow \max, \quad (1.1)$$

$$\begin{cases} F_{\text{ВВ}i} = f(C_{\text{ВВ}i1}, C_{\text{ВВ}i2}, C_{\text{ВВ}i3}, \dots, C_{\text{ВВ}ij}), \\ F_{\text{АТП}i} = f(C_{\text{АТП}i1}, C_{\text{АТП}i2}, C_{\text{АТП}i3}, \dots, C_{\text{АТП}ij}), \\ F_{\text{Т}i} = f(C_{\text{Т}i1}, C_{\text{Т}i2}, C_{\text{Т}i3}, \dots, C_{\text{Т}ij}), \\ F_{\text{МП}i} = f(C_{\text{МП}i1}, C_{\text{МП}i2}, C_{\text{МП}i3}, \dots, C_{\text{МП}ij}). \end{cases}, \quad (1.2)$$

Система обмежень по ресурсах різного виду:

$$R_h = f(N_{ih}, B_{ih}, \{U\}) \geq R_{h0}, \quad (1.3)$$

$$C_\Sigma = f(R_h, \{P\}, \{U\}, \{C\}) \leq C_0, \quad (1.4)$$

де Ψ – економічна складова синергетичного ефекту функціонування ТСДВ;
 $F_{ВВi}, F_{АТПi}, F_{Ti}, F_{МПi}$ – ефект відповідно вантажовласника, АТП, терміналу і магістрального перевізника від застосування i -ої технології доставки;

$C_{ВВij}, C_{АТПij}, C_{Tij}, C_{МПij}$ – витрати відповідно вантажовласника, АТП, терміналу та магістрального перевізника в результаті застосування i -ої технології доставки при виконанні j -ої операції;

R_h, R_{h0} – раціональна та мінімально необхідна кількість h -го виду ресурсу;

N_{ih} – кількісні показники h -го виду ресурсу при i -й технології ТСДВ;

B_{ih} – якісні показники h -го виду ресурсу при i -й технології доставки;

U – множина характеристик вантажопотоку;

C_Σ, C_0 – сумарні витрат в підсистемах доставки при раціональній та мінімальній кількості виробничих ресурсів відповідно, грн./доб;

P – множина технологічних параметрів;

C – множина вартісних показників.

Змінними, що оптимізуються, виступають технологічні параметри процесу доставки вантажу. За допомогою впровадження оптимальних параметрів може бути узгоджена робота всіх суб'єктів ТСДВ, що забезпечить безперебійну роботу всієї системи, обумовить дотримання інтервалу доставки з метою реалізації вимоги «точно в строк» та дозволить створити єдиний технологічний процес функціонування термінальної системи.

1.2 Сучасні проблеми функціонування вантажних термінальних комплексів

Питанням розробки підходів і моделей, спрямованих на впровадження ресурсозберігаючих технологій у транспортній галузі в цілому й окремих її підрозділах, приділили увагу вчені: Альошинський Є.С., Бобровський В.І., Бутько Т.В., Губенко В.К., Данько М.І., Ломотько Д.В., Міроненко В.К., Негрей В.Я., Хабутдінов Р.А. й інші. Дослідниками зроблений істотний внесок у розвиток транспортної галузі й відзначено, що головним напрямком підвищення ефективності функціонування транспортної системи в умовах паливно-енергетичного дефіциту є розробка ресурсозберігаючих технологій. Однак процесу функціонування термінальних систем доставки не приділено достатньої уваги, що обумовлює актуальність таких досліджень.

У сучасних умовах ринку транспортних послуг фахівцями і вченими приділяється істотна увага розробці моделей при рішенні завдань розвитку регіональних транспортних систем [17, 18]. В останні роки значно зросли масштаби та сфери застосування евристичних методів для вирішення різних задач в області проектування, прогнозування та управління в умовах застосування інтерактивних систем [19]. Однак існуючі моделі спрямовані на вирішення часткових задач та в більшості випадків характеризуються відсутністю макросистемного підходу.

Таким чином, в багатьох працях не вирішується проблема ресурсозбереження, зокрема при функціонуванні термінальних комплексів, а також не достатньо розглянуто питання формування інтегрованих систем управління з використанням інформаційних технологій та сучасних технічних можливостей.

В результаті проведеного аналізу технологічних процесів термінальних систем визначено наступні особливості та проблеми, що перешкоджають ефективному функціонуванню термінальних систем:

- автомобілі на термінал під навантаження приходять в випадковому режимі часу, в результаті чого виникають черги автомобілів, що очікують навантаження;
- не виконується інтервал доставки вантажу одержувачу, що суперечить вимозі доставки «точно в термін»;
- вантаж споживачу надходить раніше обумовленого строку або з запізненням, що виникає необхідність зберігати додатковий рівень запасів;
- не враховуються інтереси вантажовласників при виборі стратегії обслуговування вантажовласників при митному оформленні вантажу та при організації технології роботи автомобілів на розвізно-збірних маршрутах;
- при плануванні роботи термінальних комплексів не враховується випадковість окремих технологічних параметрів, що обумовлено умовами невизначеності та ризику;
- при організації роботи термінальних комплексів не береться до уваги поточний ринковий стан для прийняття управлінських рішень на мікрорівнях щодо наявності сильного впливу факторів зовнішнього середовища, що підтверджує необхідність врахування ризиків при прийнятті технологічних рішень;
- не аналізуються досить ретельно витрати по окремих технологічних лініях, підсистемах та по всій термінальній системі загалом;
- не узгоджена робота окремих технологічних ліній та підсистем термінального комплексу, що призводить до міжопераційних простоїв транспортних засобів, обладнання, персоналу, а також обумовлює збільшення загального часу обробки вантажопотоку та погіршення якості обслуговування вантажовласників;
- наявність великих обсягів інформації, які виникають у процесі виконання перевезень та вимагають термінової обробки, що потребує застосування автоматизованих систем як інструмента вирішення системних та часткових за-

дач транспортного ринку на основі використання принципів логістики та маркетингу;

- не в повній мірі враховується велика кількість часових і технологічних обмежень;

- спостерігаються значні коливання попиту на послуги терміналів, що обумовлює необхідність розгляду окремих процесів термінальної системи для умов невизначеності;

- наявність великої кількості вантажоодержувачів і відправників вантажу на терміналах, що потребує розробки заходів підвищення ефективності та якості їх обслуговування.

Можна виділити окремі групи ресурсів, що необхідні для забезпечення функціонування термінальних комплексів:

- простір (складські площі: ділянка розвантаження, ділянка приймання, ділянка для приймальної експедиції, ділянка зберігання, ділянка комплектування, ділянка для відправної експедиції, ділянка навантаження, площі для розміщення персоналу, тощо);

- матеріальні ресурси (складське обладнання, транспортні засоби, комп'ютерна техніка, устаткування для: приймання вантажу, переміщення вантажу, маркування вантажу, формування транспортних пакетів, зв'язку);

- трудові ресурси (працівники, закріплені за складськими ділянками, спеціалісти з організаційних питань, інженерно-технічні робітники, управлінський персонал);

- інформаційні ресурси (документообіг, програмне забезпечення, засоби ідентифікації, тощо)

- енергетичні ресурси (енергетичні потреби термінальних комплексів: безперебійне енергетичне забезпечення підрозділів терміналу і всіх робочих місць енергетичними ресурсами; електроенергія для роботи електроприладів, освітлення, засобів зв'язку);

- часові ресурси (час зберігання партії вантажу, час обробки прийнятого вантажу, час формування партії відправки, час маркування партії вантажу, час оформлення документації на відправлення вантажу, тощо);

- фінансові ресурси (на ремонт і оновлення устаткування, оплату праці, оплату різноманітних послуг, відшкодування збитків, обслуговування технічного устаткування, ремонт приміщень, тощо).

Визначено, що має місце ряд проблем, що стосуються використання ресурсів термінальних комплексів:

- нераціональний вибір площі складського приміщення, нераціональне використання складських приміщень;

- низький коефіцієнт використання робочого часу, наявність простоїв навантажувально-розвантажувальних механізмів (НРМ);

- нераціональний вибір кількості засобів механізації, низький рівень механізації, відсутність врахування коливання попиту на підйомно-транспортне обладнання при плануванні кількості одиниць НРМ;

- нераціональний вибір кількості працівників, при розрахунку необхідної

кількості спеціалістів не враховуються коливання попиту на застосування певних технологій з безпосередньою участю працівників;

– відсутність або мала частка автоматизованих процесів обробки вантажопотоку та інформаційних потоків, низький рівень автоматизації документообігу; низька швидкість обробки інформації та документів, відсутність комплексного програмного забезпечення; відсутність сучасних засобів ідентифікації;

– неузгоджена взаємодія вантажовідправників та вантажоодержувачів з термінальними комплексами, нераціональна технологія обробки матеріального потоку в умовах нерівномірного попиту на переробку партій вантажу протягом зміни.

Отже, виявлено, що переміщення матеріального потоку (МП) через транспортно–складський комплекс пов’язано з множиною проблем, класифікація яких наведена на рис. 1.2.

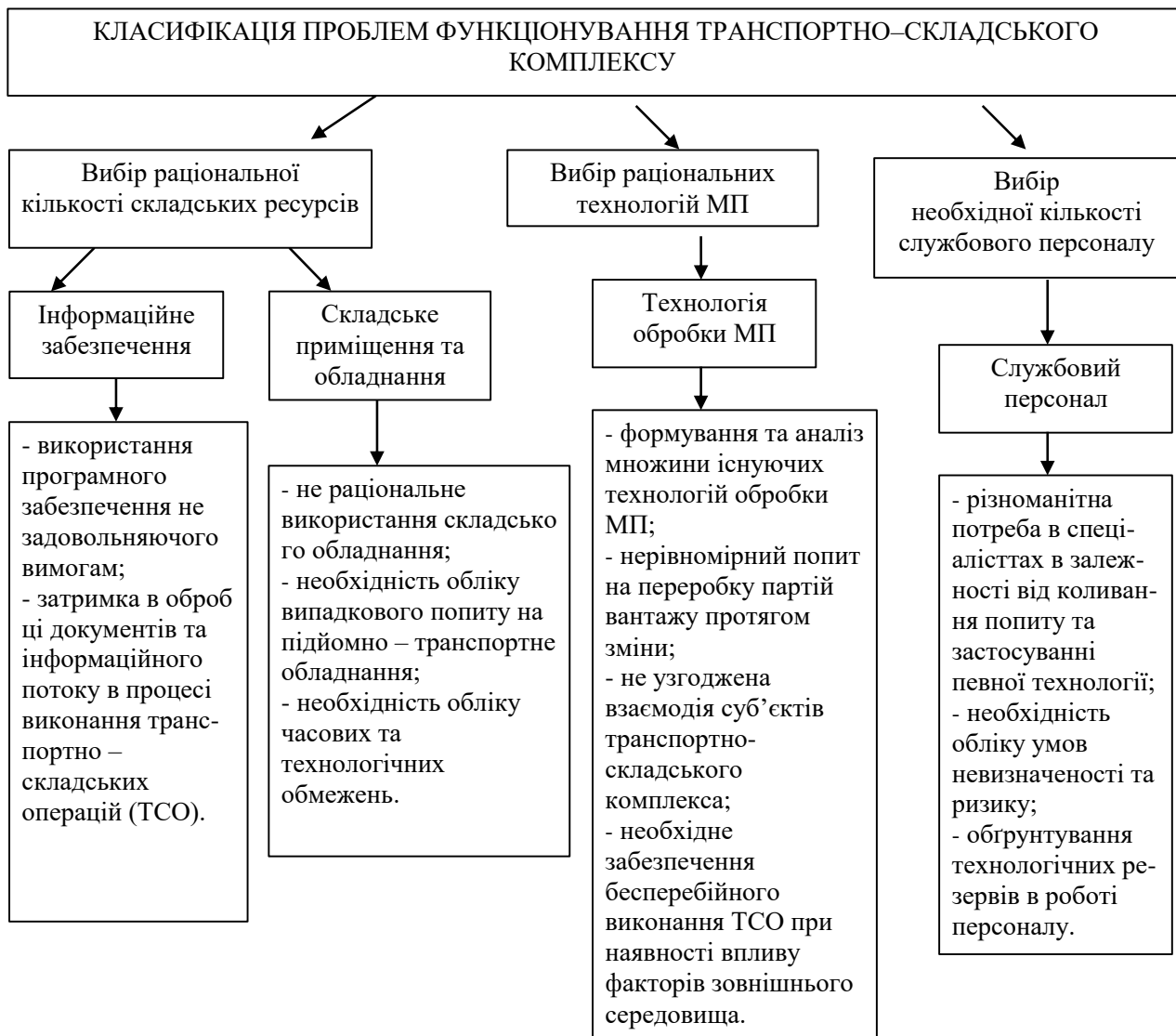


Рис. 1.2 – Класифікація проблем функціонування транспортно-складського комплексу

Визначені проблеми (рис. 1.2), які пов'язані з функціонуванням транспортно-складського комплексу, чинять значний вплив на ефективність обслуговування та переробки матеріального потоку, тому потребують вирішення.

Усунення недоліків, що притаманні процесу вантажопереробки на термінальних комплексах України, шляхом моделювання та оптимізації основних складових процесу з урахуванням впровадження передових форм взаємодії різних видів транспорту у межах транспортного термінала, може привести до значної економії фінансових і матеріальних ресурсів системи.

Отже, аналіз технологічних процесів термінальних систем свідчить, що рівень організації роботи термінальних комплексів не забезпечує продуктивного використання рухомого складу та інших ресурсів (мають місце суттєві витрати, надмірні простой рухомого складу під розвантаженням і навантаженням, нераціонально використовуються наявні виробничі ресурси), спостерігається відсутність або мала частка автоматизованих процесів обробки вантажопотоку та інформаційних потоків. Крім того, має місце невисока якість обслуговування, нехтування вимогами клієнтів і, навіть, відмови клієнтам у обслуговуванні.

В результаті аналізу технології функціонування транспортно-складських комплексів, виявлено особливості та фактори, що впливають на їх ефективність, визначено проблеми, що перешкоджають розвитку термінальних систем та які потребують раціонального та оперативного вирішення.

1.3 Представлення процесу функціонування термінального комплексу в межах теорії мережевого планування

Мережеве планування - це одна з форм графічного відображення змісту робіт і тривалості виконання стратегічних планів і довгострокових проектів різних видів діяльності підприємства. Мережеві методи планування знаходять широке застосування при розробці перспективних планів та моделей створення складних виробничих систем.

Розглянемо застосування мережевого планування на прикладі технологічного процесу функціонування термінального комплексу. В залежності від потреб споживача, від обсягів вантажу на вході та на виході, від типу вантажу та умов перевезень вантажу термінальний комплекс буде переробляти вантаж за відповідними до цих умов технологіями [21]. Сформовано мережевий граф функціонування термінального комплексу [22], де події й цілі зображені кружками, у яких зазначений їхній порядковий номер, а роботи — стрілками, що ведуть від одного кружка до іншого (рис. 1.3). Стрілки несуть на собі інформацію про час $t_{i,j}$, необхідний для виконання роботи.

При аналізі процесу функціонування термінального комплексу необхідний пошук критичного шляху, керуючись розробленим графом (рис. 1.3). Часові характеристики процесу переробки тарно-штучних вантажів визначено згідно [23]. В результаті проведених досліджень [22] визначено резерви часу на виконання кожної операції:

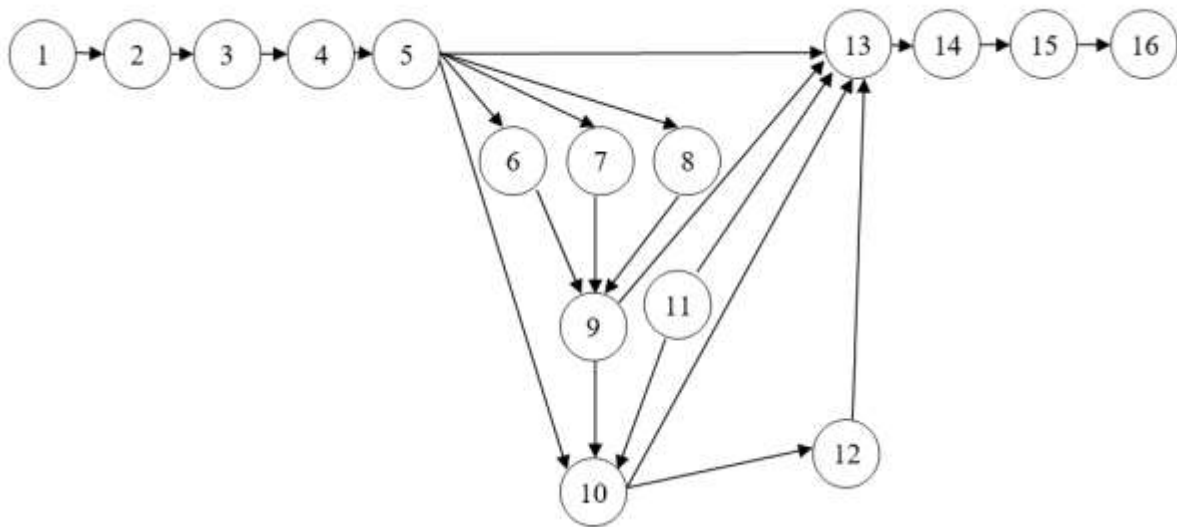
$$R = T_{\text{пп}} - T_{\text{рп}}, \quad (1.5)$$

$$T_{\text{рп}} = \max\{T_{\text{рп}}(t_{i-j})\}, \quad (1.6)$$

$$T_{\text{пп}} = \min\{T_{\text{пп}}(t_{i-j})\}, \quad (1.7)$$

де R – резерв часу, год.;

$T_{\text{рп}}, T_{\text{пп}}$ – час раннього та пізнього початку операцій відповідно, год.



1 – прибуття автомобіля; 2 – огляд транспортного засобу та первинна перевірка вантажу на цілісність; 3 – розвантаження; 4 – оформлення документів; 5 – комплектація; 6 – упакування; 7 – маркування; 8 – укрупнення; 9 – сортування; 10 – зберігання; 11 – митне оформлення; 12 – формування партії відправки; 13 – експедиція видачі; 14 – оформлення документів; 15 – відвантаження; 16 – зняття вантажу з обліку

Рис. 1.3. Мережевий граф функціонування термінального комплексу

Для певних умов функціонування термінального комплексу визначено, що загальна тривалість виконання всіх робіт складає 25,42 год., а такі роботи як t_{5-6} , t_{5-7} , t_{6-9} , t_{7-9} , t_{9-11} , t_{11-10} , t_{5-13} , t_{5-10} , t_{9-13} , t_{10-13} , t_{11-13} мають відповідні резерви, що дозволяє зміщати початок виконання цих робіт на величину резерву. Визначення резервів часу дає змогу визначити, які роботи можуть бути завершені раніше, або закінчені пізніше, або розтягнуті в часі.

Отже, критичний шлях проходить по роботах, де резерви часу дорівнюють 0, а саме 1-2-3-4-5-8-9-10-12-13-14-15-16 (рис. 1.4).

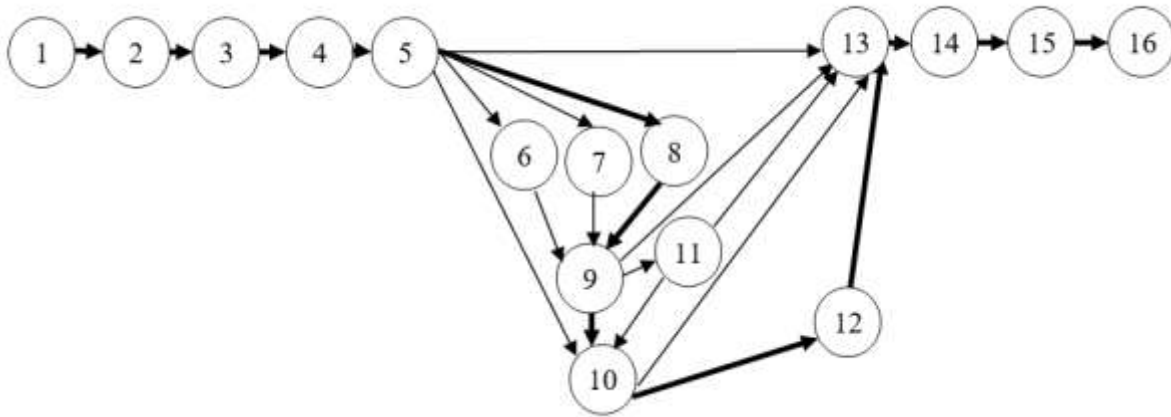


Рис. 1.4. Критичний шлях мережевого графу

Скорочення часу виконання критичних робіт можна досягти за допомогою допоміжних ресурсів. Таким чином вартість цих робіт зростає, але загальний час переробки вантажу зменшиться, що може призвести до зниження загальних витрат на функціонування терміналу.

Отже, для прискореної переробки й доставки вантажів необхідне залучення додаткових бригад на термінальному комплексі, однак не в цілому для всіх технологічних зон, а винятково для робіт критичного шляху, що задовольняє вимогам ресурсозбереження.

1.4 Модель оптимізації виробничих ресурсів вантажного термінального комплексу

Сучасність (технічний розвиток, конкуренція, ринкові відносини) вимагає нових стандартів організації транспортного обслуговування з урахуванням інтересів як виробників транспортних послуг, так і споживачів. Тобто, з одного боку, треба вирішувати логістичні задачі: оптимізувати транспортний процес, знаходячи внутрішні резерви і зменшуючи загальні затрати. З іншого – створити умови щодо задоволення вимог споживачів. Слід також враховувати, що на практиці для кожного окремого середовища властиві свої унікальні умови, які дають відбиття на характер функціонування всієї системи. З огляду на це пропонується поєднання наукового підходу та практичної актуальності.

Існуючий спосіб організації та управління транспортно-складськими комплексами [28] передбачає застосування моделі логістичної системи транспортно-складського комплексу. Недоліками є те, що цей спосіб не передбачає економії ресурсів різних типів, а технологічні процеси, що розглядаються, не в повній мірі характеризують роботу термінального комплексу.

Автором в [29] запропоновано спосіб організації обслуговування вантажовласників на терміналі шляхом прискореної переробки тарно-штучних вантажів, де варіант технології переробки вантажів на терміналі обирається виходячи з вимог та фінансових можливостей споживачів. Перевагою такого підходу є врахування інтересів вантажовласників при формуванні технології функціонування терміналу. Однак при оптимізації вважається, що час виконання технологічних операцій з вантажами на терміналі нормується, а не визначається з огляду на економію його ресурсів при взаємоузгодженні умов обслуговування з вантажовласниками.

Серед пріоритетних напрямків удосконалення процесу обробки дрібнопартионних вантажів на терміналах більшість дослідників виділяють, перш за все, наступні [1, 30]:

- розробка загальної методології та моделей функціонування середніх систем, без яких немає закінченої теорії процесу систем нижнього рівня;
- формування раціональних технологій функціонування транспортно-складських систем з урахуванням ресурсозбереження;
- визначення раціональної кількості ресурсів при функціонуванні систем різних рівнів на основі використання принципів логістики та маркетингу.

Термінальний комплекс є складною системою, яка функціонує в умовах невизначеності та ризику. В умовах ресурсозбереження необхідне прийняття таких управлінських рішень, які б забезпечували найбільшу надійність та якість транспортного обслуговування при найменших витратах та ймовірності ризиків системи.

Основними критеріями вибору кількості ресурсів є продуктивність певної одиниці ресурсу та обсяг вантажу, що переробляється на термінальному комплексі, при цьому необхідно врахувати ряд факторів. При дуже малих обсягах прибуття вантажу є мінімум технічних засобів та трудових ресурсів, без яких робота термінального комплексу неможлива.

Вхідний вантажопотік є випадковою величиною. Так само і технологія, за якою переробляється вантаж, не може бути точно прогнозованою наперед. Лише постійні замовники, які працюють за довгостроковими контрактами із термінальним комплексом, можуть замовляти обробку вантажу за тією ж самою технологією, але на це так само впливає ряд факторів: доступні транспортні засоби для перевезення, стан вантажу, в якому він прибув від виробника, тарифи на послуги та інші.

В [27] запропоновано критерій ефективності функціонування вантажного термінального комплексу, орієнтований на логістичні потреби системи та заснований на зниженні сумарних витрат на обробку вантажу. Оскільки вхідний вантажопотік різнорідний і носить випадковий характер, то необхідний пошук раціональної кількості транспортно-складських та трудових ресурсів, орієнтованої на умови невизначеності.

Пропонується математична модель оптимізації трудових і транспортно-складських ресурсів вантажного терміналу, що дозволить зменшити сумарні витрати на функціонування терміналу:

$$\begin{aligned}
 C_{wQ}(N_j^{\text{HPM}}, N_i^{\text{чол}}, N_i^{\text{M}}) = & \sum_{i=1}^k C_{3\text{п}i} N_i^{\text{чол}} + \sum_{j=1}^n (C_{\text{ам}j} + C_{\text{то}j} + C_{\text{ш}j} + C_{\text{нв}j}) N_j^{\text{HPM}} + \\
 & + \sum_{j=1}^n C_{\text{пал}j} t_{\text{роб}j} N_j^{\text{HPM}} + C_a \cdot \overline{t_{\text{чер}}} \cdot \overline{r} + C_{3\text{б}} t_{\text{пер}} + \\
 & + \sum_{g=1}^4 \left[\sum_{j=1}^n C_{\text{пр}j} (T_{\text{н}} - t_{\text{пер}}) \int_0^{\sum_{j=1}^n N_{g_j}^{\text{HPM}}} \left(\sum_{j=1}^n N_{g_j}^{\text{HPM}} - \frac{Q}{T_{\text{н}} q_{\text{н}} \mu_g} \right) P(Q) dQ + \right. \\
 & + \sum_{j=1}^n C_{\text{штр}j} W_j T_{\text{н}} \int_0^{\sum_{j=1}^n N_{g_j \text{max}}^{\text{HPM}}} \left(\frac{Q}{T_{\text{н}} q_{\text{н}} \mu_g} - \sum_{j=1}^n N_{g_j}^{\text{HPM}} \right) P(Q) dQ + \\
 & + \sum_{i=1}^k C_{3\text{п}i} (T_{\text{н}} - t_{\text{пер}}) \int_0^{\sum_{i=1}^k N_{g_i}^{\text{чол}}} \left(\sum_{i=1}^k N_{g_i}^{\text{чол}} - \frac{Q}{T_{\text{н}} q_{\text{н}} \mu_g} \right) P(Q) dQ + \\
 & \left. + \sum_{i=1}^k C_{\text{штр}i} W_i T_{\text{н}} \int_0^{\sum_{i=1}^k N_{g_i \text{max}}^{\text{чол}}} \left(\frac{Q}{T_{\text{н}} q_{\text{н}} \mu_g} - \sum_{i=1}^k N_{g_i}^{\text{чол}} \right) P(Q) dQ \right] + \\
 & + N_i^{\text{M}} C_{3\text{п}} + \frac{P(C)Q}{m} t_{\text{мо}} C_{3\text{б}} \rightarrow \min,
 \end{aligned} \tag{1.8}$$

де C_{wQ} – сумарні витрати на обробку вантажопотоку на терміналі, грн/доб.;

N_j^{HPM} – кількість НРМ j -го типу, од.;

$N_i^{\text{чол}}$ – кількість трудових ресурсів i -ої професії, чол.;

N_i^{M} – кількість митників, чол.;

μ_g – інтенсивності обслуговування в g -й фазі терміналу, т/год.;

$\overline{t_{\text{чер}}}$ – час очікування в черзі, год.;

\overline{r} – середня довжини черги автомобілів, од.;

Q – обсяг вантажопотоку, т/доб.;

$C_{3\text{п}i}$ – заробітна плата персоналу i -ої кваліфікації з нарахуваннями, грн/доб.;

$C_{ам}$ – амортизаційні відрахування на повне відновлення машин та змінного робочого обладнання, грн/доб.;

$C_{то}$ – вартість технічного обслуговування та поточного ремонту, грн/доб.;

$C_{шн}$ – вартість повного відновлення шин (за наявності), грн/доб.;

$C_{нв}$ – накладні витрати, грн/доб.;

$C_{пал}$ – витрати на енергоносії, паливо для НРМ, грн/год.;

$t_{роб j}$ – час роботи j -го НРМ, год./доб.;

C_a – вартість однієї години простою автомобіля, грн/год.;

$C_{зб}$ – вартість зберігання вантажу, грн/год.;

$C_{пр j}$ – вартість 1 год. непродуктивного простою j -го НРМ, грн/доб.;

$t_{пер}$ – час на повну переробку вантажу на термінальному комплексі, год.;

T_n – час роботи термінального комплексу, год./доб.;

q_n – середня вантажність автомобіля, що завозить вантаж, т;

W_i, W_j – продуктивність i -того та j -го типу ресурсу відповідно, т/год.;

$N_{g j max}^{НРМ}, N_{g i max}^{чол}$ – максимальна кількість j -го та i -го типу ресурсу в g -ій фазі терміналу, од.;

$P(Q)dQ$ – щільність ймовірності того, що обсяг вантажопотоку знаходиться в інтервалі $(Q; Q+dQ)$;

$C_{штр}$ – штрафи за кожну не обслужену тонну вантажу в результаті нестачі складських ресурсів, грн/т;

$C_{зп}$ – заробітна плата митника, грн/доб.;

$P(C)$ – ймовірність проходження вантажем Q_j митного контролю;

$C_{зб}$ – вартість знаходження вантажу в зоні митного оформлення, грн.;

m – розмір партії вантажу, т;

$t_{мо}$ – час митного огляду однієї партії вантажу, год.

При цьому слід врахувати обмеження часу робочої зміни та часу переробки вантажу на термінальному комплексі. Обмеження до цільової функції (1.8):

$$\begin{cases} t_{пер} \leq t_{дог}; \\ \sum_{j=1}^n N_{g j}^{НРМ} W_j = \mu_g \bar{q}_n; \\ T_n \sum_{j=1}^n N_j^{НРМ} W_j \geq Q; \end{cases} \quad (1.9)$$

де $t_{дог}$ – договірний час на переробку вантажу, год.

Запропонована математична модель оптимізації виробничих (трудових, транспортно-складських) ресурсів вантажного терміналу передбачає мінімізацію витрат, пов'язаних з обробкою вантажу на терміналі, та дозволяє здійснювати вибір ресурсозберігаючої технології вантажного терміналу при змінному

попиті на обробку вантажів з урахуванням наявних резервів і технічного оснащення терміналу та з урахуванням інтересів вантажовласників і перевізників.

При використанні запропонованої моделі вибору ресурсозберігаючої технології вантажного терміналу досягається підвищення ефективності використання виробничих ресурсів вантажного терміналу, що полягає в: скороченні непродуктивних простоїв персоналу і навантажувально-розвантажувальних механізмів, скороченні простою транспортних засобів під вантажними операціями, визначенні оптимальної кількості трудових та транспортно-складських ресурсів різних типів у зонах терміналу відповідно до обсягів вантажу на вході, скороченні часу просування вантажопотоку в ланцюзі постачання в результаті синхронізації логістичних потоків. Застосування запропонованої моделі дозволяє здійснювати оперативне планування та корегування існуючої технології при змінному попиті на обробку вантажів, зменшити час прийняття управлінських рішень при організації процесу обробки вантажів на терміналі та дозволяє підвищити якість обслуговування вантажовласників.

1.5 Вибір технології формування розвізних (збірних) маршрутів при організації перевезень вантажів дрібними партіями у міському сполученні

Розглянуто процес обслуговування вантажовласників при доставці вантажу дрібними партіями у міському сполученні. Сформовано структурно-логічну схему проблем, які необхідно вирішити з метою формування ресурсозберігаючої технології при перевезенні вантажів дрібними партіями у міському сполученні, а також вибору раціональної вантажності та моделі автомобілів для роботи на розвізних маршрутах (рис. 1.5).

На практиці для кожного окремого середовища властиві свої унікальні умови, які дають відбиття на характер функціонування всієї системи. Для вибору стратегії формування розвізних (збірних) маршрутів на автотранспортному підприємстві (або транспортному підрозділі) пропонується виділити наступні альтернативні технології обслуговування вантажовласників на розвізних маршрутах [32]:

- технологія формування маршрутів з мінімальними експлуатаційними витратами (розвезення за умов мінімального пробігу);
- технологія формування маршрутів з врахуванням нежорстких часових вимог споживачів (розвезення по періодам доби);
- технологія формування маршрутів з точним врахуванням терміну доставки (розвезення “точно в термін”).

Кожна з цих технологій має певні переваги і недоліки та може застосовуватися при відповідних ринкових умовах, що склалися на поточний період часу. Отже необхідно обґрунтувати прийняття рішення щодо вибору раціональної технології в умовах постійно мінливого попиту.

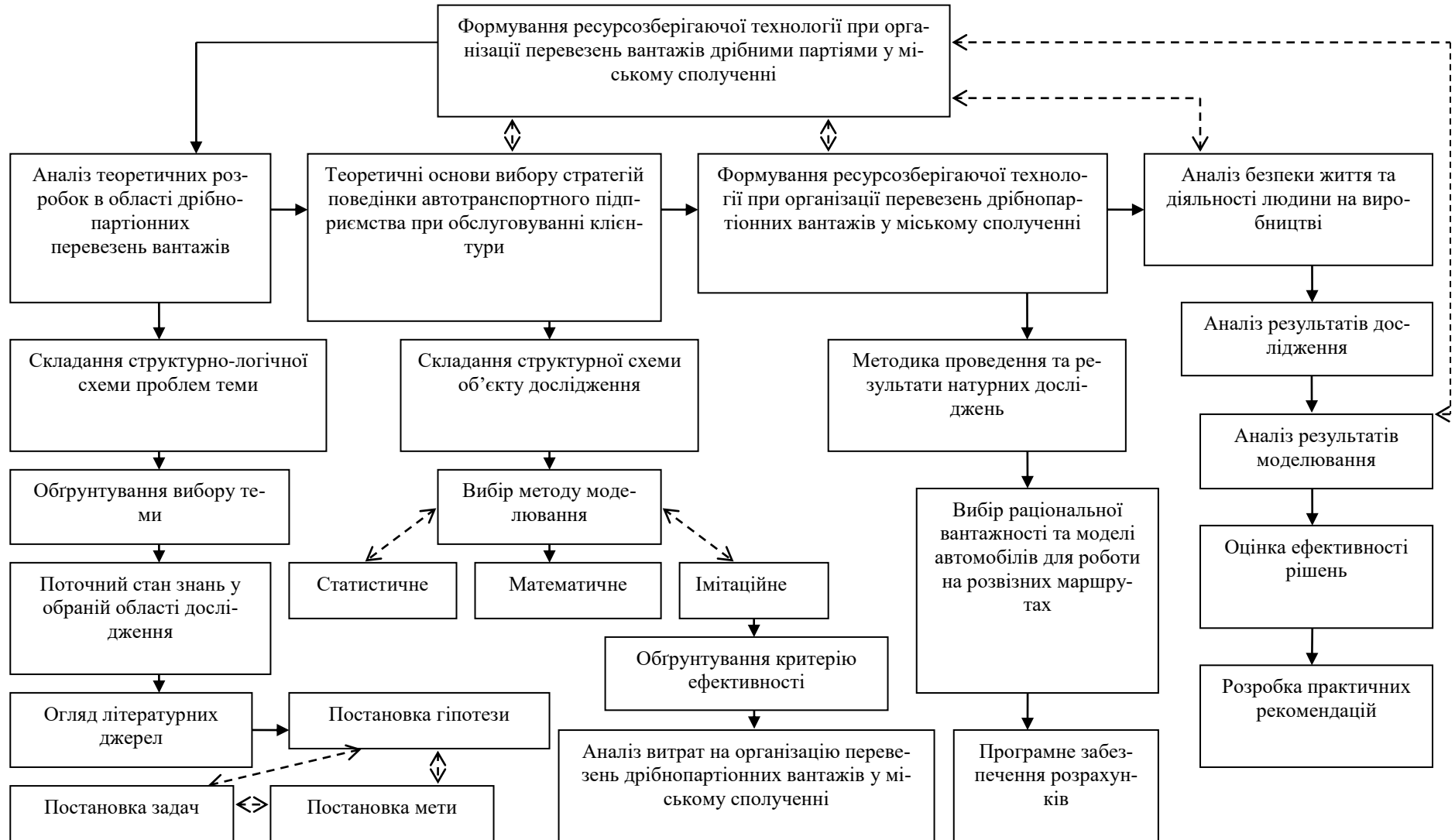


Рисунок 1.5 – Структурно-логічна схема процесу вибору ресурсозберігаючої технології при організації перевезень вантажів дрібними партіями у міському сполученні

Обробка замовлень споживачів передбачає визначення таких параметрів як: розмір партії вантажу, вимоги споживачів щодо часу завезення вантажу. Формування розвізних маршрутів виконується з урахуванням характеристик заявок, обраної вантажності автомобіля та характеризується загальною довжиною пробігу автомобілів на розвізних маршрутах за добу [33-36].

Для формування масиву статистичних даних щодо загального пробігу автомобілів на сформованих розвізних маршрутах обрано імітаційне моделювання, оскільки переважна кількість параметрів процесу розвезення вантажів дрібними партіями в міському сполученні є випадковими величинами. Цей метод моделювання дозволить більш точно врахувати характер внутрішніх процесів, розглянути стан системи в різних умовах.

Імітаційні експерименти проведено за допомогою відповідно розробленого програмного забезпечення «Формування раціональних розвізних (збірних) маршрутів», відмінною особливістю якого є формування раціональних розвізних (збірних) маршрутів при перевезенні вантажів дрібними партіями в міському сполученні для великої кількості замовників [32]. В полі програми випадково генерується розміщення споживачів, а також обсяги перевезень і час доставки вантажу споживачам (рис. 1.6). Вихідними даними є кількість споживачів, їх вимоги щодо кількості вантажу та часу завезення.

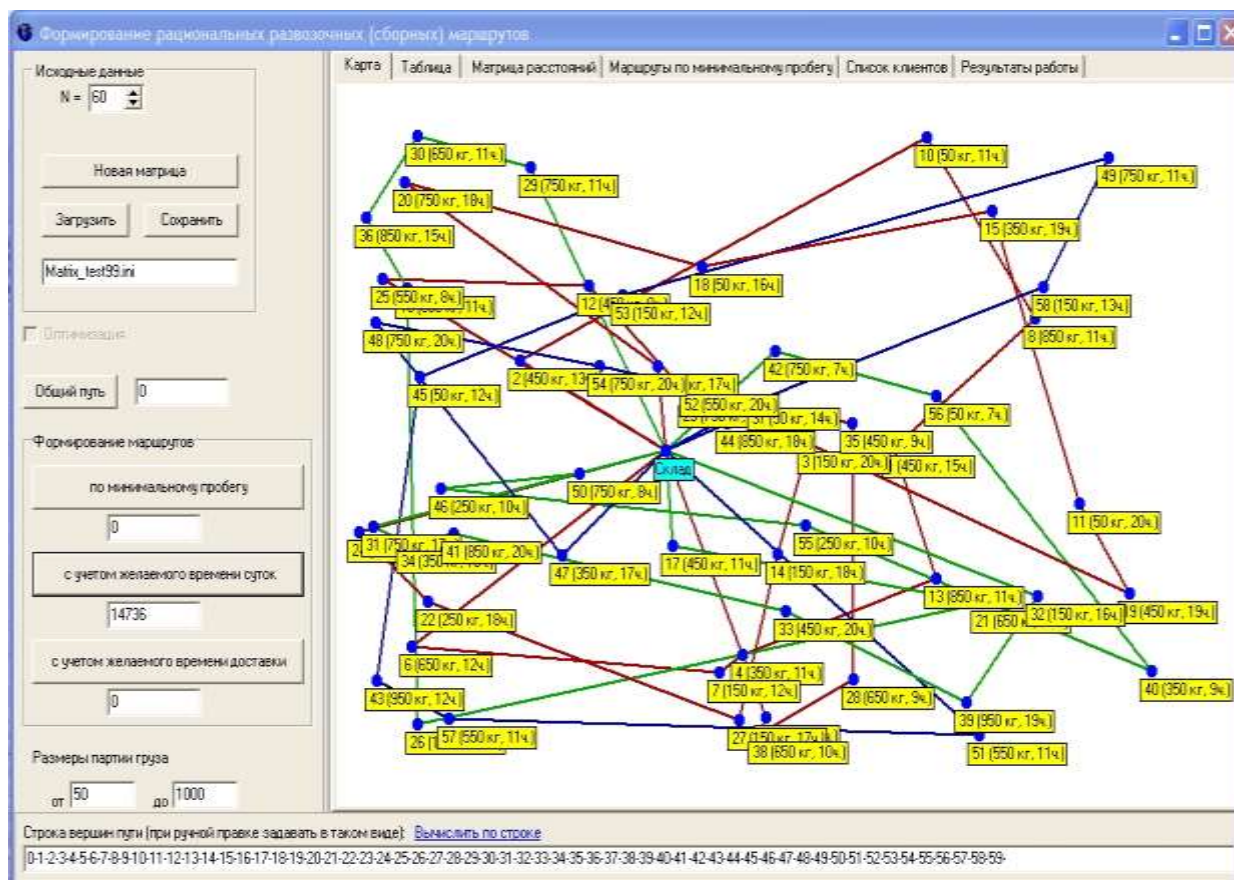


Рис. 1.6 – Вікно програми «Формування раціональних розвізних (збірних) маршрутів»

Результатом є сформовані маршрути та значення загального пробігу на маршрутах за добу.

Цільова функція даної оптимізаційної задачі:

$$S_{\text{сум}} = S_n + S_{\text{неотр}} \rightarrow \min \quad (1.10)$$

де $S_{\text{сум}}$ – питомі сумарні витрати на транспортне обслуговування вантажовласників в міському сполученні, грн./т;

S_n – питомі витрати на перевезення, грн./т;

$S_{\text{неотр}}$ – питомий неотриманий прибуток, грн./т.

В результаті математичного моделювання визначено, що для ситуації дуже малого попиту (до 30 споживачів) доцільна I стратегія (рис. 1.7), так як частка відмов відіграє невелику питому роль. Для середнього та підвищеного попиту (понад 30 споживачів) кращою є II стратегія. Це пов'язано зі спаданням ролі експлуатаційних витрат і зростанням впливу неотриманого прибутку. Для III стратегії характерні значні витрати, проте при середньому попиті, враховуючи соціальний ефект і жорстке конкурентне середовище вона є актуальною за відповідної тарифної політики.

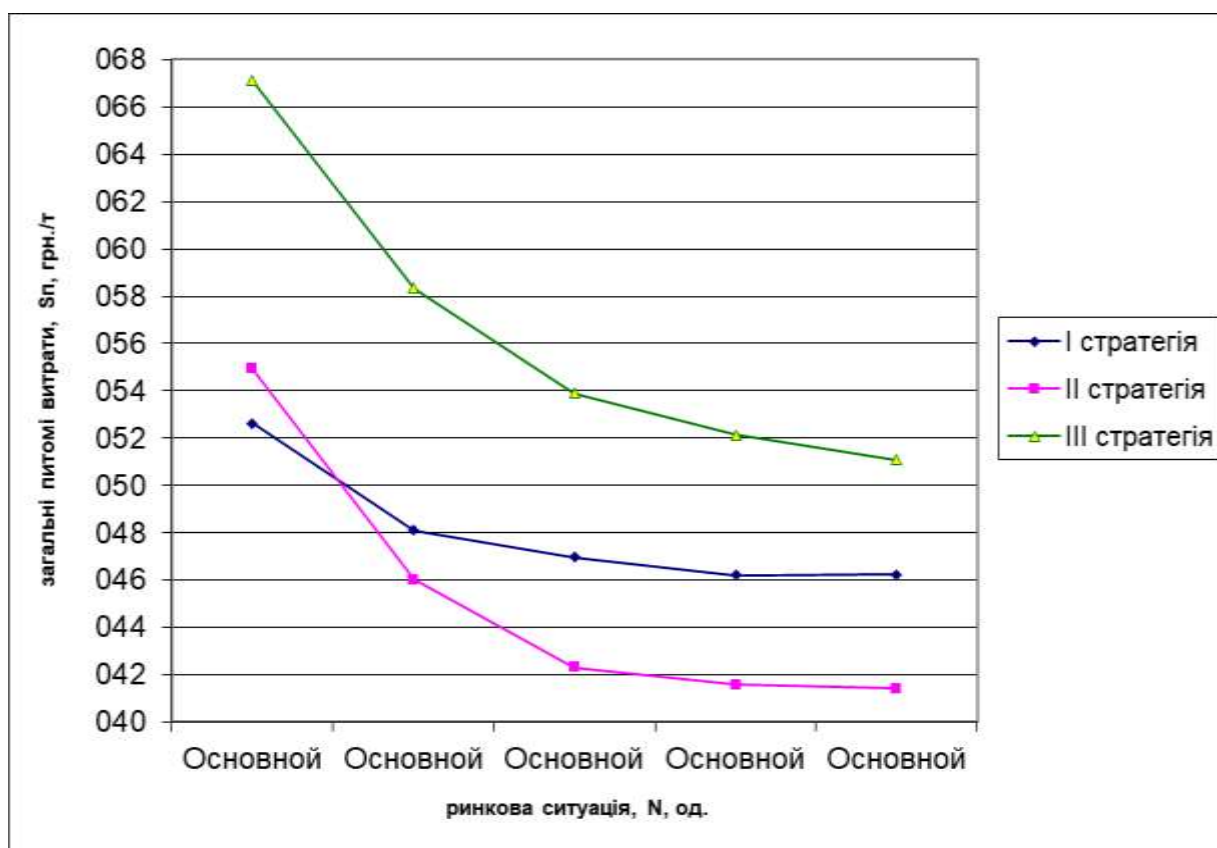


Рис. 1.7 – Графік зміни сумарних питомих витрат

Вибір раціональної стратегії формування розвізних маршрутів можна здійснити за допомогою теорії прийняття рішень в умовах невизначеності, що обумовлено наступними особливостями обслуговування вантажовласників в

міському сполученні: кількість одержувачів має тенденцію змінюватись практично щоденно, тобто обсяг перевезень та кількість пунктів завою заздалегідь невідомо. Отже необхідно вибрати стратегію обслуговування споживачів для можливості формування оперативного плану перевезень при обробці замовлень.

Пропонується для вибору стратегії обслуговування вантажовласників при формуванні розвізно-збірних маршрутів застосовувати методи прийняття рішення в умовах невизначеності.

Отже, множина стратегій формування розвізного (збірного) маршруту:

E_1 - мінімум транспортної роботи для АТП;

E_2 - розбиття клієнтів на групи за періодами доби;

E_3 - розбиття клієнтів за класами або пріоритетами обслуговування;

E_i - проміжні рішення;

E_m – технологія повного врахування вимог клієнтів за часом доставки.

Умови, які потребують розгляду такі:

H_1 - обслуговування мінімальної кількості клієнтів на полігоні радіусу R_1 ;

H_n - обслуговування максимальної кількості клієнтів на полігоні радіусу

R_n ;

H_j - проміжні умови.

Тоді матриця рішень V_{ij} має вигляд:

	H_1	...	H_j	H_n	
E_1	V_{11}	...	V_{1j}	V_{1n}	
E_2	V_{21}	...	V_{2j}	V_{2n}	
E_3	V_{31}	...	V_{3j}	V_{3n}	
E_i	V_{i1}	V_{ij}	V_{in}	
...	
E_m	V_{m1}	...	V_{mj}	V_{mn}	

(1.11)

Під результатом рішення $V_{ij}=V(E_i; H_j)$ розуміємо оцінку, яка відповідає варіантові E_i і умовам H_j і яка характеризує найбільшу корисність (найменші витрати).

Існує ряд критеріїв для прийняття рішень в умовах невизначеності. При співставленні результатів розрахунку за декількома критеріями результати виявляються суперечливими [33]. Кінцеве прийняття рішення залежить від конкретної задачі та поставленої цілі. Можна застосовувати одночасно по черзі різні критерії та з декількох варіантів обрати остаточне рішення, що послабить вплив суб'єктивного фактора. Однак при цьому слід враховувати особливості ситуації та умови застосування цих критеріїв.

В зв'язку з цим не існує узагальненого правила чи універсального підходу до прийняття рішення щодо вибору оптимальної стратегії формування розвізних маршрутів. Отже, необхідно обґрунтувати доцільність застосування одного з критеріїв.

Аналіз критеріїв прийняття рішення в умовах невизначеності показав, що критерій Ходжа-Лемана в найбільшому ступеню враховує умови досліджуваної ситуації щодо стратегії формування розвізних (збірних) маршрутів при плануванні транспортної роботи АТП. Тобто, для матриці (12) знаходиться

$$\max_i v_{ir} = \max_i \left\{ \tau \sum_{j=1}^n v_{ij} q_j + (1 - \tau) \max_r v_{ir} \right\}, \quad (1.12)$$

$$0 \leq \tau \leq 1$$

де τ - ваговий множник; q_j - ймовірність стану H_j .

Застосовуючи критерій Ходжа-Лемана визначено, що раціональною стратегією формування розвізних маршрутів в міському сполученні є обслуговування вантажовласників за періодами доби, яка частково враховує часові вимоги споживачів.

1.6 Основні напрямки модернізації вантажних термінальних комплексів

Враховуючи вищезазначене, основні напрямки модернізації термінальних комплексів полягають у впровадженні заходів технічного, технологічного та організаційного характеру, які передбачають:

- застосування сучасних пристроїв збору, ідентифікації та обробки вхідної інформації. Пропонується для отримання інформації про кількісний склад дрібнотоннажних автомобілів, транспортно-складських механізмів та наявного персоналу використовувати радіочастотні мітки для дистанційного зчитування, інформація з яких фіксується пристроями зчитування, розміщеними в місцях перетину меж окремих зон терміналу; для визначення часу виконання окремих технологічних операцій на терміналі в системі використовувати пристрої вимірювання та контролю часу виконання технологічних операцій, які розміщуються в контрольних точках зон їхнього виконання. Запропоновані заходи передбачають можливість модернізувати збір та обробку інформації, підвищити точність вимірюваних параметрів та їх статистичну достовірність, вдосконалити якість отримуваної інформації;

- забезпечення комплексного розвитку бази інформатизації, впровадження принципово нових систем управління з використанням перспективних інформаційних і логістичних технологій з метою створення на базі GPS єдиної системи інформаційних комунікацій на транспорті, яка в подальшому буде інтегрована в світову інформаційну мережу. Так, пропонується інформацію про місцезнаходження завантажених автомобілів в конкретний час, які здійснюють розвезення-збір вантажу та міжтермінальні перевезення, передавати на автоматизоване робоче місце диспетчера терміналу через мережу Інтернет за допомогою

GPS-трекерів, розміщених на транспортних засобах; визначати дислокацію вантажовласників рекомендується за допомогою пристрою визначення географічних координат на основі GPS-приймача (смартфона);

– розробку та впровадження інтегрованої інформаційної системи підтримки прийняття рішення в технологічному циклі термінальної системи на основі нових багатокритеріальних моделей оптимізації транспортно-складських процесів та раціоналізації використання ресурсів різних видів для всіх її підсистем. Інтегрована інформаційна система, що пропонується, дозволяє здійснювати вибір ресурсозберігаючої технології вантажного терміналу з урахуванням наявних резервів та технічного оснащення з забезпеченням мінімальних витрат терміналу та з урахуванням інтересів вантажовласників і перевізників; забезпечує скорочення часу просування вантажопотоку в ланцюзі постачання в результаті синхронізації логістичних потоків, виключення «людського фактора» при прийнятті рішення; передбачає можливість прийняття управлінських рішень при виникненні непередбачуваної ситуації шляхом внесення корективів при формуванні технології; забезпечує взаємоузгодження дій суб'єктів термінальної системи та обумовлює підвищення якості обслуговування вантажовласників і максимізацію синергетичного ефекту системи;

– розробку моделей прогнозування технологічних параметрів термінальної системи з використанням сучасних методів, що дає великі перспективи для розвитку технологій термінальних комплексів у загальному значенні. Оцінка необхідних значень технічних характеристик транспортно-складських ресурсів і технологічних параметрів термінального комплексу дозволяє обрати такі параметри функціонування, які б забезпечували синхронізацію технологічних процесів і максимальну адаптованість терміналу до мінливих умов роботи та враховували б ресурсні обмеження термінального комплексу;

– запропоновано проводити моделювання не по середнім або нормативним, а по оперативним розрахованим технологічним параметрам на кожен конкретний об'єкт управління в конкретний момент часу та оперативно приймати управлінські рішення в умовах невизначеності та ризику на основі запропонованого багатокритеріального підходу.

Для ефективного використання переваг термінальної системи потрібно виконання наступних умов:

– необхідність обліку особливостей розвитку термінальних перевезень у нашій країні;

– створення мережі терміналів сучасних конструкцій, застосування прогресивних схем розміщення терміналів;

– застосування сучасних технологій роботи терміналів.

Отже, для підвищення ефективності доставки вантажів можна визначити основні перспективні напрямки досліджень та розвитку термінальних систем, як сучасної ресурсозберігаючої технології доставки вантажів:

– визначення та прогнозування вантажопотоків;

– формалізація окремих технологічних процесів та розробка імітаційної моделі функціонування термінальної системи;

- раціональна організація транспортного процесу трьох синхронно функціонуючих підсистем (підвозу-розвозу, терміналів, міжтермінальне перевезення);
- розробка конкурентоспроможної тарифної системи;
- формування єдиного організаційно-економічного, фінансового, інформаційного, кадрового й нормативно-правового забезпечення;
- створення в умовах зростаючого попиту на організацію перевезень вантажів у міжнародному сполученні багатофункціональних мультимодальних терміналів з митною обробкою вантажів, які є основним інфраструктурним елементом у міжнародній логістичній мережі;
- передбачення можливості спеціалізації терміналів, що пояснюється необхідністю забезпечення високого рівня сервісного обслуговування клієнтів в умовах конкурентної боротьби. Вона дозволяє врахувати вимоги клієнтів до перевезення, зберігання й переробці вантажів, підвищити ефективність логістичного менеджменту і якість сервісу, вибрати оптимальні типи спеціалізованих автотранспортних засобів і знизити логістичні витрати.

1.7 Список використаних джерел до розділу 1

1. Шраменко Н.Ю. Аналіз теоретичних розробок в області організації дрібнопартійних перевезень та функціонування термінальних систем / Н.Ю. Шраменко / Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – Х., 2010. – Вып. 49 – С. 120 – 125.
2. Нагорний Є.В. Комерційна робота на автомобільному транспорті. – Підручник/ Є.В.Нагорний, Н.Ю. Шраменко – Харків, ХНАДУ, 2010. – 324 с.
3. Транспортная логистика [Текст] : учеб. / под ред. Л. Б.Миротина. – 2-е изд., стереотип. – М.: Экзамен, 2005. – 512 с.
4. Нечаєв Г. И. Модель логистической системы транспортно-складского комплекса / Нечаєв Г. И. // Вісник Східноукраїнського Державного Університету: науковий журнал – Луганськ: СУДУ, 1997. – № 6. – С. 118-129.
5. Нагорний Є.В. Оцінка ефективності прискореної переробки тарноштучних вантажів на терміналі / Нагорний Є. В., Самойленко А. С. // Восточно-европейский журнал передовых технологий: сб. науч. тр. – 2008. – Вып. ½ (31). – С. 51–53.
6. Шраменко Н.Ю. Розвиток та сучасний стан термінальних систем як ресурсозберігаючої технології доставки вантажів / Шраменко Н.Ю. // Восточно-европейский журнал передовых технологий: сб. науч. тр. – 2010. – Вып. 2/4(44). – С. 15 – 17.
7. Шраменко Н. Ю. Методологія оцінювання синергетичного ефекту при термінальній системі доставки вантажів / Н.Ю.Шраменко / Актуальні проблеми економіки : наук. економічний журн. — Київ : ВНЗ «Національна академія управління», 2016. — № 8(182) — С. 439–444.

8. Шраменко Н.Ю. Підвищення якості логістичного сервісу вантажного терміналу / Шраменко Н.Ю. // Восточноевропейский журнал передовых технологий: сб. науч. тр. – 2010. – Вып. 1/4(43). – С. 55 – 57.
9. Шраменко Н.Ю. Аналіз критеріїв ефективності функціонування логістичних систем при доставці вантажів / Нагорний Є.В., Шраменко Н.Ю. // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. – Луцьк: ЛНТУ, 2010. – Вип. 28. – с. 353–357.
10. Шраменко Н.Ю. Формалізація процесу функціонування грузового терміналу / Н.Ю. Шраменко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна: зб. наук. пр. – Дніпропетровськ: 2011. – Вип. 37 – С. 211–215.
11. Транспортна стратегія України на період до 2020 року / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р.
12. Бойко Н.И. Транспортно-грузовые системы и склады: учеб. пособие / Н.И.Бойко, С.П. Чередниченко. – Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 400 с.
13. Гаджинский А.М. Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика: Учебно-практическое пособие / А. М. Гаджинский. – М.: Проспект, 2005. – 176 с.
14. Николайчук В.Е. Транспортно-складская логистика: Учебное пособие. – 2-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2007. – 452 с.
15. Лебідь Є.М. Ефективність синхронізації логістичних потоків при міжнародних вантажних автомобільних перевезеннях: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук: 05.22.01 – транспортні системи / Є. М. Лебідь. – К.: Нац. трансп. ун-т, 2012. – 20 с.
16. Миротин Л.Б. Логистика, технология, проектирование складов, транспортных узлов и терминалов / Л.Б. Миротин, А.В. Бульба, В.А. Демин. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 408 с.
17. Горбачов П.Ф. Математичні методи оптимізації транспортних процесів: навч. посіб. / П.Ф. Горбачов, Н.Ю. Шраменко, О.В. Павленко, О.О. Северін, О.П. Калініченко. – Харків: ХНАДУ. – 2008. – 204 с.
18. Петрашевский О.Л. Адаптация методологии концептуально-логического отображения и проектного моделирования транспортных систем к задачам управления проектами / О.Л. Петрашевский, В.В. Данилевский, Н.Н. Цымбал // Проблемы транспорта: зб. наук. праць. – Київ: НТУ, 2010. – № 7. – С. 56–60.
19. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К.: Видавнича група ВНУ, 2005. – 352 с.
20. Шраменко Н.Ю. Разработка имитационной модели функционирования грузового терминального комплекса / Шраменко Н.Ю. / Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. - Харків: ХНАДУ, 2010. – Вип. 27 – С. 77-82.
21. Шраменко Н.Ю. Виявлення проблем функціонування транспортно-складського комплексу в сучасних умовах / Н.Ю. Шраменко, Н.В. Кохановська // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: наук.-техн. журнал. – Харків: 2010. – №3. – С 37–41.
22. Шраменко Н.Ю. Представлення процесу функціонування термінального комплексу в межах теорії мережевого планування / Н.Ю. Шраменко, В.С. Кара-

било // Информационно-управляющие системы на жел.-дор. транспорте: наук.-техн. журнал. – Харьков, 2013. – № 1. – С. 11–16.

23. Единые нормы выработки и времени на вагонные, автотранспортные и складские погрузочно-разгрузочные работы. – М.: Экономика. 1987. – 156с.

24. Шраменко Н.Ю. Визначення раціональної кількості ресурсів термінального комплексу на основі теорії мережевого планування / Н.Ю. Шраменко, Є.В. Нагорний // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 31 – С. 83–87.

25. Шраменко Н.Ю. Повышение эффективности функционирования терминальной системы в условиях ресурсосбережения / Н.Ю. Шраменко/ Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. - Харків: ХНАДУ, 2013. – Вып. 60 – С. 22-26.

26. Шраменко Н. Ю. Вплив технологічних параметрів процесу функціонування транспортно-складського комплексу на собівартість переробки вантажу / Н. Ю. Шраменко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий : сб. науч. тр. – Х., 2015. – Вып. 5/3 (77) – С. 43–47.

27. Шраменко Н. Ю. Методологический подход к формализации процесса функционирования терминальных систем в условиях ресурсосбережения / Н.Ю. Шраменко/ Вестник ПНИПУ «Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности» – Пермь: 2013. - № 1. – С.186-194.

28. Нечаев Г.И. Основы организации работы и управления транспортно-складскими комплексами. – Луганск: ВУГУ, 1998. – 226 с.

29. Самойленко А.С. Удосконалення технології прискореної переробки тарно-штучних вантажів на терміналах в умовах ринку транспортних послуг: Автореф. дис. канд. техн. наук: Спец. 05.22.01 – транспортні системи. Харьк. нац. автомоб.-дорожн. ун-т – Х., 2009. – 22 с.

30. Миротин Л. Б. Логистика, технология, проектирование складов, транспортных узлов и терминалов / Л. Б. Миротин, А. В. Бульба, В. А. Демин /. – М.: Феникс, 2009. – 416с.

31. Шраменко Н.Ю. Определение технологических параметров функционирования терминального комплекса / Н.Ю. Шраменко // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля: наук. журнал. – Луганськ: 2010. – № 7 (149). – С. 197–201.

32. Шраменко Н.Ю. Вибір оптимальної стратегії обслуговування вантажовласників на розвізних маршрутах / Шраменко Н.Ю., Галаган А. В. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины; редкол.: В.А. Богомолов (гл. ред.) и др. – Харків: ХНАДУ, 2009. – Вып.44 – С. 78–82

33. Шраменко Н.Ю. Обґрунтування вибору критерію прийняття рішення при плануванні розвізних маршрутів в умовах невизначеності/ Шраменко Н.Ю. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины; редкол.: В.А. Богомолов (гл. ред.) и др. - Харків: ХНАДУ, 2009. – Вып. 45 – С. 41–43

34. Шраменко Н.Ю. Модель організації транспортного процесу на розвізних маршрутах/ Н.Ю. Шраменко// Автомобильный транспорт. - Харків: ХНАДУ, 2007. – Вып. 21 – С. 74–77

35. Шраменко Н.Ю. Модель оптимального планування роботи автомобілів на розвізних маршрутах при перевезеннях дрібнопартійних вантажів // Автомобільний транспорт. - Харків: ХНАДУ, 2007. – Вип. 20 – С. 129-132
36. Шраменко Н. Ю. Модель вибору раціональної вантажності автомобілів при організації перевезень дрібнопартійних вантажів / Н. Ю. Шраменко // Вестник ХНАДУ : сб. науч. тр. – Х. : ХНАДУ, 2015. – Вип. 68. – С. 113–117.
37. Нагорний Є. В. Аналіз рівня конкурентноздатності транспортного підприємства за допомогою комплексної оцінки якості обслуговування/ Є.В. Нагорний, Н.Ю. Шраменко, О.В. Шраменко // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 2/2006 (37) частина 1. – С. 105–108.
38. Шраменко Н.Ю. Дослідження умов функціонування транзитної та термінальної систем перевезень вантажів// Комунальное хозяйство городов: –К.: Техніка, 2008, С. 350–355.
39. Шраменко Н.Ю. Обґрунтування меж доцільності термінальних перевезень// Комунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вип. 84 – К.: Техніка, 2008, С. 350–353.
40. Шраменко Н.Ю. Методи маршрутизації при дрібнопартійних перевезеннях в транспортних системах міст та шляхи їх удосконалення/ Шраменко Н.Ю.// Комунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – Вип. 86 – К.: Техніка, 2009, С. 364–367
41. Шраменко Н.Ю. Вплив вантажності автомобіля на техніко-експлуатаційні показники роботи на розвізних маршрутах/ Шраменко Н.Ю.// Автомобильный транспорт. – Х.: ХНАДУ, 2009. – Вип. 24 – С. 103–108
42. Шраменко Н.Ю. Теоретико-методологічні основи ефективного функціонування термінальних систем при доставці дрібнопартійних вантажів: Монографія – Харків: ХНАДУ, 2010. – 156 с.
43. Шраменко Н. Ю. Система формування развозочных (сборочных) маршрутов при перевозке мелкопартийных грузов / Н. Ю. Шраменко // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : сб. науч. тр. — Минск : БНТУ, 2014 — С. 84—90.
44. Шраменко Н. Ю. Вплив технологічних параметрів процесу розвезення товарів дрібними партіями на витрати по обслуговуванню споживачів / Н. Ю. Шраменко // Проблеми транспорту : зб. наук. пр. – К. : НТУ, 2014. – № 10 – С. 346–351.
45. Шраменко Н. Ю. Спосіб визначення технології роботи автомобілів на розвізних маршрутах / Н. Ю. Шраменко, Є. В. Нагорний / Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. – Х. : ХНАДУ, 2014. – Вип. 35. – С. 141–145.
46. Шраменко Н. Ю. Модель оптимізації виробничих ресурсів вантажного термінального комплексу / Н. Ю.Шраменко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х. : ХНТУСГ, 2015. – Вип. 160. – С. 261–266.
47. Нагорний Є.В. Комерційна робота на транспорті. – Підручник / Є.В. Нагорний, Н.Ю. Шраменко, Г.І. Нестеренко. – Харків, ХНАДУ, 2012. – 268 с.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ

2.1 Останні тенденції при використанні збирально-транспортного комплексу з використанням логістичного підходу

В даний час Україна є одним з лідерів з вирощування зернових культур в світі, що, безсумнівно, позитивно впливає на економічний розвиток країни в цілому. Згідно з даними [1], аграрна частка ВВП України за підсумками 2015 року становить близько 37%. На сьогоднішній день аграрний бізнес є найбільш швидко розвинутим сегментом діяльності, так як спостерігається позитивна динаміка іноземних інвестицій. Однак, перед аграріями України щорічно виникає ряд проблем, пов'язаних безпосередньо з виробничим процесом і залежних від ряду факторів, що безумовно впливає на кінцевий результат, тобто отримання прибутку від реалізації або переробки своєї продукції.

До основних проблем аграріїв, що виникає в період збору врожаю, можна віднести наступні: чим збирати врожай і чим його вивозити. Збирально-транспортний процес є трудомістким, ресурсовитратним і найбільш важливим у всьому технологічному процесі виробництва зернових культур. Це пояснюється певними труднощами при його організації, виборі технологічної схеми збирання, виборі комбайна відповідної продуктивності, транспортних засобів необхідної вантажності і їх кількості для виключення простоїв і збирання врожаю в найкоротші терміни. Саме, від перерахованих вище факторів і буде залежати, в кінцевому рахунку, величина собівартості доставки зернових культур.

Вибір оптимального збирально-транспортного комплексу (ЗТК) з урахуванням площ сільськогосподарських підприємств, врожайності зернових культур і термінів їх збирання на сьогоднішній день можливий лише з грамотним використанням основних підходів та концепцій агрологістики.

На сьогоднішній день практично не існує науково-методичних рекомендацій щодо вибору раціональних параметрів роботи і взаємодії всіх ланок збирально-транспортного комплексу. Особливо це яскраво виражається при зборі зернових в схожих господарських умовах, а саме, при майже однаковій врожайності з гектара і сумарних площах посівних полів. Дана тенденція характерна для Європейських країн, де території самих держав незначні. Тому, розміри посівних площ в господарствах знаходяться практично в одному діапазоні.

В Україні, як основного постачальника зернових на світовий ринок, площ сільськогосподарських угідь, відведених під їх посадку, варіюються в більш широкому діапазоні, ніж в Європі. У той же час, структура територій посівних площ ідентичні Канадським, Північно Американським і частині Азіатських країн. Даний факт дозволяє констатувати необхідність вироблення науково обґрунтованої методики по регламентації порядку взаємодії ЗТК в період збирання врожаю.

2.2 Світовий досвід використання збирально-транспортного комплексу в період жнив: теоретичний і практичний аспекти

Стислі агротехнічні строки збиральної компанії зернових культур вимагають значної консолідації трудових і технічних ресурсів. У зв'язку з цим виникає необхідність в удосконаленні технологічних операцій збирання врожаю, оптимальному формуванні збирально-транспортного комплексу і всебічного врахування умов їх роботи, що дозволить знизити простої комбайнів, підвищити продуктивність транспортних засобів і знизити втрати зерна за рахунок скорочення термінів збирання.

Питання підвищення ефективності технологічних операцій збору і доставки зерна, оптимального поєднання збирально-транспортного процесу розглянуті в наукових працях як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Однак, на наш погляд, даний аспект недостатньо вивчений і його дослідження знаходиться на стадії становлення.

У проведеному аналізі робіт розглядаються сучасні технології збору зернових культур в усіх країнах світу [2]. Враховується сукупність факторів, які безпосередньо впливають на ефективність збору врожаю з урахуванням природно-кліматичних умов і оснащеності технікою малого і великого аграрного господарства. Однак у багатьох роботах дана ефективність не має чіткого, сформованого критерію і розглядається як сукупність дій, спрямованих на зниження транспортних витрат і економії часу збору врожаю [3].

Формалізація критерію ефективності транспортного комплексу розглядається у вигляді питомих витрат на перевезення [4] і представлений у вигляді кібернетичної моделі. Однак в даній моделі часовий параметр має випадковий характер.

Оціночний критерій у виборі раціональної транспортно-технологічної схеми доставки вантажу з урахуванням часу і витрат враховується в роботі [5]. Залежно від обраного критерію надається два варіанти, які визначаються обсягом вантажу і не враховують сукупність інших факторів.

Доцільний підхід до планування і підбору технологічних схем доставки сільськогосподарських вантажів з урахуванням витрат на доставку і термінів проведення збиральних робіт. Комплексний облік цих факторів дозволяє виявити середнє значення одиниць збирально-транспортного комплексу [6], але не розглядає логістичний підхід в класифікації рухомого складу по ряду технічних і експлуатаційних ознак.

Розроблена методика визначення умовних розмірів збирально-транспортного комплексу (ЗТК) в роботі [7] дозволяє врахувати продуктивність і специфіку використання як вітчизняної, так і зарубіжної техніки, що дає можливість сформулювати раціональну структуру ЗТК. Однак в даній методиці не проводилася економічна оцінка запропонованих рішень.

Використання в якості основного критерію часової продуктивності комбайна, дозволяє сформулювати для підприємств аграрного сектора конкурентоспроможний парк збирально-транспортного комплексу з урахуванням вимог аг-

рологістики. Дана методика мінімізує часовий діапазон виконуваних робіт, але не враховує їх собівартість [8].

Скорочення терміну збирання, як правило, досягається за рахунок закріплення збирально транспортних груп за полями і використання орендованого рухомого складу, виходячи з розміру посівних площ і запланованого обсягу врожаю сільськогосподарських культур. При цьому витрати на доставку зернових не поширюються на всю сукупність взаємодіючих логістичних елементів системи, а становлять поєднання відокремлених витрат [9].

Найбільш широке застосування в дослідженнях знайшло використання на полях бункерів-перевантажувачів і стаціонарних компенсаторів. Це дозволяє підвищити продуктивність, однак вимагає додаткових трудових ресурсів і наукового обґрунтування їх ємності, нерозривності всіх стадій виробничого процесу при короткому циклі [10].

Слід зазначити, що останні тенденції, які використовуються для підвищення ефективності процесу збирання і доставки врожаю, представлені в роботах зарубіжних авторів.

Так, один із напрямів дослідження розглянуто в роботі [11], де основний акцент зроблений на розробку методики, що дозволяє формувати оптимальну структуру комбайнового парку на основі синтезу технологічних операцій і ресурсозберігаючих технологій збирання. При цьому автор, у запропонованій моделі, не враховує граничні норми часу, відведені на збір врожаю і порядок взаємодії між усіма елементами ЗТК.

Однією з останніх спроб провести побудову логістичного ланцюга збирання врожаю на основі інтеграційних принципів були проведені індонезійським вченим Kusumastutia в роботі [12]. При цьому, автор пропонує комплексну модель, що враховує параметри перевезення на основі економічного планування. Метою дослідження є мінімізація витрат зі збереженням певної якості зібраної сільськогосподарської продукції. Як основний недолік роботи виступає те, що розглянута лише одна технологія доставки, яка широко використовується в регіоні, що не дозволяє ввести мову про універсальність запропонованої моделі.

З точки зору планування роботи збиральної техніки показовими є рішення, запропоновані в роботі [13]. У цьому дослідженні групою чилійських вчених розроблена змішано-інтегральна програмна модель, яка дозволяє провести планування роботи комбайна, розподіл трудових ресурсів і характер його маршруту при збиранні на тактичному і оперативному рівнях. Хоча робота і присвячена збору винограду, але може бути цікава з точки зору часового параметру розподілу збиральної техніки на полях сільськогосподарського підприємства. Як недолік можна виділити те, що в статті не представлені рішення, що характеризують роботу транспорту і порядок його взаємодії з групою комбайнів.

У роботі американських вчених [14], які займалися питаннями підвищення ефективності використання транспортних засобів і збиральних комбайнів при збиранні цукрового очерету в Марокко, використовувалася модель, побудована на основі математичного програмування. Дана методика дозволяє детерміновано визначити оптимальну кількість одиниць транспорту, з виробленням

стратегії для диспетчерів і можливості щоденного планування. Однак, при такому моделюванні процесу доставки очерету час простою автомобіля під вантажно-розвантажувальними операціями приймається, як константа, що в кінцевому рахунку може привести до збоїв роботи або збиральної техніки, чи транспортних засобів.

У спільному дослідженні, виконаному вченими Латвії та Польщі [15], акцентується увага на трьох технологіях збирання злакових культур і кукурудзи. При цьому, вибір найкращої здійснюється на основі декількох критеріїв: витрати палива одиницею збиральної техніки, продуктивності і собівартості одиниці продукції. У той же час, в статті представлена лише статистика, зібрана на прикладі роботи одного сільськогосподарського підприємства, що не дозволяє говорити про адекватність отриманих результатів та комплексності зроблених висновків.

Особливих успіхів при плануванні роботи збиральної техніки досягли китайські вчені. В роботі [16] вони запропонували кардинальні зміни для контролю за взаємодією комбайнів і тракторної техніки при збиранні зерна. Їх рекомендації зводилися до необхідності використання інноваційних ІТ-технологій, заснованих на «Kanban control system». Основний недолік її полягає в односторонності розгляду процесу збору врожаю на прикладі лише однієї, найпростішої, технології, представленої у вигляді прямого варіанта доставки.

Проведений техніко-економічний аналіз в роботі [17] свідчить про істотні відмінності при використанні двох технологій експлуатації збирального комплексу і транспорту на території Польщі. При цьому, в дослідженні не вказано за рахунок чого виходить така різниця між основними технологічними і економічними показниками, розглянутих транспортно-технологічних схем.

Виходячи з проведеного аналізу передових досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених, можна зробити висновок, що, на сьогодні, відсутня комплексна методика, яка дозволяє вибирати оптимальні умови взаємодії транспортно-го та збирального комплексів в період збору зернових культур. При цьому, в запропонованій методиці повинно бути присутнім оптимальне поєднання зернозбиральної техніки і транспортних засобів з урахуванням техніко-експлуатаційних та економічних характеристик кожного елемента, при сукупності зовнішніх чинників. Такий підхід буде сприяти підвищенню ефективності перевезень, зниженню витрат на доставку і, тому, вимагає детального дослідження.

Тому, метою дослідження є обґрунтування вибору структури збирально-транспортного комплексу та розробка умов взаємодії всіх елементів, які забезпечують зниження собівартості доставки зернових культур.

Для досягнення визначеної мети були поставлені такі завдання:

1. Обґрунтувати актуальність розробки методики для вибору раціональних умов взаємодії збирально-транспортного комплексу, ґрунтуючись на сучасний стан теорії і практики питання функціонування даних систем.

2. Розробити критерій для класифікації комбайнів по групах з урахуванням їх технічних характеристик і структури посівних полів сільськогосподарського підприємства.

3. Визначити фактичну продуктивність кожної групи комбайнів відповідно до очікуваної врожайності зернових культур на підприємстві.

4. Встановити закономірності між годинною продуктивністю комбайна і вантажністю відповідного транспортного комплексу, задіяного у конкретних схемах.

5. Визначити тенденцію зміни питомої собівартості перевезення зернових культур від типу використовуваної транспортно-технологічної схеми.

6. Розробити номограму - комплексне рішення для вибору раціональних умов взаємодії збиральної і транспортної техніки.

7. Представити рекомендації по вибору структури збирально-транспортного комплексу.

2.3 Обґрунтування технічних параметрів роботи збирально-транспортного комплексу

Сучасна українська аграрна промисловість переживає складні часи. Не стабільний курс гривні, економічний спад купівельної спроможності українців, постійний ріст цін на енерго й топливні носії ставлять перед керівниками сільськогосподарських підприємств все більш й більш складні питання: «Як вижити? Що сіяти? Чим сіяти, обробляти, збирати й транспортувати сільськогосподарські культури, щоб собівартість отриманої продукції була конкурентоспроможною і приносила прибутки фермі».

2.3.1 Застосування логістичного підходу під час вибору складу збирально-транспортного комплексу

Цим питанням переймаються не тільки виробники сільгосппродукції, а й вчені. Найчастіше фермери використовують ті технічні можливості, якими вони володіють, або мають можливість винайняти. Таким чином, склад збирально-транспортного комплексу (ЗТК) формується без чітких закономірностей.

В той же час, від його кількісного і якісного складу залежить час збирання врожаю й фінансові витрати, пов'язані з цим процесом. Як зазначено в роботі [18], вибір раціональної технології доставки врожаю з урахуванням обмежень, а саме нормативного часу збору врожаю, впливає на час й витрати роботи ЗТК.

В запропонованій роботі надано логістичний підхід до формування структури ЗТК з урахуванням технічних характеристик фермерських господарств, техніко-експлуатаційних показників збиральної техніки й автомобілів, а також прослідковано економічну складову показника ефективності роботи ЗТК. Послідовність задач, що потребують вирішення, із застосуванням логістичного підходу в дослідженнях, стосовно формування структури ЗТК надано на рисунку 2.1.

<p align="center">Блок 1</p> <p>Актуалізація логістичного підходу під час обґрунтування складу збирально-транспортного комплексу. Мета, об'єкт, предмет та задачі дослідження</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обґрунтування актуальності визначення необхідної марки комбайну для сільськогосподарського підприємства (СП) України; 2. Поділ комбайнів на групи, згідно розмірів СП та технічних характеристик збиральної техніки; 3. Визначення цілі, об'єкту, предмету та задач дослідження.
<p align="center">Блок 2</p> <p>Теоретичне обґрунтування параметрів збирально-транспортного комплексу</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аргументація основних техніко-експлуатаційних характеристик збиральної техніки; 2. Встановлення закономірностей між часом продуктивністю комбайну й вантажністю відповідного транспортного комплексу; 3. Визначення питомої собівартості перевезення зернових культур від типу транспортно-технологічної схеми, що використовується; 4. Вибір модельного ряду комбайнів та технологій доставки.
<p align="center">Блок 3</p> <p>Обґрунтування вибору технології</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналіз результатів дослідження, що отримані із застосуванням наведеної методики 2. Рекомендацій, щодо формування раціональної структури збирально-транспортного комплексу

Рис. 2.1 – Структура застосування логістичного підходу під час вибору складу збирально-транспортного комплексу

Запропонований логістичний підхід дозволить керівникам не тільки фермерських господарств, сільськогосподарських підприємств, а також й господарям механізованих бригад раціонально-обґрунтовано підійти до формування складу ЗТК ще в період підготовки до робіт по збиранню й транспортуванню врожаю. Наведена методика дозволяє визначити закономірності у формуванні складу збирально-транспортного комплексу з урахуванням як технічних, техніко-експлуатаційних так і економічних параметрів роботи комплексу.

2.3.2 Обґрунтування вибору комбайну при збиранні зернових

Базовою основою логістичного ланцюга збирально-транспортного процесу виступає комбайн. У більшості випадків від його продуктивності відштовхується фермер при організації та плануванні зернозбиральних робіт і транспортуванні врожаю. Успішність збирального процесу залежить від техніко-експлуатаційних характеристик обраного агрегату.

Головними характеристиками зернозбиральних комбайнів вважаються [19]:

- пропускна здатність жатки (молотильно-сепаруючого пристрою (МСП)). В середньому показник варіюється в межах 5-12 кг / с, але може мати і більш високий рівень (до 20 кг / с) за рахунок збільшення габаритів МСП;

- ширина захвату жатки. Однак треба враховувати, що використання комбайнів з широкою жаткою на полях з високою врожайністю не доцільно. Так як обмеженням в даному випадку може виступати пропускна здатність молотильно-сепаруючого пристрою. Середній діапазон величини даного агрегату в залежності від класу комбайнів коливається в районі 3,7-12 м [20].

Годинну продуктивність комбайна можемо розрахувати за загальноприйнятою формулою:

$$W_{\text{Harvester}}^{\text{hour}} = 0,1 \cdot B \cdot V_p \cdot Y \cdot k_{CM} \cdot k_{II} \cdot k_C \quad (2.1)$$

де 0,1 - перевідний коефіцієнт;

B - ширина захвату жатки, м;

V_p - робоча швидкість руху комбайна км / год;

Y - врожайність на поле, т / га;

k_{CM} - коефіцієнт використання робочого часу;

k_{II} - коефіцієнт, що враховує полеглість зернових;

k_C - коефіцієнт, що враховує солومистість (відношення маси зерна до маси соломи).

Підвищення ефективності роботи збирального агрегату передбачає, виходячи із залежності, максимізацію показників, що входять до формули (1.1).

Коефіцієнт використання робочого часу, оцінюється відношенням часу, протягом якого комбайн працював до часу тривалості зміни. За оцінкою фахівців, цей коефіцієнт для нового комбайна становить 0,7 і знижується до кінця терміну експлуатації [21].

Коефіцієнт солумистості зібраних культур змінюється в широких межах: більше для длінностебельних маловрожайних і менше для короткостебельних високоврожайних культур. У нашому регіоні це значення прийнято 1.

Коефіцієнт полеглості залежить від погодно-кліматичних умов і визначається агрономом в період збирання зернових. Межі його вимірювань від 0 до 1.

Темп збирання врожаю або час залежить від продуктивності комбайна, точніше, від пропускної здатності жатки. У свою чергу, скільки зерна потра-

пить в жатку, залежить від її ширини. Якщо врожайність невисока, то ширина жатки стає однією з головних технічних характеристик роботи збирального агрегату.

Згідно [22], значення робочої швидкості комбайна від 6 км / год до 12 км / год. При цьому спостерігається наступна тенденція - зі збільшенням врожайності зменшується швидкість.

При виборі зернозбирального комбайна необхідно відштовхуватися від технологічних характеристик поля: його розмірів і врожайності. Чи не доцільно використовувати на полях невеликої площі комбайн з широкою жаткою. Тому введемо ряд обмежень, які забезпечують раціональний підбір зернозбирального комбайна.

Гіпотетично припустимо, що фермерські господарства можна представити у вигляді трьох груп. В першу групу (А) увійдуть ті, у яких загальна площа полів під зерновими культурами становить до 500 га. Відповідно група (В) - від 500 і до 1500 га; група (С) - понад 1500 га. До кожної групи полів прив'яжемо одну з головних технічних характеристик збирального агрегату - ширину жатки. В першу групу віднесемо комбайн з шириною жатки до 6,1 м, в другу і третю відповідно до 8,6 і 12 м. У математичному вигляді це виглядає наступним чином:

$$\frac{S_{\text{поля}}^{\min}}{B_{\min}} \leq \text{Group}_i < \frac{S_{\text{поля}}^{\max}}{B_{\max}} \quad (2.2)$$

де $S_{\text{поля}}^{\min}, S_{\text{поля}}^{\max}$ - відповідно мінімальне і максимальне значення площі поля в даній групі, га;

B_{\min}, B_{\max} - відповідно мінімальне і максимальне значення ширини захвату жатки комбайну, що працює в даній групі на певному полі, м.

$$\begin{aligned} \text{Group A: } & \frac{0 \text{ га}}{3 \text{ м}} < A \leq \frac{500 \text{ га}}{6,1 \text{ м}} ; \\ \text{Group B: } & \frac{500 \text{ га}}{6,1 \text{ м}} < A \leq \frac{1500 \text{ га}}{8,6 \text{ м}} ; \\ \text{Group C: } & \frac{1500 \text{ га}}{8,6 \text{ м}} < A \leq \frac{\infty \text{ га}}{12 \text{ м}} . \end{aligned} \quad (2.3)$$

Залежність зміни продуктивності комбайну від врожайності зернових, робочої швидкості збирального агрегату по запропонованим групами наведено на рисунку 2.2.

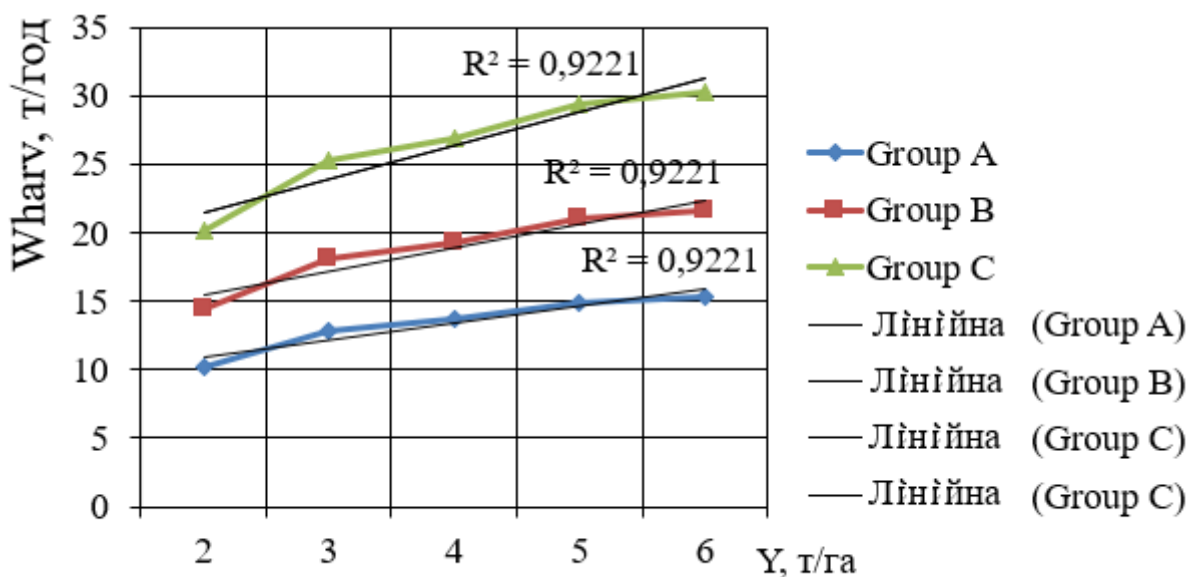


Рис. 2.2 - Зміна продуктивності комбайнів в залежності від їх швидкості і врожайності

Дані на рисунку 1.2 характеризуються високим коефіцієнтом кореляції, що вказує на достовірність результатів дослідження. Можна зробити висновок, що дана залежність є адекватною і в достатній мірі характеризує реальну тенденцію зміни продуктивності групи комбайнів від урожайності.

2.3.3 Встановлення закономірності між годинною продуктивністю комбайна і провізними можливостями відповідного транспортного комплексу, що використовується у певних схемах доставки зернових вантажів.

При пошуку взаємозалежності між двома основними технологічними параметрами, котрі характеризують вибір зернозбирального комбайна і визначення ряду вантажопідйомності автомобільного транспорту, задіяного в процесі транспортування зібраного зерна з поля, потрібно керуватися декількома умовами. Тому, при визначенні закономірності зміни годинної продуктивності комбайна і вантажопідйомності транспорту, що вивозить зібране зерно з поля, в першу чергу, будуть виступати наступні чинники:

1. Комбайн, як первинний елемент всього логістичного ланцюга постачань, визначає безпосередньо розмір і структуру збирально-транспортного комплексу.

2. Комбайн виступає визначальним елементом для вибору транспортно-технологічної схеми доставки зібраних зернових культур.

3. Весь задіяний ЗТК повинен використовуватися ефективно і забезпечити збір та вивезення врожаю в межах нормативних строків, визначених для відповідних культур.

Для досягнення вищезначених факторів, при встановленні закономірності між множиною вантажопідйомності автомобілів і продуктивності комбайна, необхідно виходити з умови узгодженої роботи всіх елементів збирально-транспортного комплексу. У математичному вигляді координація роботи ЗТК може бути представлена виходячи з наступного чинника:

$$INT = RITM, \quad (2.4)$$

де INT - інтервал прибуття автомобілів під навантаження комбайном або іншим збиральним комплексом (засобом механізації), хв./од. (год/од.);

$RITM$ - ритм роботи комбайна, хв./од. (год/од.).

Дана умова, в першу чергу, виключає ймовірність простою комбайна, що є одним з ознак ефективного використання збиральної техніки. Внаслідок цього, витрати на оренду і оплату роботи комбайна для керівника сільськогосподарського підприємства будуть мінімізовані, що також дозволить скоротити строки збирання врожаю по всьому підприємству в цілому, за рахунок раціонального розподілу звільнилися виробничих потужностей, як збиральної техніки, так і транспорту.

Для встановлення взаємозв'язку між двома ключовими параметрами роботи комбайна і автомобіля, необхідно провести математичне перетворення залежності (2.4).

$$INT = \frac{T_{ob}}{N_{auto}}, \quad (2.5)$$

де T_{ob} - час обороту транспортного засобу на маршруті з вивезення зернових культур з поля до зерноховища (тік), ч;

N_{auto} - необхідна кількість автомобілів для забезпечення безперебійної роботи збиральної техніки, од.

У той же час, ритм роботи комбайна повинен бути порівняний з його продуктивністю і враховувати можливість несвоєчасного прибуття автомобіля через що виникають збої, які регулярно відбуваються в період збирання врожаю. Це пояснюється інтенсифікацією використання транспорту і жорсткими тимчасовими рамки при зборі зернових культур. Тому, залежність ритму роботи комбайна може бути представлена у вигляді класичної формули функціонування поста навантаження:

$$RITM = \frac{t_{II}^{Harv} \cdot \eta}{N_{Harvester}}, \quad (2.6)$$

де t_{II}^{Harv} - час навантаження комбайном автомобіля (тракторного причепа, перевантажувача), хв (ч);

η - коефіцієнт, що враховує нерівномірність прибуття автомобілів під навантаження;

$N_{Harvester}$ - необхідна кількість комбайнів для забезпечення ритмічної роботи, од.

Рекомендації щодо чисельного значення коефіцієнта нерівномірності прибуття автомобілів до комбайна представлені у Северина А.А. [23]. При цьому, числові значення визначені при загальних умовах роботи транспорту. Тому, при проведенні дослідження були внесені корективи з урахуванням складності роботи автомобільного транспорту на пересіченій місцевості і при русі на ґрунтових дорогах. Ці фактори підвищують ймовірність несвоєчасного прибуття автомобілів до збиральної техніки після здійснення чергової поїздки з зерном. Тим самим, були скориговані можливі відхилення від початкового плану перевезень.

У роботі проводилося дослідження на одиницю збиральної техніки для забезпечення її безперервної роботи протягом робочої зміни. Тому розрахунок кількості комбайнів не проводився, але повинен був забезпечувати наступну закономірність:

$$N_{Harvester} = \frac{Q_{hour}}{W_{Harv}^{hour}}, \quad (2.7)$$

де Q_{hour} - максимальний обсяг зерна, який може бути зібраний за одну годину з поля, т;

W_{Harv}^{hour} - експлуатаційна годинна продуктивність комбайна, т / год.

При цьому, в роботі вводилося допущення, що максимальний годинний обсяг зібраних зернових не може перевищувати продуктивності комбайна. Тим самим, можливо забезпечити безперебійність використання одиниці збиральної техніки.

В результаті математичних перетворень остаточний вид формули для визначення ритму роботи комбайна може бути представлений в наступному вигляді:

$$RITM = \frac{t_{\Pi}^{Harv} \cdot \eta \cdot W_{Harv}^{hour}}{Q_{hour}}, \quad (2.8)$$

На основі часового обсягу зібраного зерна з поля можливо визначити потрібну кількість транспорту для його вивезення, керуючись годинною продуктивністю одного автомобіля:

$$N_{auto} = \frac{Q_{hour}}{W_{auto}^{hour}}, \quad (2.9)$$

де W_{auto}^{hour} - годинна продуктивність автомобіля, т/год.

Даний показник визначається в першу чергу за результатами транспортного процесу, тобто для його розрахунку використовуються основні техніко-експлуатаційні показники роботи автомобіля.

$$W_{auto}^{hour} = \frac{q_H \cdot \gamma \cdot V_T \cdot \beta}{L_{cargo} + V_T \cdot \beta \cdot (t_{\Pi}^{Harv} + t_P^{TOK})}, \quad (2.10)$$

де q_H - номінальна вантажопідйомність автомобіля, т;

γ - статистичний коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля (клас вантажу, що перевозиться: зерно - II-й клас);

V_T - технічна швидкість руху автомобіля, км / год;

β - коефіцієнт використання пробігу автомобіля;

L_{cargo} - відстань перевезення зерна від поля до зерносховища (тік), км;

t_P^{TOK} - час простою під розвантаженням на току, год.

Час обороту автомобіля залежить від виду маршруту і може бути визначено наступний шляхом:

$$T_{ob} = \frac{L_{cargo}}{V_T \cdot \beta} + (t_{\Pi}^{Harv} + t_P^{TOK}), \quad (2.11)$$

Шляхом математичних перетворень було визначено, що інтервал прибуття автомобілів під навантаження являє собою наступну залежність:

$$INT = \frac{q_H \cdot \gamma}{Q_{hour}}, \quad (2.12)$$

Керуючись умовою (2.1) було встановлено взаємозв'язок між вантажопідйомністю транспорту і продуктивністю комбайна, у вигляді запропонованої формули:

$$q_H = \frac{t_{\Pi}^{Harv} \cdot \eta \cdot W_{Harv}^{hour}}{\gamma}, \quad (2.13)$$

Для швидкого та якісного збирання врожаю важливо не тільки правильно підібрати комбайн, але і визначитися з необхідною кількістю і типом рухомого складу, який буде задіяний на вивезенні зерна. Також, суттєву роль грає характер взаємодії між усіма елементами збирально-транспортного комплексу, тобто вид використовуваної технології. Він, в свою чергу, буде визначати тип транспортно-технологічної схеми (ТТС) доставки зернових культур.

Тому для проведення дослідження були використані найбільш поширені технології збирання врожаю, а саме:

1. Схема I - прямий варіант - завантаження одиночного транспортного засобу безпосередньо комбайном. При цьому, автомобіль може як паралельно рухатися зі збиральною технікою, так і перебувати у краю поля, в розрахунковій точці, чекаючи під'їзду комбайна з уже заповненим зерном бункером.

2. Схема II - з використанням тракторного причепа (напівпричепа) - автомобіль прибуває до поля, де відбувається його завантаження і причеплення вже заповненого зерном причепа.

3. Схема III - з використанням великого бункера-перевантажувача - автомобіль (автопоїзд) здійснюють навантаження безпосередньо за межами поля у місці знаходження бункера-перевантажувача.

Виходячи з практики функціонування ЗТК було встановлено, що при роботі групи комбайнів А, як правило, використовується I-а ТТС. У той же час, для Group B і C доставка зернових культур здійснюється відповідно по II-ої і III-ої схемах. Тому, залежність (2.13) буде характеризувати вантажопідйомність не одного автомобіля, а вказувати на необхідний ряд вантажності транспорту при використанні відповідної технології доставки.

Тому, розрахунок часу простою автомобіля під навантаженням буде відповідати типу використовуваного навантажувального механізму. Зважаючи на це, час вивантаження може бути визначено з урахуванням основних технічних характеристик механізму:

$$t_{II}^{Harv} = \frac{q^{M^3} \cdot \rho}{W_{schn}}, \quad (2.14)$$

де q^{M^3} - середній обсяг бункера, який відповідає групі комбайнів, що розглядається, м³;

ρ - щільність (об'ємна маса) зернових культур (0,75-0,86 т / м³), т / м³;

W_{schn} - продуктивність вивантажувального шнеку, т / хв.

За результатами досліджень сучасної збиральної техніки, яка використовується на полях України, були визначені наступні середні показники, які дозволять встановити закономірність зміни ряду вантажопідйомності автомобільного транспорту від годинної продуктивності комбайнів. Дані представлені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Середні технічні показники роботи збиральної техніки

Група комбайнів	Діапазон зміни обсягу бункера, м ³	Середній обсяг бункера комбайну (перевантажувача), м ³	Продуктивність вивантажувального шнеку, т/хв.	Час вивантаження, хв.
Group A	4,6-8	6,3	2	3
Group B	6-10,5	8,25	4,5	1,5
Group C	9-12,5 (20-40)	10,75 (30)	7,8	3

У табл. 2.1 для третьої групи використовується перевантажувач, об'ємом бункера в 30 м³. Також для визначення достовірного діапазону зміни ряду вантажопідйомності по другій транспортно-технологічній схемі, отриманий ре-

зультат за формулою (2.14) буде збільшено вдвічі. Це пояснюється тим, що знайдена вантажопідйомність тракторного причепа буде рівноцінна вантажопідйомності автомобіля-тягача, тим самим загальна тоннажність автопоїзда є сумарною.

За результатами досліджень встановлено наступна функціональна залежність між годинною продуктивністю комбайна і поруч вантажопідйомності використовуваних автомобілів (рис. 2.3).

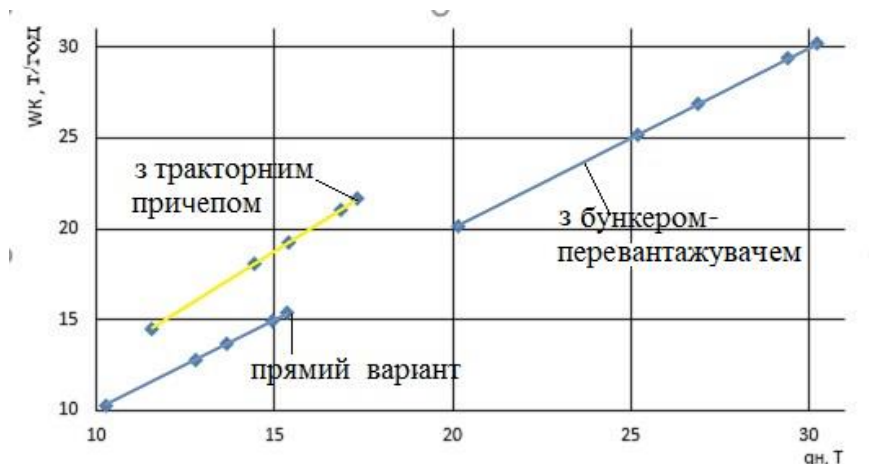


Рисунок 2.3 Залежність ряду вантажопідйомності автомобілів від годинної продуктивності комбайна

На графіку простежується пряма закономірність збільшення ряду необхідної вантажопідйомності парку транспортних засобів, задіяних у вивезенні врожаю зернових культур з полів, від продуктивності комбайнів.

2.3.4 Визначення питомої собівартості перевезення зернових культур від типу, використовуваної транспортно-технологічної схеми

Остаточний вибір технології збирання та перевезення зернових культур повинен бути заснований на економічному показнику. В якості такого критерію може виступати питома собівартість перевезення однієї тони вантажу. Даний показник є базовим при формуванні тарифу на перевезення, а також надає значну роль на остаточну вартість зерна. Тому, орієнтуючись на собівартість транспортування, перевізник, як і керівник сільськогосподарського підприємства, може визначити свою можливу прибуток. Виходячи з цього, інтереси цих двох учасників збігаються - вони прагнуть мінімізувати витратну складову збирання зернових, тобто собівартість.

У загальному вигляді питома собівартість може бути визначена за наступною залежністю:

$$S_T = \frac{L_{cargo}}{q_H \cdot \gamma \cdot \beta} \cdot \left(C_{var} + \frac{C_{const}}{V_T} \right) + \frac{C_{const} \cdot (t_{II} + t_P^{ТОК})}{q_H \cdot \gamma}, \quad (2.15)$$

де C_{var} , C_{const} - відповідно змінна і постійна складові собівартості, грн/км і грн/год;

t_{II} - час знаходження автомобіля під навантаженням.

Представлена формула дозволяє вести розрахунок собівартості по кожній з розглянутих транспортно-технологічних схем. При цьому, існує і ряд відмінностей, пов'язаних з часом знаходження автомобіля під навантаженням, а також числовими значеннями змінної і постійної складових собівартості. Так для схеми I час знаходження автомобіля під навантаженням відповідає часу вивантаження зерна з бункера комбайна. Для II-ої може бути визначено за слідуючою формулою:

$$t_{II} = t_{II}^{Harv} + t_{perec}, \quad (2.16)$$

де t_{perec} - час перечеплення причепа, год. За нормативами становить 0,15 години.

Відносно III-ої ТТС, то час перебування автомобіля під вантаженням становить тривалість вивантаження зерна з бункера-перевантажувача.

У той же час, для раціонального вибору технології доставки зернових та методу збору врожаю, необхідно керуватися тим, що в процесі транспортування можуть використовуватися автомобілі з різним типом кузовів. Це як правило, бортові транспортні засоби та автомобілі-самоскиди, з можливістю вивантаження зерна через бічний або задній борти. Тому час простою під розвантаженням буде знаходитися в такий спосіб:

- для бортових:

$$t_p^{TOK} (борт) = 12 + 2 \cdot (q_H \cdot \gamma - 1), \quad (2.17)$$

- для автомобілів із самоскидним типом кузова:

$$t_p^{TOK} (самоскид) = t_{IT} \cdot q_H \cdot \gamma, \quad (2.18)$$

де t_{IT} - час розвантаження однієї тони вантажу згідно з нормативами, (1 хв.) хв.

При визначенні середніх значень змінної і постійної складових собівартості необхідно відштовхуватися від вантажопідйомності використовуваного автомобіля і типу його кузова [22]. Для розрахунку використовувався найбільш часто вживаний в сільському господарстві восьми тонний автомобіль, який, як правило, працює при I-ої та III-ої ТТС. II-а схема доставки передбачає використання автопоїзду з мінімально необхідною вантажністю для даної технології. Такий підхід дозволяє отримати об'єктивні тенденції зміни питомої собівартості перевезення від необхідного ряду вантажопідйомності транспортних засобів.

Крім того, значний вплив на вибір ТТС має відстань, на яку перевозяться зернові культури. Шляхом емпіричних досліджень можна стверджувати, що се-

редня довжина їздки з вантажем в період збору врожаю на східній Україні становить близько 30 км. Тому коефіцієнт використання пробігу автомобіля відповідає маятниковому маршруту зі зворотним порожнім пробігом, що становить 0,5.

Керуючись вище викладеними припущеннями і числовими характеристиками параметрів, була встановлена наступна залежність між множиною вантажопідйомності транспортних засобів і питомою собівартістю перевезення (рис. 2.4).

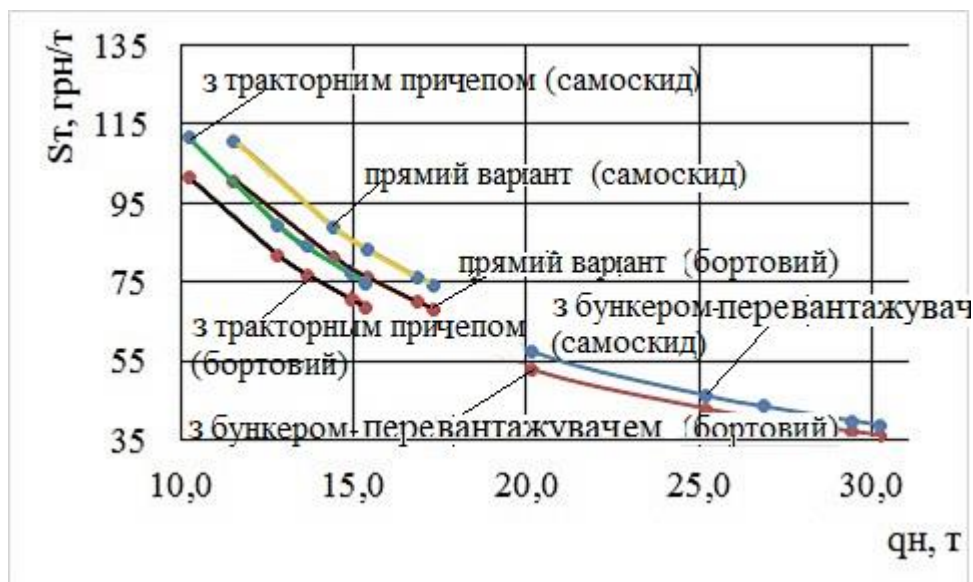


Рисунок 2.4 - Залежність питомої собівартості перевезення однієї тони зернових культур від необхідного ряду вантажопідйомності автомобілів

У цьому графіку простежується закономірність зменшення собівартості перевезення однієї тони зернових культур зі збільшенням ряду вантажопідйомності парку транспортних засобів, зайнятих при доставці врожаю на переробний пункт.

2.4 Результати дослідження функціональних залежностей елементів збирально-транспортного комплексу та використовуваних технологій

Для визначення комплексної взаємозв'язку між елементами ЗТК була побудована номограма (рис. 2.5), що об'єднує в собі найбільш поширені альтернативи застосовуваних технологій збирання зернових культур.

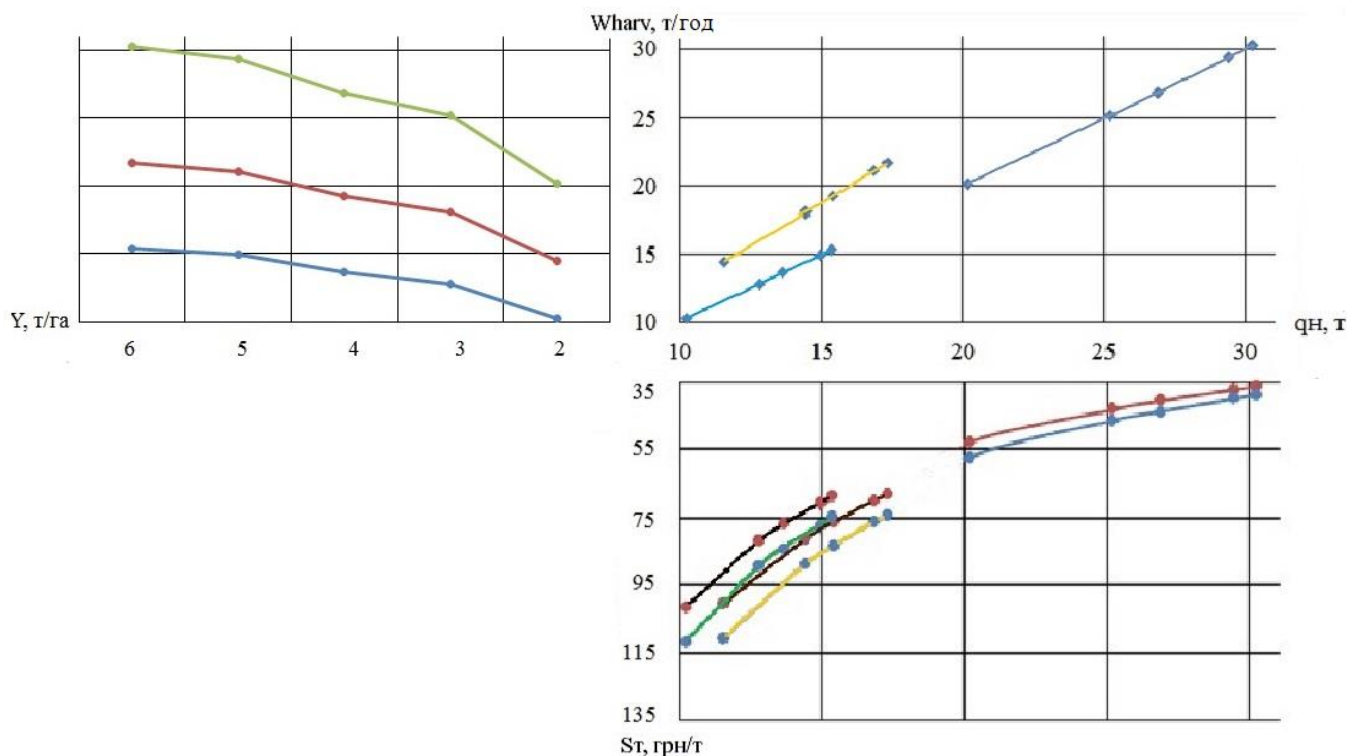


Рисунок 2.5 - Номограма дослідження функціональних залежностей елементів збирально-транспортного комплексу та використовуваних технологій

Перевага такого підходу полягає в тому, що дана номограма дозволяє шляхом проєкцій на відповідні осі чітко простежити і дати конкретні рекомендації, як необхідно формувати весь логістичний ланцюг збирання і доставки врожаю. При цьому, отримані функціональні залежності чітко вказують використання якої саме групи комбайнів буде оптимальним для певних умов господарства. Тобто відразу можливо визначити майбутню витратну складову і відповідно розмір очікуваного прибутку.

Крім цього, як видно з номограми (рис. 2.5), для сільськогосподарського підприємства існує можливість вибору транспортно-технологічної схеми доставки зернових культур для комбайнів з близької або однаковою продуктивністю, які відносяться до різних груп. Тому, даний підхід дозволяє виробляти більш гнучкі рішення керівникам агрохолдингів, що призводить до більш ефективного і доцільного використання збирально-транспортного комплексу. А це в свою чергу дозволяє зменшити строки збирання врожаю, що відповідає принципам сучасної агрологістики.

2.5 Рекомендації по вибору структури збирально-транспортного комплексу

З урахуванням закономірностей, які простежуються на рис.2.5 можна сформулювати таблицю рекомендаційного виду для первинної збірки моделей

комбайнів і транспорту. У табл. 2.2 приведена сучасна техніка, яка реально використовується на просторах України.

Таблиця 2.2 - Рекомендації по складанню структури ЗТК

Номер групи	Найменування комбайну		Ширина захоплення жатки, м	Ємність бункеру комбайна, м ³	Вантажність транспортного засобу, т	Прицеп, т; компенсатор, т
1	2	3	4	5	6	7
А	New Holland	ТС 56	3.66-5.18	5.2	10 - 16	-
		TX 62/63	3.6-6.1	7.2		
		CS 540	3.96-6.1	8		
	John Deere	2000	3.6-6.1	6-7.5		
	CIAAS	Medion 310	3.6-4.5	5.8		
		Fendt 5000	3.7-4.9	4.6		
		Lexion 440	5.4; 6	8.1		
	Полесьє	812	6	5.5		
	Дон	1500	6	6		
	СКИФ	230	6	6.7		
	Славутич	КЗС-9-1-55	6	6,7		
Ростсельмаш	Acros 585	6	9			
В	Challenger	647 С	7	8.6	12- 18	до 10
		658	7.7	10.5		
	Ростсельмаш	Вектор 420	7	6		
	New Holland	CX 8080	7.5	10.5		
	Полесьє GS12	КЗС 1218	7	8		
	Дон	1500	7; 8.6	6		
	John Deere	98800 ISTS	6.1-9.15	12.5		
	CIAAS	460	6.6	10.5		
480		7.5	10.5			

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7
С	New Holland	CX 8090	9	10.5	20 -30	до 30
	CIAAS	Mega C900	9.12	7.2		
		Lexion 770	12	12		
		Lexion 670/650	12	11		
	John Deere	98800 ISTS	6.1-9.15	12.5		
	Ростсельмаш	Acros 595 Plus	9	9		
		Torum 780/750	11	12/ 10.5		
		RSM 161	12	10.5		

Запропонована різноманітність комбінацій при формуванні ЗТК, в черговий раз вказує на складність підбору всіх елементів логістичного ланцюга при збиранні зернових на території нашої країни. Це є відмінною рисою України від країн західної Європи, де посівні площі відносно невеликі і при виборі збиральної техніки сільськогосподарські підприємства не стикаються з особливими труднощами, так як, зазвичай, використовуються лише дві-три загальноприйняті моделі комбайнів.

2.5.1 Обговорення результатів дослідження присвячених розробці методики вибору умов взаємодії збирального та транспортного комплексів.

Дослідження показали, що перед керівниками сільськогосподарських підприємств в період підготовки і проведення зернозбиральних робіт стоїть завдання вибору раціональної структури ЗТК. Перше питання, з яким стикається аграрій - це чим збирати і як вивозити. Запропонована методика дозволяє, спираючись на технічні характеристики полів (розмір посівних площ і врожайність зернових культур), вибрати комбайн з необхідними техніко-експлуатаційними характеристиками (ширина захвату жатки і як наслідок, його можлива продуктивність).

Надалі, для мінімізації собівартості доставки зернових культур, запропонований ряд можливих транспортно технологічних схем збирально-транспортного процесу, вибір якої здійснюється в залежності від вище (попередньо) розрахованої продуктивності зернозбирального агрегату. Розглянуті варіанти технологій дозволяють на етапі планування збиральної компанії підготувати необхідний парк транспортних і допоміжних механізованих засобів.

Надано графічну інтерпретацію запропонованої методики у вигляді номограми дослідження функціональних залежностей елементів ЗТК і використову-

ваних технологій. Наведена таблиця рекомендацій по вибору сучасних зернозбиральних комбайнів, ряду парку вантажопідйомності транспортних засобів і при необхідності додаткових допоміжних механізмів під кожну із запропонованих до розгляду груп сільськогосподарських підприємств.

Запропоновані дослідження базувалися на ранні проведених і описаних наукових працях [24-25]. Надалі планується перейти до витратної складової всього збирально-транспортного процесу з урахуванням не тільки техніко-експлуатаційних характеристик збиральних і транспортних засобів, технічних параметрів полів зернових культур, а також врахувати тимчасові обмеження на проведення збиральної компанії і вартісні показники її учасників (комбайну, парку автомобілів і допоміжних механізованих засобів).

2.5.2 Основні висновки за запропонованою методикою для формування раціональної структури збирально-транспортного комплексу

В результаті проведених досліджень:

1. За результатами аналізу теорії і практики функціонування збирально-транспортного комплексу при зборі врожаю сільськогосподарських культур виявлено відсутність комплексної методики для вибору раціональних умов взаємодії комбайнів і транспортних засобів. Тому проведене дослідження є актуальним і може бути запропоновано для власників, як парку комбайнів, так і перевізникам.

2. Розроблено критерій, що дозволяє проводити класифікацію комбайнів по групах з урахуванням їх технічних характеристик і структури посівних полів сільськогосподарського підприємства. При цьому всі основні класи комбайнів були розбиті на три групи з урахуванням ширини жатки і площі полів, відведених під посів зернових.

3. Встановлено, що при певних умовах продуктивність збиральних агрегатів, які відносяться до різних груп приблизно однакова. Це дає можливість підприємству вибрати менш витратний комбайн для збирання зернових культур з представлених альтернатив з урахуванням врожайності, яка існує на підприємстві.

4. За результатами встановленої закономірності між годинниковою продуктивністю комбайна і вантажопідйомністю відповідного транспортного комплексу, задіяного у конкретних схемах, можна зробити висновок про те, що при використанні технології взаємодії з бункером перевантажувачем автомобілі повинні перевозити більше вантажу, ніж при використанні прямого варіанта. У той же час, їх кількість буде менше, ніж в при перших двох варіантах транспортно-технологічних схем.

5. Встановлено, що для мінімізації питомої собівартості перевезення однієї тони зернових культур доцільно використовувати транспортно-технологічну схему з бункером перевантажувачем і рухомим складом з бортовим типом кузова. Тому, пошук компромісного рішення всіх учасників процесу збирання і доставки зернових культур ґрунтується на економічному показнику, який в повній мірі характеризує витратну складову процесу, формує тариф на

виконання робіт і визначає остаточну вартість зібраного врожаю. Тим самим, показник питомої собівартості побічно показує очікуваний розмір прибутку кожного з учасників збиральної компанії.

6. Для раціоналізації використання комбайнів, засобів механізації та автомобільного транспорту рекомендується використовувати номограму, яка дозволяє, на основі раніше визначених функціональних взаємозв'язків, побудувати логістичний ланцюг доставки врожаю з урахуванням технічних, технологічних і економічних параметрів роботи всього комплексу. Запропонована методика є науково-практичним інструментарієм для прийняття гнучких рішень, як керівникам сільськогосподарських підприємств, так і власникам парку збиральної техніки і перевізником.

7. На основі номограми складені рекомендації щодо вибору структури збирально-транспортного комплексу. Під кожен з трьох розглянутих технологій взаємодії рекомендуються комбайни вітчизняного і зарубіжного виробництва. Модельний ряд сучасної збиральної техніки підібраний відповідно до класифікації по групах. Також надано рекомендації щодо характеру їх взаємодії з транспортом на основі можливості використання зазначених транспортно-технологічних схем.

2.6 Принципи вибору управлінських рішень на основі нечіткої логіки при доставці зернових вантажів до морського порту

Сучасна Україна є одним з провідних експортерів зернових на світовому ринку. При цьому щороку спостерігається природна тенденція до збільшення експортних обсягів даної категорії сільськогосподарської продукції. Зростання пояснюється впровадженням нових смарт-технологій в агропромислову галузь, які позитивно відображаються на врожайності [26], і, в першу чергу, на збільшенні кількості центнерів зібраної пшениці з одного гектару.

При збільшенні обсягів постачань природним є виникнення питання щодо удосконалення процесу перевезення зернових вантажів до транспортних вузлів, з яких виконується відправка сільськогосподарської продукції на експорт. Найпоширенішою технологією доставки зернових вантажів в інші держави є варіант ланцюга постачань, де транспортне забезпечення здійснюється за допомогою автомобільного та морського транспорту [27]. При цьому останній виступає в ролі магістрального.

Саме у вирішенні питань вибору раціонального управлінського рішення і полягає ефективність функціонування ланцюга постачань «Виробництво (склад)-автомобільний транспорт-морський термінал-морський транспорт-порт призначення». Найбільша кількість проблемних питань, з точки зору транспортних технологій, виникає саме на ділянці ланцюга поставок між відправником і зерновим елеватором, що перебуває в порту.

Головна проблема, яка повинна бути вирішена в першу чергу, - зниження транспортних витрат від непродуктивних простоїв автомобілів в порту, які залежать від декількох факторів:

- рівня узгодженості між учасниками доставки при виконанні розвантажувальних робіт в порту;
- приналежності використовуваного парку вантажних автомобілів: власний або орендований;
- тоннажності судна, яке прибуває під навантаження і тривалості його перебування в порту.

Для зменшення часу перебування судна в порту під вантажними роботами необхідно забезпечити своєчасність прибуття навантажених автотранспортних засобів. Зазначений факт гарантує мінімізацію витрат перевізників і відвантаження зерна, відповідає за якість експортного рівню.

Організація даного типу поставок відбувається в оперативному періоді планування, тому при прийнятті управлінських рішень щодо формування раціональної структури парку автомобілів виникає безліч невизначених ситуацій, які породжують неоднозначність вибору коректного рішення з набору альтернатив при організації та управлінні транспортним процесом.

2.6.1 Основні проблеми при доставці зернових вантажів до морського порту та сучасні методи для їх вирішення

Використання транспортно-технологічної схеми за участю двох видів транспорту має свою специфіку, яка породжує деякі проблеми в логістиці транспорту і складського комплексу, через який відбувається перевантаження вантажопотоків. Для України до визначальних особливостей технології доставки зернових через морський термінал відносяться наступні:

- Для завантаження морських суден може використовуватися лише один з двох великих морських портів України, який знаходиться в місті Маріуполь. Пояснюється це тим, що в місті Чорноморське (Іллічівськ) вантажний термінал не має спеціалізованого зерноскладища (елеватора) і він не обладнаний необхідним типом вантажних механізмів, що унеможлиблює якісне завантаження морських транспортних засобів.

- Основні вантажопотоки, які направляються до порту транспортуються залізничним транспортом з усіх регіонів України, але для перевезення на невеликій відстані використовується лише автомобільний транспорт. При цьому автотransперевезення виконується різними транспортними компаніями або безпосередньо рухомим складом агропідприємств. Це призводить до значної схоластичності процесу прибуття автомобілів на термінал порту і істотно знижує узгодженість роботи розвантажувального пункту і автомобільного транспорту. У свою чергу, наднормативні простої автомобілів в очікуванні своєї черги на розвантаження є причиною зниження якості зерна при прийомі його на морському терміналі.

- Децентралізовані перевезення обумовлюють використання різнопланового рухомого складу, який здійснює транспортування зерна. У більшості випадків він застарів, що істотно відображається на втратах зерна при перевезенні і безпосередньо впливає на фізико-хімічні властивості вантажу. Це є головною причиною того, що сільськогосподарська продукція приходить в порт з надмір-

ною вологістю або температурою, а отже, не відповідає стандартам, які висуваються до експортних вантажів.

Таким чином, в період збільшення вантажопотоків зернових від агропідприємств до порту Маріуполя, стає питання централізованого підходу при організації транспортного процесу. Це дасть можливість істотного зменшення витрат на організацію перевізного процесу та знизить навантаження на термінал порту завдяки досягненню оптимального співвідношення провізних можливостей парку автомобілів виробничим потужностям розвантажувального пункту в порті.

Поточний об'єкт дослідження (процес руху зерна по ланцюгу постачань із застосуванням двох видів транспорту) може бути представлений у спрощеній формі на рисунку 2.6, який характеризує можливі варіанти доставки зерна по ланцюгу «фермерське господарство - морський порт» [28].

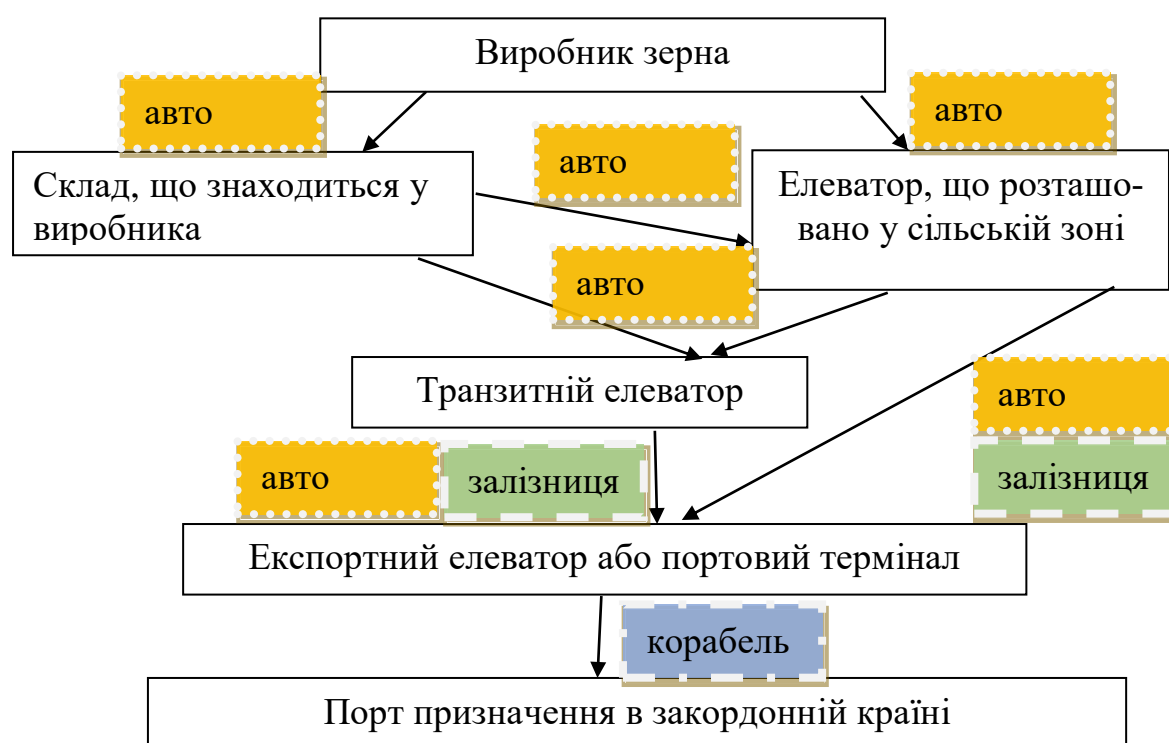


Рисунок 2.6 – Типова схема ланцюга постачань при експорті зернових вантажів

На основі даної схеми (Рис. 2.6) видно, що на більшій частині ланцюга постачань задіяний автомобільний транспорт. Тому на нього і доводиться більшість проблемних моментів з точки зору організації і управління транспортними потоками.

Так, важливим аспектом щодо вибору необхідного типу транспортного засобу є врахування фактору оренди автомобіля, який накладає додаткову нечіткість на досліджуваний об'єкт. Адже згідно зі щорічною доповіддю [29] для доставки зерна в порт фермерські господарства повинні використовувати в більшості своїй найманий рухомий склад. Це пояснюється тим, що постачальни-

ки високоякісного експортного зерна - це на 70% невеликі за посівними полями і виробничим потужностям фермерські господарства. Такому типу аграрних виробництв недоцільно утримувати великий парк рухомого складу. Адаже, автомобілі використовуються на 100% лише в певний сезон, а потім вони або простоюють, або здаються в оренду.

Автором в роботі [30] акцентовано увагу на тому, що доцільність застосування власного парку транспортних засобів вимагає обґрунтування.

У дослідженні [31] автор значну увагу приділяє вирішенню проблеми ефективного використання транспортних засобів у сільському господарстві. Важливим при зборі врожаю є запобігання простою зернозбиральних машин через відсутність транспортних засобів. Уникнути цього можна завдяки правильній організації збирально-транспортних робіт, для чого розраховують необхідну кількість транспортних засобів. Дана робота показує технологію проведення узгодження при вантажно-розвантажувальних роботах, проте не дозволяє прийняти управлінське рішення для вибору автомобілів при випадковому характері попиту.

Дослідження [32] присвячено вивченню особливостей транспортного процесу, здійснюваного основними видами транспорту при доставці в ланцюзі постачань зерна. Автори провели детальний аналіз переваг використання кожної групи транспорту. Але, представлені математичні моделі не дають можливості виробити управлінське рішення. Вони є лише результуючою складовою, яка показує який варіант транспортування зерна буде пріоритетним.

Цікавим з точки зору взаємодії транспорту з термінальною системою є роботи [33, 34], виконані на прикладі функціонування пасажирських термінальних систем. У дослідженні для безперебійної роботи пасажирського терміналу використовуються принципи, які можуть частково бути перенесені при виробленні управлінського рішення в процесі доставки зернового вантажу. Йдеться про те, що в основу проектування системи закладені прогнольні моделі попиту на перевезення.

Особливістю дослідження [35] є підбір принципів для ефективного управління транспортом з урахуванням фактору попиту на перевезення специфічних вантажів: машини, сільськогосподарське обладнання та військові поставки. При цьому підхід цікавий перш за все через вид сполучення, в якому відбувається відправка - міжнародне - і нерегулярності поставок за аналогією з варіантом відправки зерна на морський термінал. Представлені в роботі моделі дозволяють оптимізувати час знаходження судна, розрахувати найкращі варіанти графіків прибуття автотранспорту для завантаження корабля. Однак вони ґрунтуються на евристичних принципах, які не дозволяють нівелювати фактор невизначеності в досліджуваному процесі.

Автори роботи [36] розглядають ефективність ланцюга поставок, ґрунтуючись на прогнозних значеннях попиту на перевезення і скоординованій роботі транспорту і засобів розвантаження. Аналіз проведеного дослідження показав, що наявність достовірної інформації стає пріоритетним чинником. За рахунок цього аспекту можна розробити управляючі дії, спрямовані на поліпшення процесу перевезення зерна в порт. Однак, дані моделі не працюють при оператив-

ному плануванні, коли необхідно швидко приймати коректне рішення з урахуванням фактору невизначеності.

Підвищення ефективності управління системи доставки вантажу з використанням логістичних терміналів і отримання синергетичного ефекту за рахунок оптимізації технологічних і управлінських рішень, спрямованих на ресурсозбереження та синхронізацію логістичних потоків, запропоновано автором роботи [37]. Однак в дослідженні не розглянуті питання кореляції роботи автомобілів і розвантажувального пункту.

Представлений підхід авторів [38] дозволяє раціоналізувати структуру парку контейнерів, які проходять через термінальний комплекс. Підхід заснований на отриманні прогнозу майбутніх обсягів перевезення на основі класичних імовірнісних принципів. Система не може бути використана в повному обсязі при плануванні доставки зернових вантажів через морський термінал, так як не дозволяє прийняти оперативні управлінські рішення.

В роботі [39] авторами детально розглянуті принципи функціонування морського терміналу при нерівномірності вхідних і вихідних вантажопотоків. Визначено оптимальний час знаходження судна на причалі. Однак немає методики прийняття рішень на основі декількох факторів. Зокрема, з урахуванням параметрів роботи парку автомобілів.

Дослідження в роботі [40] присвячені використанню методики визначення затримок поїзда порівняно з розкладом. Представлена модель дозволяє розробити гнучкий графік руху поїздів, щоб уникнути затримок по прибуттю на станцію. Деякі принципи можуть бути використані для координації роботи учасників запропонованої ланцюга поставок. Однак даний підхід застосовувався лише на прикладі залізничного транспорту і без урахування фактору коливань попиту на перевезення.

Згідно зі стратегією розвитку запропонованої міністерством України [41] навантаження на портові потужності, а також на транспорт, що забезпечує доставку зерна та іншої сільськогосподарської продукції, буде зростати. Тому актуальність вироблення коректних управлінських рішень підвищується. Зокрема, зроблені перші кроки в цьому напрямку. Так, в роботі [42] запропонована методика вибору раціональної дальності контрейлерної доставки вантажів у міжнародному сполученні, заснована на визначенні рівноважного значення відстані перевезення для альтернативних варіантів: доставки автомобільним транспортом у прямому сполученні і контрейлерної доставки. Однак в роботі немає рекомендацій щодо вибору раціональних рішень при варіанті ланцюга поставки «зерновий елеватор-морський термінал», коли сполучною ланкою виступає вантажний автотранспорт. Це тим більш актуально в зв'язку з майбутнім запуском нового морського терміналу з сучасними потужностями [43].

У роботах [44-47] опрацьовані основні принципи синхронізації роботи різних категорій транспорту і вибору кращих варіантів на основі принципу мінімальних витрат. Однак, для транспортування зерна запропоновані моделі працюватимуть за умови постійного попиту, що в принципі не спостерігається. Наявність коливань на поставку зернових в порт викликано суттєвими коливаннями ціни на дану продукцію на світових ринках. Від цього у виробника зерна

з'являється бажання продати продукцію дорожче. А отже, про регулярність поставок зерна в порт мови не йде. Тому для планування необхідно використовувати підходи, які враховують фактор невизначеності.

Однією з найближчих робіт в контексті даної проблеми стало дослідження [48]. У ньому автор запропонувала графік технологічного процесу функціонування виробництва і транспорту, що передбачає скоординовану технологію роботи взаємопов'язаних підприємств при організації контрейлерної доставки в умовах функціонування транспортно-логістичного кластера. Однак обраний рівень планування не є оперативним, тому система підтримки ухвалення рішень буде давати збої при доставці зернових культур в порт. При цьому запропонована розробка ідеально підходить для управління при включенні в ланцюг постачань залізничного транспорту.

У дослідженнях [49, 50] автори запропонували підхід до регулювання прибуття наземного вантажного транспорту в порт, виходячи з відомого графіка прибуття суден у порт. В якості базової моделі використовується класична задача лінійного програмування. Дана методика не може усунути фактор невизначеності, яка виникає при доставці зерна в морський термінал.

Робота [51] присвячена підтримці достатнього рівня надійності в ланцюзі постачань. Планування здійснюється на підставі точних прогнозних значень обсягів перевезення. Дана методика не апробована на вантажах, які мають сезонний характер попиту, такі як сільськогосподарська продукція.

В роботі [52] передбачається поділ рівнів управління вантажним транспортом при доставці товарів через транзитні склади. Однак, представлений аналіз є всього лише рекомендацією для розробки моделей, що дозволяють приймати конкретні управлінські рішення.

Для визначення оптимального обсягу одночасної поставки зерна на термінал порту і оптимального інтервалу постачання пропонується розробити математичну модель, яка б враховувала технологічні особливості процесу доставки в розглянутому варіанті ланцюга постачань. Впровадження технології на основі отриманих оптимальних параметрів дозволить підвищити ефективність використання рухомого складу і виробничої потужності портового терміналу [53]. Зменшення експлуатаційних витрат призведе до зменшення остаточної експортної вартості сільськогосподарської продукції, яка транспортується через морський термінал.

Таким чином, для вироблення раціонального набору управлінських впливів на розглянутому ланцюгу постачань необхідно застосовувати нечітку логіку. Даний математичний апарат дозволяє досягти кращих результатів при наявності великої кількості нечітко-визначених факторів.

2.6.2 Математична формалізація методики прийняття управлінських рішень при доставці зернових вантажів до порту з використанням апарату нечіткої логіки

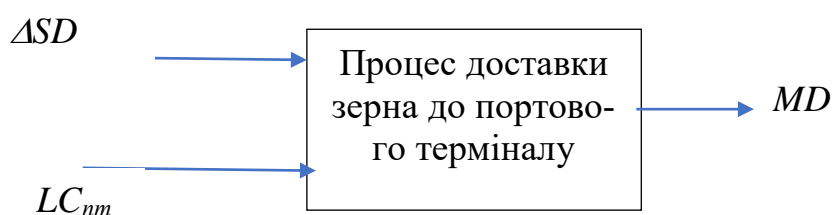
Для розглянутої ділянки ланцюга постачань «зерновий елеватор- морський термінал» вибір ефективного управлінського рішення при оперативному

плануванні роботою вантажних автомобілів ще більше ускладнюється. Це викликано тим, що відносні переваги між окремими варіантами альтернативних рішень описані нечітко, що обумовлюється, в першу чергу, нечіткістю самої множини альтернатив. Тому, саме математичний апарат теорії нечітких множин дозволяє істотно полегшити формалізацію і успішно вирішити завдання формування раціонального парку транспортних засобів в умовах існуючої невизначеності.

Тому основна задача дослідження - виробити набір управлінських рішень для формування раціонального парку транспортних засобів в умовах стохастичного характеру попиту на перевезення зернових по ділянці ланцюга постачань «зерновий елеватор- морський термінал».

В якості математичної моделі оперативного планування роботи автомобілів, які здійснюють перевезення на ділянці ланцюга поставок «зерновий елеватор-морський термінал», пропонується використовувати нечіткий модуль управління. Це дозволить на основі наближених розрахунків врахувати невизначеність вхідної (що надходить) інформації, яка представлена у вигляді нечітко визначених параметрів, обмежень і критеріїв, які виводяться з детального аналізу технології оперативного планування перевезеннями.

Следовательно, при анализе и на основании имеющейся информации об исследуемой системе было выявлено множество всех допустимых альтернатив для выработки наиболее рационального управленческого решения по формированию рациональной структуры парка автомобилей. Это позволило создать систему с двумя входами $X_i \in \{\Delta SD; LC\}$ и одним дискретным выходом $Y_i \in \{MD_i\}$, где дискретные значения $MD_i = md_1, md_2, \dots, md_n$, соответствующие одному из уровней принятия решений. Для этого исследуемый объект представлен в виде кибернетической модели черного ящика (Рис.2.7):



Умовні позначення: ΔSD - очікувані темпи зміни попиту на перевезення сільськогосподарського вантажу в плановий період, т; LC - оптимальний рівень завантаження рухомого складу; MD - управлінське рішення, спрямоване на формування раціональної структури парку автомобілів на оперативний період планування.

Рисунок 2.7 – Кібернетична модель чорного ящика для формування раціональних розмірів парку автомобілів при транспортуванні зерна

При цьому цільова функція для формування раціональної структури парку автомобілів при перевезенні сільськогосподарської продукції в морський термінал матиме наступний вигляд:

$$MD_i \in \{md_1, md_2, \dots, md_n\} \rightarrow rational . \quad (2.19)$$

З метою ефективної організації перевезення сільськогосподарських вантажів автотранспортом необхідно своєчасне застосування регулюючих заходів для коригування прийнятих планів з освоєння потенційних обсягів вантажу. В рамках завдання управління приймаються управлінські рішення щодо визначення і збереження на оптимальному рівні співвідношення між номінальною вантажопідйомністю транспортних засобів, задіяних в процесі доставки, і фактичною кількістю сільськогосподарського вантажу, яке знаходиться на морському терміналі, і тоннажністю судна, яке прибуває в порт.

Виходячи з мети дослідження в математичному вигляді задача пошуку оптимального управлінського рішення виглядає наступним чином:

$$X_i \in \{\Delta SD; LC\} \Rightarrow Y \in \{MD_i = md_1, \dots, md_n, n = \overline{1,7}\} \rightarrow rational . \quad (2.20)$$

Можливий набір альтернатив складається з семи рівнів рішень з управління системою перевезення зерна. Вони представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Запропоновані рівні варіювання управлінських рішень

Рівень управління	Умове позначення	Опис управлінської дії
I	md_1	не змінювати кількості і вантажопідйомності автомобілів, які здійснюють доставку сільськогосподарського вантажу
II	md_2	зменшити вантажопідйомність автомобілів, які здійснюють перевезення сільськогосподарського вантажу
III	md_3	збільшити вантажопідйомність автомобілів, які здійснюють перевезення сільськогосподарського вантажу
IV	md_4	зменшити кількість автомобілів
V	md_5	збільшити кількість автомобілів
VI	md_6	зменшити кількість автомобілів, з одночасним збільшенням вантажності машин, які залишилися для перевезення зерна
VII	md_7	збільшити кількість автомобілів, з одночасним зменшенням вантажопідйомності рухомого складу, який необхідний для перевезення зерна в морський термінал

Виходячи з ретроспективного аналізу (retrospective analysis) про параметри функціонування системи по доставки зерна в морський термінал автомобільним транспортом був вивчений принцип формування управлінських впливів.

Суть технології оперативного регулювання при формуванні якісної структури парку автомобілів передбачає проведення прогнозування попиту на сільськогосподарські вантажі, що доставляються в порт. Для адекватності результатів застосовується принцип «віддаленого горизонту» в межах планування на оперативний період.

При організації перевезень зерна резервування рухомого складу і формування маршрутів повинно відбуватися в інтервалі між прибуттям двох кораблів в порт. Зазвичай цей період не перевищує семи днів. Тижневий термін при необхідності дозволяє провести повну координацію в роботі всіх учасників ланцюга постачань на ділянці «зерновий елеватор-морський термінал», що знижує можливі втрати зерна через простій і зменшує витратну складову. Також зазначений період планування дозволяє ввести коригування в графік роботи або маршрут руху автомобіля, якщо виникне позапланова необхідність.

Тому, перша вхідна змінна нечіткої моделі асоціюється з параметром навантаження на об'єкт ідентифікації, тобто на ділянку ланцюга поставок «зерновий елеватор-морський термінал». Швидкість зміни попиту визначена, як очікувані темпи зміни даного показника на перевезення зерна в інтервалі між прибуттям двох кораблів, тобто на період планування:

$$\Delta SD = \frac{D_{after}^{sh2} - D_{befor}^{sh1}}{I_{sh1}^{sh2}}, \quad (2.21)$$

де D_{befor}^{sh1} - фактичне значення попиту вантажопідйомність автомобілів перед прибуттям першого судна в порт, тобто на початок планування, т;

D_{after}^{sh2} - прогнозне значення попиту на перевезення зерна перед прибуттям другого корабля в порт, яке визначається на підставі завантаженості терміналу зерном і тоннажності самого судна, т. Враховує тенденцію зміни попиту на перевезення;

I_{sh1}^{sh2} - інтервал між заходом в порт попередніх і наступних кораблів, днів. Даний показник характеризує часовий горизонт планування перевізним процесом.

У разі якщо за результатами розрахунку залежності (2.21) виходить від'ємне значення, то це свідчить про зниження обсягів перевезень. Виходом буде зменшення кількості автомобілів або ж вантажопідйомності, а можливо двох показників одночасно. При позитивному значенні попит на перевезення зерна збільшується, що говорить про необхідність збільшення провізних можливостей парку автомобілів.

Другий вхідний фактор в об'єкт дослідження характеризує умова рентабельності роботи автомобілів. Оптимальний рівень завантаження парку автомобілів характеризує доцільність їх використання на даному полігоні обслуго-

вування. Оптимальне значення даного показника визначається виходячи з одночасного виконання двох умов представленої системи нерівностей:

$$LC = \begin{cases} LC_{opt}^{auto} \geq LC_{min}^{-30\%} \\ LC_{opt}^{auto} \leq LC_{max}^{+30\%} \end{cases}, \quad (2.22)$$

де LC_{opt}^{auto} - оптимальний рівень завантаження множини автомобілів, що здійснюють доставку зерна на ділянці ланцюга постачань «зерновий елеватор-морський термінал»;

$LC_{min}^{-30\%}$ - середнє значення мінімально допустимого рівня завантаження автомобілів, які здійснюють перевезення;

$LC_{max}^{+30\%}$ - середнє значення максимально допустимого рівня завантаження автомобілів, які здійснюють перевезення.

Залежність (2.22) має сенс, якщо значення $LC_{min}^{-30\%}$ не може бути менше, ніж на 30% від тоннажності судна. Так як велику різницю складно компенсувати за рахунок резервів зерна, яке може перебувати у сховищі морського терміналу. Аналогічно рішення виникає при виконанні другої умови системи нерівностей (2.22), коли оптимальний рівень завантаження автомобілів не буде перевищувати $LC_{max}^{+30\%}$ більш ніж на 30%, тому що створювати надлишковий резерв зерна на сховище в порту за тиждень до прибуття наступного судна недоцільно. В цьому випадку продукція може втратити свої якісні характеристики і не відповідати експортним стандартам.

Даний підхід дозволяє раціоналізувати процес організації доставки зерна на ділянці ланцюга постачань «зерновий елеватор-морський термінал» та знизити втрати від використання надмірної кількості рухомого складу при повному задоволенні попиту на перевезення.

2.6.3 Результати використання апарату нечіткої логіки для формалізації терм-множин, описуючих при доставці зернових вантажів до порту

На основі безперервності безлічі базових значень вхідних змінних може бути використаний функціональний метод визначення форми представлення нечітких термів [54, 55]. Аналіз теорії нечіткої логіки показав, що найбільшого поширення в практичних додатках отримали трикутні, трапецієподібні і дзвонovidні (гаусові) функції приналежності, параметри яких дозволяють змінювати форму функцій. Тому пропонується проста і зручна для настройки аналітична модель функцій приналежності змінної x_k довільного нечіткого терму T_k^p у вигляді:

$$\mu(T_k^p) = \left(\frac{x_k - b_k^m}{c_k^m} \right)^{\exp}, \quad (2.23)$$

де b_k^m і c_k^m параметри налаштування функції приналежності;

b_k^m - координата максимуму функції;

c_k^m - коефіцієнт концентрації функції.

Виходячи з розглянутих обмежень і вимог, входи моделі представлені у вигляді лінгвістичних змінних, значення яких визначаються на єдиній шкалі з п'яти термів для всіх $x_k, k = \overline{1, m}$.

Виходячи з фізичного змісту показника і існуючих умов роботи автомобілів під час перевезення зерна, можна скласти набір терм-множин (Таблиця 2:4).

Таблиця 2:4 - Лінгвістичні змінні вхідних параметрів

Назва лінгвістичної змінної	Символ	Розподіл терм-множин	Характеристика терм-множин
Очікувані темпи зміни транспортного попиту на сільськогосподарські вантажі	$LV(\Delta SD)$	негативне істотно	Завантаження корабля про-виходить із затримкою через відсутність резервів
		негативне незначно	Завантаження корабля відбувається за рахунок резервів зерна, що знаходяться на терміналі до 30%
		середнє	Завантаження корабля відбувається за прямим варіантом з автомобіля на судно
		незначно позитивне	Повне завантаження судна і створення максимально можливого резерву зерна
		істотно позитивний	Простій автомобілів через необхідність вивантаження надлишків зерна в термінал
Оптимальний рівень завантажень автомобілів	$LV(LC)$	нижче оптимального	Провізні можливості менше на 30% тоннажності судна
		оптимальне	Провізні можливості рівні тоннажності судна
		вище оптимального	Провізні можливості перевищують тоннажність на 30%

Для настройки функцій приналежності необхідно задати кількісні характеристики вхідних параметрів, які описуються певною терм-множиною. При цьому згідно з класичним положенням теорії нечітких множин кількісні характеристики вхідних параметрів представляються нечітко у вигляді набору лінгвістичних змінних. Вони можуть розділятися на три групи. У деяких випадках застосовується більш деталізоване поділ термів на лінгвістичні змінні (*LV*), наприклад на п'ять категорій [56-58]:

- Н - низьке значення параметра;
- НС - значення параметра нижче середнього;
- С - середнє значення показника;
- ВС - значення параметра вище середнього;
- В - високе значення показника.

Представлена характеристика терм-множин дозволить провести коректне налаштування функції приналежності і вибрати найкращий варіант для формування простору нечітко визначених вхідних факторів для пошуку раціонального управлінського рішення при організації перевізного процесу зерна [59-60] на ділянці ланцюга поставок «зерновий елеватор-морський термінал» в оперативний період планування.

За результатами дослідження проведено обґрунтування розподілу управлінських рішень щодо формування раціональної структури парку автомобілів виходячи з характеру невизначеності вхідних параметрів. Всього виділено сім рівнів. Для вироблення коректного управлінського рішення обґрунтовані значення вхідних факторів у вигляді набору лінгвістичних змінних. Під розроблений набір нечітких термів, які характеризують рівні невизначеності кожного з вхідних факторів буде проведена настройка функцій приналежності. Вони допоможуть побудувати універсальний простір з пошуку раціонального управлінського рішення при організації доставки зерна в морський термінал. Подібний підхід знімає фактор невизначеності прийнятого рішення при оперативному періоді планування перевізного процесу, що гарантує прийняття коректного управлінського впливу на систему в умовах швидкоплинної ситуації. Як подальшого напрямку дослідження, крім розробки простору нечітко визначених вхідних параметрів, буде виконаний прогноз попиту на перевезення зерна в кожен період на основі нейронних мереж.

2.7 Список використаних джерел до розділу 2

1. Аграрная доля ВВП Украины составит 37% по итогам 2015 года [Электронный ресурс] // Инфоиндустрия. – Режим доступа : <http://infoindustria.com.ua/agrarnaya-dolya-vvp-ukrainyi-sostavit-37-po-itogam-2015-goda/>.
2. Домуші Д. П. Особливості організації технологічного процесу збирання зернових культур [Текст] / Д. П. Домуші, М. А. Новаковський // Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки. – 2013. – Вип. 67. – С. 157-161. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/avpt_2013_67_28.

3. Нефьодов В. М. Рационализация технологий перевозень зерна [Текст]/ В. М. Нефьодов, Ю. А. Ткаченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 3(3). – С. 13-15. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2013_3\(3\)_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2013_3(3)_4).

4. Шраменко Н. Ю. Вплив технологічних параметрів процесу функціонування транспортно-складського комплексу на собівартість переробки вантажу [Текст] / Н. Ю. Шраменко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 5(3)(77). – С. 43-47.

5. Павленко О. В. Вибір раціональної транспортно-технологічної схеми доставки тарно-штучних вантажів у міжрегіональному сполученні [Текст]/ О. В. Павленко, О. П. Калініченко, О. В. Найдьон // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. – 2011. – № 6/4. – С. 55-58. – Бібліогр.: 5 назв. – укр.

6. Музылев Д. Критерий выбора рациональной технологии доставки сельскохозяйственных грузов [Текст] / Д. Музылев, Н. Карнаух, Н. Бережная, О. Кутья // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Vol. 17, №7. – Lublin – Rzeszow, 2015. – С. 67-73.

7. Музыльов Д. О. Порядок формування комбінацій вихідних даних для визначення розмірів збирально-транспортного комплексу / Д. О. Музыльов, А. Г. Кравцов, Н. Г. Бережна, О. І. Усков [Текст]// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2015. – Вип. 160. – С. 273-279. – Режим доступа : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2015_160_46.

8. Музылев Д. А. Определение рациональной структуры уборочно-транспортного комплекса [Текст] / Д. А. Музылев, Н. Г. Бережная // Научное обозрение. – 2015. – № 24. – С. 461-469.

9. Сенькевич А.А. Совершенствование транспортного обслуживания процесса уборки зерновых колосовых в сельскохозяйственных предприятиях [Электронный ресурс]/ А.А. Сенькевич, С.К. Филатов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2012. – №05(079). – С. 317–327. – IDA [article ID]: 0791205020. – Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2012/05/pdf/20.pdf>.

10. Лунякин В.Н. Оптимизация уборочно-транспортного процесса уборки зерновых культур с использованием передвижного перегрузчика: дисс. канд. техн. наук / Валерий Николаевич Лунякин. – Москва, 2004. –190 с.

11. Абаев В.В. Повышение эффективности функционирования оптимальной системы технологий уборки зерновых культур [Электронный ресурс]/ В.В. Абаев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2011. – №70(06). – С. 1–14. - IDA [article ID]: 0701106001. – Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2011/06/pdf/01.pdf>.

12. Kusumastutia, R. D. Crop-related harvesting and processing planning: a review [Text] / R. D.Kusumastutia, D. P. van Donkb, R. Teunterb // International Journal of Production Economics. – Volume 174. – 2016. – P. 76–92.

13. Ferrer J.-C. An optimization approach for scheduling wine grape harvest operation [Text] / J.-C. Ferrer, A. M. Cawley, S. Maturana, S. Toloza, J. Vera // International Journal of Production Economics. – Volume 112. – 2008. – P. 985–999.
14. Jorio R. Incorporation of sugarcane harvesting and transport variables into a sugarcane harvest and transport scheduling model [Text] / R. Jorio, B. Legendre, L. Gautz, R. Abdellaoui // Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass. – Volume 80. – 2006. – P. 71-85.
15. Barwiski J. Input analyses of maize harvesting and ensilaging technologies / J. Barwiski, S Gach, S Ivanovs // Agronomy Research : Biosystem Engineering. – Special Issue 1. – 2011. - P. 31-36.
16. Yu Lin Li Control of Crop Harvesting and Transport Process by Kanban Mechanism / Y.L. Li, S.P. Yi, H.C. Song, N. Liu // The Open Automation and Control Systems Journal. - Volume 5. – 2013. – P. 67–72.
17. Barwiski J. Technical and economical analysis of harvesting and ensilaging of corn grain / J. Barwiski, S Gach, K. Koprzyz, S Ivanovs, A. Adamovics, O. Valainis // Agronomy Research. – Volume 12(1). – 2014. - P. 33-40.
18. Музильов Д.О. Критерій формування збирально-транспортного комплексу з урахуванням сучасних економічних умов агропромислової галузі України [Текст] / Д.О. Музильов, Н.Г. Бережна, О.В. Кутья // Збірник наукових праць Харків НТУ «ХП», Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси» № 36(1145)2015, С. 80-83
19. Флинт А. Зерноуборочный комбайн: характеристики и советы по выбору [Электронный ресурс]/ Анна Флинт // Syl.ru. – Режим доступа : http://www.syl.ru/article/192396/new_zernouborochnyiy-kombayn-harakteristiki-i-sovetyi-po-vyiboru.
20. Особов, В.И. Жатки зерноуборочных комбайнов фирмы CLAAS [Электронный ресурс] / В.И. Особов // Аграрное обозрение. – 2013. – №2. – Режим доступа : <http://agroobzor.ru/sht/a-213.html>.
21. Выявление ключевых параметров сдерживающих развитие БТС и подсистем [Электронный ресурс]// Функциональная модель комбайна. – Режим доступа : <http://konesh.ru/funkcionalenaya-modele-kombajna-stranica-5.html>.
22. Зерноуборочный комбайн Полесье 1218 : отзыв [Электронный ресурс] // Форум сайта Фермер.ру. – Режим доступа : <http://fermer.ru/forum/uborochnaya-tehnika-selskohozyaystvennaya-tehnika/29198>.
23. Северин О.О. Вантажні роботи на автомобільному транспорті: організація і технологія: Підручник / О.О. Северин. - Харків: ХНАДУ, 2007. - 384с.
24. Музылев Д.А. Разработка методики выбора условий взаимодействия зерноуборочного и транспортного комплексов / Д.А. Музылев, А.Г. Кравцов, Н.В. Карнаух, Н.Г. Бережная, О.В. Кутья / Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – Vol 2, №3 (80). — С. 11–21.
25. Музылёв Д.А. Причины рационализации состава транспортно-уборочного комплекса при перевозке зерна / Д.А. Музылёв, А.Е. Стебаков // Матер. Всеукр. конф. Мин-во аграр. политики и продовольствия Украины.

ХНТУСХ / Инновационные разработки студентов и молодых ученых в области технического сервиса машин. 26.11-27.11.2014. – С. 120.

26. Muzylyov DA, Kravcov AG, Karnayh NV, Berezhnaja NG & Kutiyaya OV, "Development of a methodology for choosing conditions of interaction between harvesting and transport complexes", *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No.3, (2016), pp.11–21. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65670>.

27. Музылев Д. Критерий выбора рациональной технологии доставки сельскохозяйственных грузов [Текст] / Д. Музылев, Н. Карнаух, Н. Бережная, О. Кутья // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Vol. 17, №7. – Lublin – Rzeszow, 2015. – С. 67-73.

28. "The transportation of grain", *Envision freight*, A roadmap of freight compatibility, USA, (2010), available online: <http://www.envisionfreight.com/value/pdf/Grain.pdf>, last visit:15.06.2016.

29. Association of Canadian Port Authorities "An Overview of the Western Grain Handling and Transportation System", Annual Meeting, Thunder Bay, September 8, 2016. – Report in PowerPoint (format of presentations).

30. Moroz, M.M., 2015. Defining the term and the volume of investments on reduction to necessary structure of rolling stock of passenger public transport (Kremenchuk city case study) // *Actual Problems of Economics*, Vol. 166 (4), pp. 235–243.

31. Тихоненко О. Ю. Эффективность использования автомобильного та тракторного транспорта на перевезенні зерна під час збирання зернових культур. – М.: Транспорт, 2008. – 142 с.

32. Ocotlán Díaz-Parra, Jorge A. Ruiz-Vanoye, Beatriz Bernábe Loranca, Alejandro Fuentes-Penna, and Ricardo A. Barrera-Cámara, "A Survey of Transportation Problems", *Journal of Applied Mathematics*, Vol.2014, Article ID 848129, (2014), pp:1-17, <http://dx.doi.org/10.1109/MMM.2013.2248651>.

33. R. Ghanbari and N. Mahdavi-Amiri, "Solving bus terminal location problems using evolutionary algorithms," *Applied Soft Computing Journal*, vol. 11, no. 1, (2011), pp. 991–999, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2010.01.019>.

34. Moroz, O.V. and Moroz, M.M., 2014. Specific features of city public transport financing (Kremenchuk case study). *Actual Problems of Economics*, 160(1), pp. 239–246.

35. B. O. Øvstebø, L. M. Hvattum, and K. Fagerholt, "Optimization of stowage plans for RoRo ships," *Computers and Operations Research*, vol. 38, no. 10, pp. 1425–1434, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.01.004>.

36. Spiliotopoulou E, Donohue K & Gürbüz MÇ, "Information reliability in supply chains: the case of multiple retailers", *Production and Operations Management*, Vol.25, No.3, (2016), pp.548-567, <https://doi.org/10.1111/poms.12418>.

37. Shramenko NY, "Methodology for evaluation of synergy effect in terminal cargo delivery system", *Actual Problems of Economics*, No.8(182), (2016), pp.439-444.

38. Орда О. О. Модель синхронізації технолого-логістичних параметрів інтермодальних контейнерних перевезень в ланцюгах постачань / О. О. Орда, Є.

В. Нагорний // International academy journal Web of Scholar: RS Global Media. – 2017. – № 6(15). – С. 10–15.

39. M. Postan, L. Kushnir, "A method of determination of port terminal capacity under irregular cargo delivery and pickup", *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No.3(82), (2016), pp.30–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.76285>.

40. Butko T., Prokhorchenko A., Golovko T., Prokhorchenko G. "Development of the method for modeling the propagation of delays in non-cyclic train scheduling on the railroads with mixed traffic", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No.3 (91), (2018), pp. 30-39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123141>.

41. Lomotko, D., Kovalov, A. and Kovalova, O., 2015. Formation of fuzzy support system for decision-making on merchantability of rolling stock in its allocation. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies* [e-journal], 6(3(78)), pp. 11–17. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2015.54496>.

42. A. Shkliar, A. Isayev, D. Yagello, A. Tovstopyat, P. Rudenko, I. Bakhareva, "Ukraine –Agricultural Trade, Transport, and Logistic Advisory Services Activity, *Centre for transport strategies*, (2014), P.64, available online: http://mtu.gov.ua/files/for_investors/Ukraine%20Agricultural%20Trade%20Transport%20and%20Logistic.pdf.

43. Shramenko, N. Y., "The methodological aspect of the study feasibility of intermodal technology of cargo delivery in international traffic", *Scientific Bulletin of National Mining University*, Vol. 4, No.(160), (2017), pp.145–150.

44. UkrAgroConsult, "Ukraine. Investments to port logistics continue", *UkrAgroConsult*, (2018), available online: <http://www.blackseagrains.net/novosti/ukraine-investments-to-port-logistics-continue>.

45. Mes, M. R., & Iacob, M.-E. (2016). Synchromodal transport planning at a logistics service provider logistics and supply chain innovation (pp. 23–36). Cham: Springer

46. Oonk, M. (2014). Smart logistics corridors and the benefits of intelligent transport systems. Paper presented at the Transport Research Arena (TRA) 5th Conference: Transport Solutions from Research to Deployment, Paris.

47. Raap, W. B., Iacob, M.-E., van Sinderen, M., & Piest, S. (2016). An architecture and common data model for open data-based cargo-tracking in synchromodal logistics. Paper presented at the OTM Confederated International Conferences "On the Move to Meaningful Internet Systems".

48. Bhattacharya, A., Kumar, S. A., Tiwari, M., & Talluri, S. (2014). An intermodal freight transport system for optimal supply chain logistics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 73–84.10.1016/j.trc.2013.10.012.

49. Shramenko N.Y., "Evaluation of the effectiveness of piggyback traffic in the context of creating transport and logistics clusters", *Scientific Bulletin of National Mining University*, Vol.6, No.(162), (2017), pp.151-155.

50. Yu. Kruk, M. Postan, "Development and analysis of dynamic optimization model of transport flows interaction at port terminal", *Eastern European Journal*

of Enterprise Technologies, Vol. 1, No.3(79), (2016), pp.19–23, <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.61154>.

51. Nossack, J., "Operational planning problems in international freight transportation". Ser. 5 "European University Studies", Vol. 3431. (2013), Berlin: Peter Lang International Academic Publishers, P.136.

52. Eirini Spiliotopoulou, Karen Donohue, Mustafa Çağrı Gürbüz, "Information Reliability in Supply Chains: The Case of Multiple Retailers", *Special Issue on Multi-Methodological Research In Production And Operations Management*, Vol. 25, No.3, (2015), pp.548–567, <https://doi.org/10.1111/poms.12418>.

53. An Caris, Cathy Macharis, Gerrit K. Janssens "Planning Problems in Intermodal Freight Transport: Accomplishments and Prospects", *Journal Transportation Planning and Technology*, Vol. 31, No.3, (2008), pp.277–302, <https://doi.org/10.1080/03081060802086397>.

54. Shramenko NY, "Effect of process-dependent parameters of the handling-and-storage facility operation on the cargo handling cost", *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Vol.5/3(77), (2015), pp.43-47, <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51396>.

55. Tong R.M. The construction and evaluation of fuzzy models.- In: Advances in fuzzy set theory and applications / Ed. By Gupta M.M., Ragade R.M., Jager R.R. - Amsterdam: North-Holland, 1979. - P. 559-575.

56. Shramenko, N., Muzylyov, D. and Karnaukh, M. (2018) 'The principles of the choice of management decisions based on fuzzy logic for cargo delivery of grain to the seaport', *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, Vol. 7 No. 4.3, pp.211 - 216.

57. Прохорченко А.В. Удосконалення роботи пасажирської технічної станції на основі технології оперативного регулювання составоутворення : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.20 "Експлуатація та ремонт засобів транспорту" / А.В. Прохорченко. – Харків, 2008. – 20 с.

58. Нагорный, Е.В. Методика проектирования виртуальных маршрутов при перевозке товаров народного потребления в городах / Е.В. Нагорный, Д.А. Музыльов, А.С. Черепаха // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. – 2012. – Вып. 56. – С. 151–156.

59. Музыльов Д.О. Принципи створення віртуальної програми для моделювання перевізного процесу сільськогосподарських вантажів на платформі Java / Д.О. Музыльов, В.А. Гречененко, А.В. Лимаренко // *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. – Харків : ХНТУСГ, 2017. – № 8. – С. 226-236.

60. Нагорный Е. В. Постановка задачи разработки модели поддержки принятия решений субъектами транспортных рынков / Е. В. Нагорный, Д. А. Музыльов, А. С. Черепаха // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – Харьков : ВЕЖПТ, 2011. - Т. 6. - С. 21-23.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ

3.1 Сучасний стан транспортно-логістичного обслуговування процесу доставки сільськогосподарських вантажів

Всі напрями сільського господарства мають як спільне, так і особливе в процесах виробництва. Основною загальною характеристикою аграрної галузі є сезонність, а відповідно і пов'язані з нею обмеження в часі на виконання сівби, збиральних, перевантажувальних і транспортних робіт. Пора збору врожаю найважливіша й найважча для аграріїв. Для виробників цукрового буряку (ЦБ) цей період характеризується інтенсивним вантажопотоком; обмеженістю в часі виконання безперебійної доставки високоякісної, за умовами цукроваріння, перероблювальної сировини на завод; узгодженістю в роботі усіх учасників збирально-транспортного комплексу (ЗТК). Ефективне управління доставкою коренеплоду на завод є запорукою надійного і економічно-вигідного функціонування транспортно-логістичного комплексу (ТЛК) при перевезенні ЦБ.

Ряд відомих науковців і дослідників присвятили свої дослідження проблемам, пов'язаним з економікою та організацією перевезень сільськогосподарських вантажів. Серед них: О.Г. Михайленко, В.К. Збарський, В.І. Мацибора, А.А. Чалий, Л.М. Степасюк, С.М. Рогач, Т.А. Гуцул, Н.М. Суліма, В.І. Котелянець, І.Ю. Глухова, Д.О. Музильов, А.Г. Кравцов, В.І. Перебийніс, О.В. Перебийніс [1-7]. Зазначені в їх роботах логістичні підходи при транспортуванні вантажів, висновки й рекомендації займають важливе місце в теорії транспортної логістики.

Поряд із цим процеси організації транспортування вантажів в сільському господарстві, їх вплив на результати господарської діяльності товаровиробників потребують подальшого ґрунтовного дослідження.

Найефективнішим напрямом підвищення ефективності і продуктивності, за результатами досліджень, що не потребує значних витрат – є впровадження на виробництві логістичних концепцій. Наприклад, та, що орієнтується на виконання замовлень без затримок – «точно в термін». Ця концепція характеризується скороченням запасів, оптимізацію транспортних маршрутів за рахунок використання логістики, і це дає змогу, шляхом узгодження дій всіх учасників логістичних процесів, зменшити собівартість продукції, підвищити оборотність капіталу та використати вивільнені кошти на інші цілі виробництва. З зазначеного видно, що фактор часу, вартість і якість продукції є головними у визначенні успіху функціонування будь-якого виробництва в сучасних умовах. В свою чергу час логістичного циклу, логістичні витрати, рівень технічного обслуговування, надійність поставок можна розглядати як критерії оцінки ефективності логістичного управління на підприємстві [8].

У роботі [9], автори розглядають вплив фактору часу на конкурентоспроможність підприємства. Згідно проведеного ними аналізу

фактор часу впливає: на мінімізацію витрат на складування та зберігання за рахунок скоординованої, ефективної діяльності підприємства; на швидку адаптацію до змін попиту за рахунок впровадження системи швидкого реагування, яка дозволяє зменшити час виконання операцій та періоду доставки; на елімінацію часу операцій, тобто скорочення виробничого циклу за рахунок зменшення часу надходження матеріального потоку на всіх ланках логістичного ланцюга. З'ясовано, що мета логістики виходить за рамки скорочення витрат і збільшення прибутку, і необхідно її розглядати як перехідний етап з точки зору надання більш якісних і надійних логістичних послуг.

На сьогоднішній день аграрний бізнес є сегментом діяльності, що найбільш швидко розвивається. Поясненням цьому служить позитивна динаміка іноземних інвестицій, яка спостерігається останнім часом. Однак, перед аграріями України щорічно виникає ряд проблем, пов'язаних безпосередньо з виробничим процесом, які залежать від ряду факторів, що безумовно впливають на кінцевий результат, тобто отримання прибутку від реалізації або переробки своєї продукції.

До основних проблем аграріїв, що виникають в період збирання врожаю, можна віднести наступні: чим збирати врожай і чим його вивозити. Збирально-транспортний процес (ЗТП) є трудомістким, ресурсовитратним і найбільш важливим у всьому технологічному процесі виробництва сільськогосподарських культур. Від правильності його організації, обрання технологічної схеми збирання, вибору комбайна відповідної продуктивності, транспортних засобів (ТЗ) необхідної вантажопідйомності і кількості, злагоженості роботи усіх учасників ЗТП – для виключення простоїв, і збирання врожаю в найкоротші терміни, буде залежати собівартість доставки сільськогосподарських вантажів [10].

Стислі агротехнічні строки збиральної компанії вимагають значної консолідації трудових і технічних ресурсів. У зв'язку з цим виникає необхідність в удосконаленні технологічних операцій збирання врожаю, оптимальному формуванні ЗТК та всебічного врахування умов їх роботи, що дозволить підвищити продуктивність комбайнів і автомобілів, зменшити простої навантажувально-розвантажувальних і ТЗ, а також знизити втрати сільськогосподарських культур за рахунок вчасного проведення збиральних робіт і доставки в пункти переробки.

Питання підвищення ефективності безпосередньо технологічних операцій збору і доставки сільськогосподарських вантажів, оптимального поєднання ЗТП розглянуті в наукових працях як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Однак, даний аспект недостатньо вивчений і його дослідження знаходиться на стадії становлення.

Виявленні вище організаційні проблеми, пов'язані з плануванням і проведенням виробничих процесів на сільськогосподарських підприємствах під час збирання врожаю, вирішуються завдяки прогнозуванню можливих обсягів роботи, що необхідно виконати в визначений термін на кожній ланці логістичної системи.

Ефективна організація функціонування виробництва базується на прогнозуванні обсягів продукції, що виготовляється. В сільському господарстві під цим поняттям розуміється можливий обсяг зібраного врожаю, що планується надати до перевезення. Розглядаючи виробництво ЦБ, окрім планування обсягів перевезення коренеплодів, необхідно зіставляти потреби цукрового заводу й провізні можливості автомобілів, продуктивність комбайнів і навантажувальних механізмів.

За допомогою прогнозування можна представити поведінку системи в тій чи іншій можливій ситуації. Опис ситуації залежить від ряду чинників, що мають на неї вплив. Транспортно-логістичну систему (ТЛС) обслуговування сільськогосподарського виробництва можна описати через обсяг врожаю, час проведення збиральних робіт, потреб цукрового заводу і відстані до нього з поля, а також рівня врожайності. В залежності від перерахованих базових чинників можна прогнозувати кількість збиральних комбайнів, ТЗ та навантажувальних механізмів, які необхідно залучити до виконання збирально-транспортних робіт. В залежності від складності і повноти прогнозованого процесу обирається метод моделювання.

Однією із умов ефективного формування і реалізації логістичних процесів в забезпеченні вантажоруху – є врахування системного взаємозв'язку між окремими ланками технологічних і управлінських підсистем транспортного обслуговування.

Аналіз публікацій [11-21] показав, що здебільше формування ТЛС розглядається через взаємодію транспорту і складу в окремих галузях або підприємствах. В свою чергу сільськогосподарське виробництво має свою специфіку взаємодії між учасниками ланок транспортного обслуговування. Роль виробництва та управління логістичним процесом (ЛП) в аграрному секторі зростає у всьому світі. У розвинених країнах втрати продукту, мається на увазі, пошкодження після збирання врожаю, як правило, малі. Пояснюється це ефективністю обладнання, кращими сховищами та контролем критичних термінів зберігання, а також роботою кваліфікованого та навченого персоналу. Розвиток дрібного сільського господарства в країнах, що розвиваються, дуже чутливий до транспортної проблеми. Окремі фермери втрачають великі кошти від неадекватного транспортного обслуговування. Як зазначає автор [22], планування роботи сільського транспорту має максимально відповідати потребам людей і рівню господарства. Дослідження показали, що в сільськогосподарських ЛП, існують потенційні сфери поліпшення в галузі логістики за рахунок покращення транспортних послуг.

Важливим завданням для загального економічного зростання країни – є виявлення та вивчення особливостей надання транспортно-логістичних послуг, розробка та впровадження більш ефективних послуг в обслуговуванні специфічної і складної галузі народного господарства, якою є аграрна.

В сформованих умовах жорсткої конкуренції на ринку транспортних послуг підвищення ефективності автомобільних перевезень вантажів має високу значимість. Зазвичай ефективність діяльності логістичної системи

оцінюється багатьма приватними показниками. В залежності від мети дослідження використовується один із наступних методів [23]:

- аналіз повної вартості;
- експертні системи;
- аналіз ABC;
- аналіз XYZ;
- оцінка натуральних показників ефективності логістичної системи, які не враховують всі необхідні техніко-економічні параметри логістичної системи.

Ефективність, якість і надійність є ключовими поняттями при управлінні доставкою вантажів. Між ними існує тісний зв'язок: якість є частиною системи оцінки ефективності, а надійність частиною системи оцінки якості.

За результатами теоретичного дослідження авторів [24] оцінка ефективності функціонування логістичної системи може бути проведена на різних рівнях: стратегічному, тактичному і функціональному. Але при використанні декількох критеріїв, наприклад, одночасне використання економічних і технологічних показників ефективності пропонованих заходів, як правило, не вдається знайти рішення, що було б найкращим одночасно по всіх цільових показниках. У цьому випадку ефективність заходу можна оцінювати за так званим компромісним рішенням, при якому мінімізуються відхилення від бажаних, оптимальних значень по всім обраним показникам [25].

Економічна ефективність – один з найважливіших показників функціонування будь-якої логістичної системи. Логістика – це наука, яка направлена на зменшення витрат у всіх сферах функціонування, починаючи від виробництва і закінчуючи наданням послуг. В агропромисловому комплексі принципам логістичного управління з кожним часом надається все більшого значення.

Необхідність впровадження нових підходів в управлінні виробництвом цукрової галузі описано в роботі [26]. Вибір ланцюга поставок сільськогосподарських вантажів можна виконувати із безлічі альтернативних технологічних схем. Але, за думкою авторів [27], не завжди побудова ланцюга з найкращою (мінімальною) вартістю призведе до найбільшої ефективності логістичної системи. Дослідники на прикладі виробництва ЦБ, розглянули особливості проектування харчових ЛП, що враховують такі характеристики, як сезонність виробництва, термін зберігання, який потребує особливих вимог щодо переробки, транспортування та зберігання. Але не розглянули вплив технічного фактору (складу автопарку) на рівень збільшення ефективності ТЛС.

В роботі [28] на прикладі доставки ЦБ наведено оптимізацію загальної організації транспортного процесу, але без розгляду окремих деталей і факторів впливу на ефективність функціонування логістичного ланцюга.

Світовий досвід свідчить про можливість істотного підвищення ефективності сільськогосподарських перевезень за рахунок використання змінних кузовів і накопичувачів у транспортно-технологічних процесах як адаптивних транспортних систем. З тією метою автор роботи [29] пропонує залучити розроблену у Фінляндії систему «мультиліфт». Її застосування

забезпечить високу ефективність використання рухомого складу (автомобілі основну частину робочого часу проводитимуть в русі), збільшення коефіцієнта вантажопідйомності автомобілів, скорочення витрат пального, але потребує великого розміру разових капіталовкладень.

Застосування логістичного підходу сприяє вирішенню одного з головних завдань конкурентного потенціалу сільськогосподарських підприємств – зниженню сукупних витрат у розрахунку на одиницю кінцевого продукту [30].

Не достатній рівень технічного забезпечення і, як наслідок, необхідність використання послуг посередників (оренда транспортних, збиральних і навантажувальних засобів, площ для зберігання сільськогосподарської продукції), не урахування світового досвіду в сфері агрологістики, призводить до постійного збільшення транспортних складових в собівартості продукції і зниження конкурентоспроможності продукції [31].

Доцільність використання власного чи залученого транспорту в сільськогосподарських підприємствах визначається як економічними критеріями (зокрема, рівнем транспортних витрат), так і соціальними критеріями (стан зайнятості транспортних працівників, рівень оплати їх праці).

Однак розвитку аутсорсингу транспорту в аграрно-промисловому комплексі (АПК), за думкою авторів [32], заважають, наступні чинники:

- висока вартість транспортних послуг, що надаються підприємствами-партнерами підприємствам-замовникам;
- низька якість транспортного обслуговування, зокрема, недостатня надійність підприємств-партнерів.

За розрахунками наведеними в роботі [33], при перевезенні в сільському господарстві питома вага автомобільного транспорту складає 50–60 % (в тому числі залученим транспортом – до 15 %), тракторного транспорту – 36–39 %, гужового транспорту – 11–14 %. Виходячи з цього, можна зазначити, що ефективність сільськогосподарського виробництва значною мірою залежить від забезпеченості аграріїв необхідними засобами транспорту, а також їх раціональної організації, починаючи з процесу виробництва і закінчуючи реалізацією продукції.

В своєму дослідженні автори [34] засвідчили, що в потокових технологічних процесах ефективність експлуатації автомобілів і тракторних поїздів дещо зменшується, а потреба в транспортних засобах зростає. Доволі низька виробнича потужність автомобільного транспорту спостерігається при обслуговуванні зернозбиральних комбайнів (де зерно розвантажують у бункера комбайна під час руху), при відвезенні ЦБ, картоплі, кукурудзи та силосної маси (де транспортні засоби завантажують з під комбайнів).

Раціональний розподіл транспортних робіт, що виконуються в сільськогосподарському виробництві наведено авторами роботи [35]. За їх думкою, внутрішньогосподарські перевезення на невелику відстань до 5 км доцільніше виконувати тракторами, а для позагосподарських залучати автомобілі.

Транспорт визнано вирішальним чинником підвищення продуктивності сільського господарства. Він підвищує якість життя людей, створює ринок

сільськогосподарської продукції, сприяє взаємодії географічних та економічних регіонів та відкриває нові напрямки для економічного розвитку. Дослідження автора [36] показує, що покращення процесу доставки сільськогосподарських вантажів призведе до збільшення виробництва, зменшення витрат і псування, збільшення дохідної вартості продукції.

Ефективне обслуговування сільськогосподарського виробництва автомобільним транспортом, згідно роботи [37], можливе тільки з урахуванням специфічних особливостей, притаманних процесу перевезень у цій галузі. Технологічний процес перевезення сільськогосподарських вантажів автотранспортними засобами залежить від ряду факторів. Найбільш суттєво впливають на ефективність використання вантажного автомобільного транспорту у сільському господарстві – вантажопідйомність автомобілів і витрати пального. Вид транспортного засобу обирається в залежності від типу сільськогосподарської культури, що надано до перевезення.

Згідно з матеріалами роботи [38], результати сільськогосподарського виробництва залежать від того, наскільки своєчасно, в повному обсязі, без втрат і погіршення споживчих властивостей, будуть доставлятися за призначенням продукти внутрішньогосподарського, внутрішньогалузевого і міжгалузевого обміну.

З цього випливає, що головне завдання автотранспорту АПК – забезпечення високої якості обслуговування всіх етапів і ланок виробництва сільськогосподарської продукції. Другим за значимістю завданням – є забезпечення ефективного використання автопарку.

Оптимізацією параметрів конфігурації парку автомобілів, під час централізованого зведення ЦБ, на підставі імітаційного моделювання транспортного процесу, запропонували в своїй роботі автори [39]. Принцип, запропонований ними, базується на залежності кількості заявок, що надійшли від виробників ЦБ, від площі посіву культури. Наведені моделі не враховують виробничу спроможність цукрового заводу. Задача обґрунтування оптимальних параметрів конфігурації парку автомобілів і бурякоприймального пункту вирішувалась за рахунок критерію питомих зведених витрат коштів на транспортування та приймання ЦБ.

Вирішенням питання підвищення ефективності виробництва сільськогосподарського підприємства за рахунок модернізації технологічної й технічної бази і транспортної логістики займався Ізмайлов А.Ю. [40]. Обґрунтуванням необхідної кількості і складу ЗТК займалися автори роботи [10]. Але в цих роботах дослідження зводилися до підвищення ефективності функціонування сільськогосподарського підприємства за рахунок використання необхідної кількості і якості ТЗ.

Чисельний склад комбайнів і вантажних автомобілів повинен бути в такій відповідності, щоб в залежності від врожайності сільськогосподарських культур і способу перевезення забезпечити безперервну роботу системи [41].

Проблемами раціонального вибору складу парку автомобільного транспорту займаються вітчизняні і закордонні науковці. Так питанням визначення типу автомобілів, що задовільняють потреби невеликих фермерів

Південної Африки присвятив свої дослідження автор роботи [42]. Збільшення експлуатаційних витрат за рахунок здороження палива, робочої сили, відстані перевезень, не розвинутої інфраструктури примусило керівників дрібних господарств до пошуку концептуально нових транспортно-логістичних систем. В залежності від вантажів та їх обсягів, місць виробництва та збуту чи зберігання обираються потенційні транспортні засоби, а потім оптимізуються маршрути. Розглядається проста схема закріплення автомобілів за маршрутом, що враховує лише вантажність автомобілю і найкоротшу відстань перевезень. Додаткові технологічні аспекти не розглядаються.

Взагалі, проблема маршрутизації ТЗ є важливою складовою сучасної логістичної система [43]. Оптимізацію маршрутизації сільськогосподарської продукції на основі програмного продукту Cumulative Prospect Theory (CPT), що переводиться як сукупна теорія перспектив, запропоновано в роботі [44]. Програмою враховуються особливості сільськогосподарського виробництва: мінімальні втрати від пошкодження вантажу, транспортні витрати і можливі втрати, що настають при доставці вантажу не в зазначений термін (логістичне вікно). Особливістю роботи програми є можливість виконувати замовлення сільськогосподарської продукції в он-лайн режимі і невеликими партіями.

Стосовно застосування сучасного комп'ютерного обладнання і програмного забезпечення в сільськогосподарському виробництві присвячені дослідження в роботі [45]. Автор зазначив, що в більшості аграрних підприємств не існує технічних можливостей для ефективної роботи з інформаційними потоками. Більше 70% підприємств АПК не володіють необхідними комплексами комп'ютерної техніки, а 90% підприємств використовують традиційні технології обробки інформації. Все це викликає труднощі в ефективній організації та управлінні логістичною діяльністю на аграрних підприємствах.

Кожен вузол агрологістичного ланцюга постачання накладає на сільськогосподарський вантаж додаткову вартість, що призводить до здороження кінцевого продукту. Як результат цього процесу сьогодні в кінцевій ціні продукції лише 25% становить її виробництво, 75% – додана вартість [46].

Завданням всіх ланцюгів і вузлів постачання в агрологістиці – є зменшення затратної складової роботи учасників логістичного процесу. Обґрунтований вибір необхідної чисельності ТЗ із потрібними техніко-експлуатаційними характеристиками, що приймають участь у роботі ЗТК; облаштовані місця для коротко- і довготривалого зберігання сільськогосподарської продукції; налаштування ритмічної роботи навантажувальних механізмів, збиральних, ТЗ і перероблювальних пунктів; використання для своєчасного управління і координування роботою всіх учасників ЗТК спеціалізованого сучасного програмного забезпечення – все це є запорукою успішного функціонування сільськогосподарського підприємства України.

Доцільним є підхід до планування і підбору технологічних схем доставки сільськогосподарських вантажів з урахуванням витрат на доставку і термінів проведення збиральних робіт. Стислі агротехнічні строки збиральної компанії вимагають значної консолідації трудових і технічних ресурсів. У зв'язку з цим виникає необхідність в удосконаленні технологічних операцій збирання врожаю, оптимальному формуванні ЗТК та всебічного врахування умов їх роботи, що дозволить знизити простої комбайнів, підвищити продуктивність транспортних засобів і знизити втрати сільськогосподарської продукції за рахунок скорочення термінів збирання.

Ряд науковців займалися пошуком методів планування і визначення необхідної кількості та складу ЗТК. Не зважаючи на ґрунтовність та немалу кількість попередніх досліджень з визначення кількості одиниць ЗТК [47-49], потрібно відзначити дуже різноманітний спектр підходів до вирішення даної проблем. Основною відмінною особливістю вказаних робіт є використання різних критеріїв оптимальності. При цьому, немає єдиних рекомендацій щодо розрахунку кількості збиральної техніки, засобів транспорту, що забезпечують перевізний процес сільськогосподарських вантажів та допоміжних навантажувально-розвантажувальних механізмів (НРМ), які задіяні в процесі перевалки (перевантаження) при використанні конкретної транспортно-технологічної схеми (ТТС) доставки сільгоспвантажів.

Робота ЗТК базується на продуктивності роботи комбайну. Під його роботу налаштовуються усі інші учасники процесу. Кількість комбайнів, транспортних засобів, НРМ повинна бути достатньою для безперервної роботи усього ЗТК. Існує безліч ТТС збирання й транспортування врожаю. Нераціонально підібрана чисельність кожної ланки обраної схеми призведе або до затримок в роботі усього комплексу і як слідство, до втрат врожаю, або до невиправданого використання коштів на експлуатацію зайвих збирально-транспортних засобів і перевантажувальних механізмів. Узгодженість в роботі навантажувально-розвантажувального пункту і автомобілів є одним із головних завдань транспортно-складської логістики (ТСЛ).

Питанню підвищення ефективності спільної роботи вантажних автомобілів і вантажно-розвантажувальних засобів присвячено дисертаційне дослідження Калініченко О.П. [50]. В роботі розроблено імітаційну модель роботи транспортного комплексу на основі попередньо складених графіків спільної роботи вантажних автомобілів і НРМ. Розроблені графіки дозволяють найбільш повно реалізувати резерви підвищення ефективності автотранспортного процесу за рахунок зниження втрат від непродуктивних простоїв транспортного комплексу і зниження трудомісткості виконання робіт при оперативному змінно-добовому плануванні. В той же час запропонований підхід не враховує специфіку взаємодії учасників ТЛК при доставці масових вантажів (ЦБ).

Взагалі обрання необхідного типу НРМ проводять за двома групами критеріїв: технічним і економічним [51, 52]. Слід зазначити, що за допомогою одного лише вдосконалення техніки для виконання перевантажувальних

операцій не вирішити поставлену задачу підвищення ефективності в узгодженості і взаємодії учасників транспортно-складського процесу [53].

Факторів, що визначають основні параметри процесу доставки вантажів й особливості його організації, є велика кількість. Аналізуючи сучасні підходи до підвищення ефективності роботи логістичних систем до базових напрямків, у рамках окремого підприємства, автори [54] віднесли розробку графіків спільної роботи рухомого складу й пунктів навантаження-розвантаження. Автор роботи [55] зазначив, що в сучасних умовах функціонування підприємств, в пунктах розвантаження найчастіше йдеться мова не о виборі найбільш ефективних моделей ТЗ і НРМ, а про раціональність експлуатації того або іншого механізму в заданих умовах.

Як зазначалося вище, при зборі врожаю сільськогосподарських культур необхідна наявність великої кількості комбайнів, тракторів, вантажних автомобілів та інших засобів механізації, які і визначають кількісний і якісний склад ЗТК. Тому продуктивність системи залежить не тільки від продуктивності комбайна, а й від кількісного складу вантажного транспорту.

Комбайни і вантажні автомобілі повинні бути в такій відповідності, щоб в залежності від врожайності сільськогосподарських культур і способу перевезення забезпечити безперервну роботу [41].

Як показує аналіз останніх наукових робіт з даної тематики [56, 57], визначення оптимальної кількості одиниць ЗТК буде визначати характер технології перевезення, час збору врожаю і витратну складову всього процесу доставки сільськогосподарських культур в період збирання.

Оцінка ефективності завжди суб'єктивна і залежить від того, в чий інтерес і з точки зору якого учасника доставки вона проводиться. Проблеми управління транспортним процесом на підприємствах АПК з точки зору якості їх надання – є ключовими з огляду на необхідність забезпечення конкурентоспроможності комплексу. Логічно стверджувати, що якість транспортних послуг – це міра їх відповідальності вимогам та очікуванням споживачів стосовно своєчасності доставки вантажів (пасажирів), їх кількості, відсутності втрат, пошкодження тощо. Важливими цілями транспортного забезпечення є збільшення економічної ефективності (зменшення витрат) та підвищення якості транспортного процесу. Обидві зазначені цілі взаємопов'язані, тому, проведення аналізу наукових робіт, що стосується визначення параметрів і шляхів підвищення рівня надійності функціонування логістичних систем і надання транспортних послуг, дозволить обґрунтувати і обрати методи удосконалення якості транспортно-логістичного обслуговування.

З точки зору автора [33], удосконалення контролю якості сприяє одночасному зменшенню витрат на транспортування вантажів і збільшення прибутковості підприємства (рис. 3.1).

Підвищення якості перевезень забезпечує зменшення витрат наступними способами:

– зростає продуктивність ТЗ, оскільки не витрачається час на холості переїзди, не погіршується якість вантажу під час його перебування у дорозі, він

не губиться в дорозі. Така економія призводить до прямого скорочення транспортних витрат на одиницю продукції;

– підвищення якості транспортування означає зменшення обсягів повторного виконання транспортної роботи, яка виникає при необхідності здійснення додаткових рейсів ТЗ для перевезення вантажу замість втраченого чи зіпсованого під час минулих поїздок.

З іншої точки зору прагнення забезпечити ефективне управління логістичною системою зазвичай вступає в суперечку з прагненням забезпечення надійності системи і мінімізації загальних витрат. За думкою авторів [58], доцільно визначати ефективність функціонування системи завдяки узагальнюючого критерія «ефект/витрати». Обмеженням в роботі з таким показником є заздалегідь встановлені норми критерію.

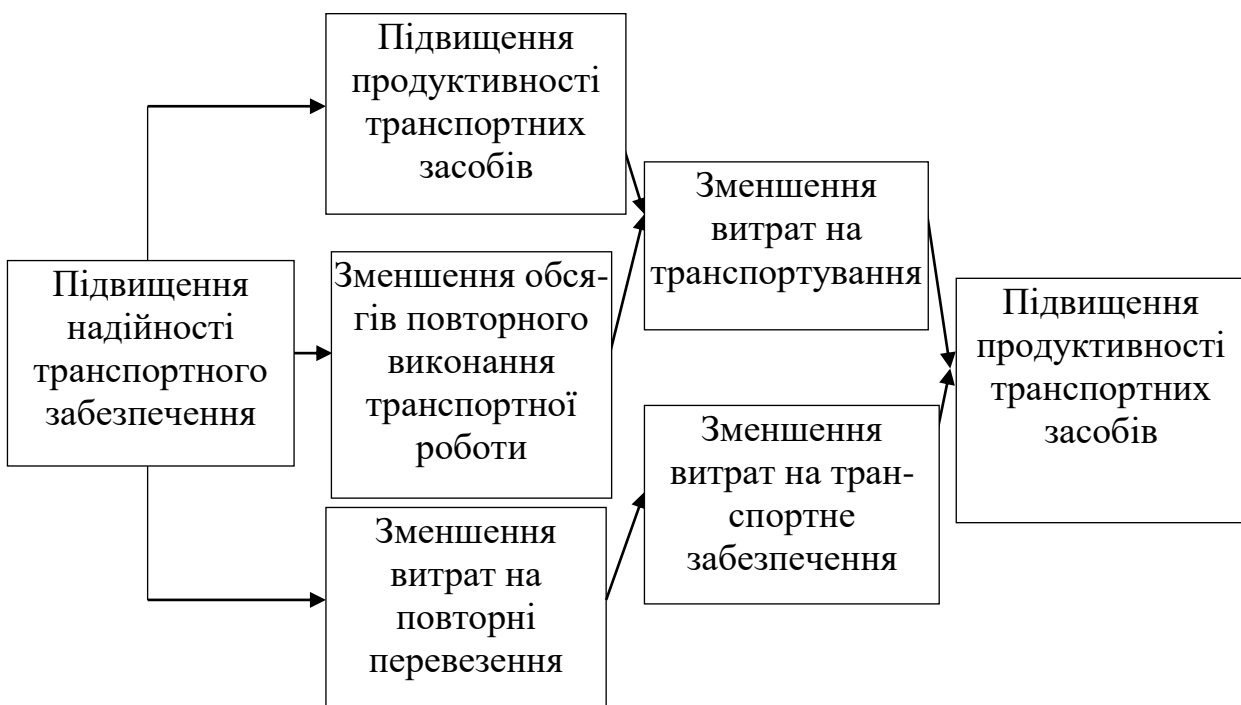


Рис. 3.1 – Вплив якості транспортних послуг на ефективність виробничо-комерційної діяльності підприємства [33]

Одним з найбільш важливих компонентів якості транспортного процесу є його надійність – це об'єктивна характеристика, що оцінюється ймовірністю безвідмовної роботи. В економічному сенсі забезпечення надійності доставки вантажу складається з того, щоб виключити чи хоча б мінімізувати втрати учасників процесу доставки вантажу: вантажовідправників, вантажоотримувачів і перевізників [59]. Для замовників послуг висока надійність доставки зазначає, що її узгодженні параметри будуть виконанні і під час перевезення не виникне жодних непередбачуваних втрат, наприклад, у зв'язку з пошкодженням вантажу під час доставки або запізненням транспортного засобу в потрібну точку маршруту.

Провівши порівняльний аналіз надійності технічних і транспортних систем автор роботи [60] зазначив, що надійністю транспортної системи є її властивість зберігати свою ефективність при гарантованому дотриманні параметрів транспортної роботи, встановлених замовником.

Як і інші компоненти якості транспортного процесу, надійність забезпечується не контролем доставки вантажу, необхідно забезпечити постійне управління надійністю процесами на всіх стадіях перевезення, включаючи і підготовчі етапи. У загальному сенсі надійність є ймовірність відсутності відмов на здійснення доставки вантажу.

Поки що не має загальноприйнятого визначення терміну надійності функціонування транспортної системи. Не достатньо вивчені способи оцінки надійності перевезень та методи управління надійністю транспортування. Теорія надійності, що стосується транспортного процесу тільки будується. Тому різноманітність і розбіжність поглядів в сучасних умовах є цілком природною.

Надійність транспортної системи може проявитися лише в динаміці, під час здійснення транспортного процесу. Тому використання одного поняття не виключає існування іншого. Надійний транспортний процес – це такий процес, в якому проявляється надійність транспортної системи. Надійність в техніці характеризується безвідмовністю. Стосовно до транспортного процесу можна розуміти, як здатність виконавця (перевізника) гарантувати кількість «відмов» на заданому рівні, або тлумачити «відмову», як невиконання узгоджених з замовником вимог стосовно кількості і/або стану вантажу та/або порушення часових параметрів виконання замовлення на транспортування .

На думку закордонних спеціалістів, важливою перевагою логістичного управління є підвищення рівня транспортного обслуговування, якого досягають не тільки і не скільки завдяки роботі транспортних підрозділів, стільки завдяки злагодженому виконанню комплексу робіт з постачання, збуту та перевезення продукції [61].

Завдання транспортного обслуговування АПК – своєчасне, якісне та повне задоволення потреб товаровиробників у перевезеннях при одночасному підвищенні його економічної ефективності. Крім того, надійне транспортне забезпечення визначає і рівень конкурентоспроможності транспортних формувань [62].

За думкою авторів роботи [49] вплив транспорту на ефективність сільськогосподарських підприємств проявляється як через рівень витрат так і через надійність повного і своєчасного задоволення потреби в перевезеннях.

Аналіз надійності автомобільних перевезень ряду зарубіжних країн, проведений авторами роботи [63], наводить вимоги до нормування надійності ТЗ. Цей показник досить високий, але характеризує лише експлуатаційні характеристики автомобілів, а не в цілому систему доставки вантажів.

Споживачеві важливо якість виконання послуги, що надається, а надійність саме і характеризує цей показник. Відповідно до робіт [64-66], надійність – це «властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні

функції в заданих режимах і умовах використання, технічного обслуговування, зберігання і транспортування». На даний момент існують методики і підходи у визначенні надійності ланцюгів поставок, але в більшості випадків вони прив'язуються до визначення кількісної оцінки процесів, що протікають в логістичних системах, не несучи інформації про вплив окремих параметрів на функціонування системи [67].

Згідно з матеріалами роботи [38], результати сільськогосподарського виробництва залежать від того, наскільки своєчасно, в повному обсязі, без втрат і погіршення споживчих властивостей будуть доставлятися за призначенням продукти внутрішньогосподарського, внутрішньогалузевого і міжгалузевого обміну, тобто якість транспортного обслуговування.

Останнім часом спостерігається зростання числа робіт, присвячених вивченню надійності ланцюгів постачання (ЛП). В результаті аналізів досліджень [68-73] можна виділити декілька головних підходів до визначення надійності в ЛП, а також найбільш важливі досягнення:

1. Перехід від якісних-експертних оцінок надійності ЛП до кількісних показників.
2. Виділення основних способів підвищення надійності ЛП, головним чином за рахунок різних видів резервування.
3. Розробка нових оригінальних моделей оптимізації надійності ЛП, заснованих на дисциплінах «дослідження операцій», зокрема, лінійному програмуванні, теорії ймовірності, теорії масового обслуговування (ТМО) та ін. [74].

Основним недоліком усіх робіт є те, що в якості основного показника надійності розглядається ймовірність безвідмовної роботи, але не наводяться методи оцінки надійності, що характеризують властивість ланцюга постачати до відновлення.

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел існуючого стану сільськогосподарських перевезень, планування і організації харчових ланцюгів постачань, транспортного обслуговування аграрної галузі, спільної роботи транспортних і навантажувально-розвантажувальних засобів, надійності транспортного процесу дозволяє виділити наступні проблеми, що потребують першочергового рішення:

- визначити метод моделювання, який з найменшою помилкою, спрогнозує кількісні і якісні характеристики учасників ТЛК;
- обґрунтувати кількісні вимоги до надійності ЛС і виробити управлінські дії, що доведуть якісний показник до встановленої норми;
- з'ясувати вузькі місця в управлінні транспортно-логістичними процесами в системі «поле-склад-транспорт-завод» і запропонувати способи їх вирішення;
- провести моделювання процесів, що відбуваються під час доставки ЦБ на завод з метою обґрунтування кількісного і якісного складу ЗТК, що забезпечує заданий рівень показника надійності ЛС і найменші питомі витрати її функціонування.

3.2 Розробка математичної моделі логістичних процесів під час транспортування цукрових буряків з урахуванням надійності і економічної ефективності функціонування системи

Розробка математичної моделі для вивчення руху матеріальних й інформаційних потоків в логістичному управлінні сільськогосподарським підприємством пов'язано з великою інтенсивністю вантажних потоків, які необхідно виконати в короткі терміни. Такі завдання, як узгодження робочих циклів всіх складових логістичних процесів: виробництво вантажу сільськогосподарським підприємством; накопичення і перевалка вантажу через склад; аналіз, обробка інформації та планування вантажних потоків в логістичному центрі (ЛЦ); перевезення вантажу від виробника до споживача з урахуванням пропускної спроможності споживача, вимагають системного підходу в дослідженні та прийнятті рішень.

При великих «пікових» навантаженнях на перевезення сільськогосподарської продукції, підвищується важливість ефективної організації в узгодженні оперативного контролю та управління за процесом переміщення вантажу, скорочення термінів зберігання вантажу на складі, скорочення часу на доставку вантажу, навантаження і розвантаження, а також підвищення надійного функціонування системи. Основним обмеженням при моделюванні та плануванні вантажних потоків ЦБ під час збирання врожаю є номінальна (проектна) продуктивність заводу по переробці ЦБ W_3 , т/год, що висуває вимогу узгодження продуктивності всіх складових логістичних ланцюгів з урахуванням ймовірностей затримки (відмов) у обслуговуванні в зазначених вище складових логістичної системи.

При рішенні такого роду задач одним з ефективних інструментів наукового дослідження є застосування системного аналізу.

Системний аналіз – це методологія наукового пізнання, в основі якої лежить розгляд об'єктів, як єдиної системи з комплексом взаємозв'язків, об'єднаних єдиною метою, що дозволяє розкрити інтегровані властивості, внутрішні і зовнішні зв'язки.

Послідовність формування математичної моделі та оцінка логістичної системи при системному аналізі включає наступні етапи.

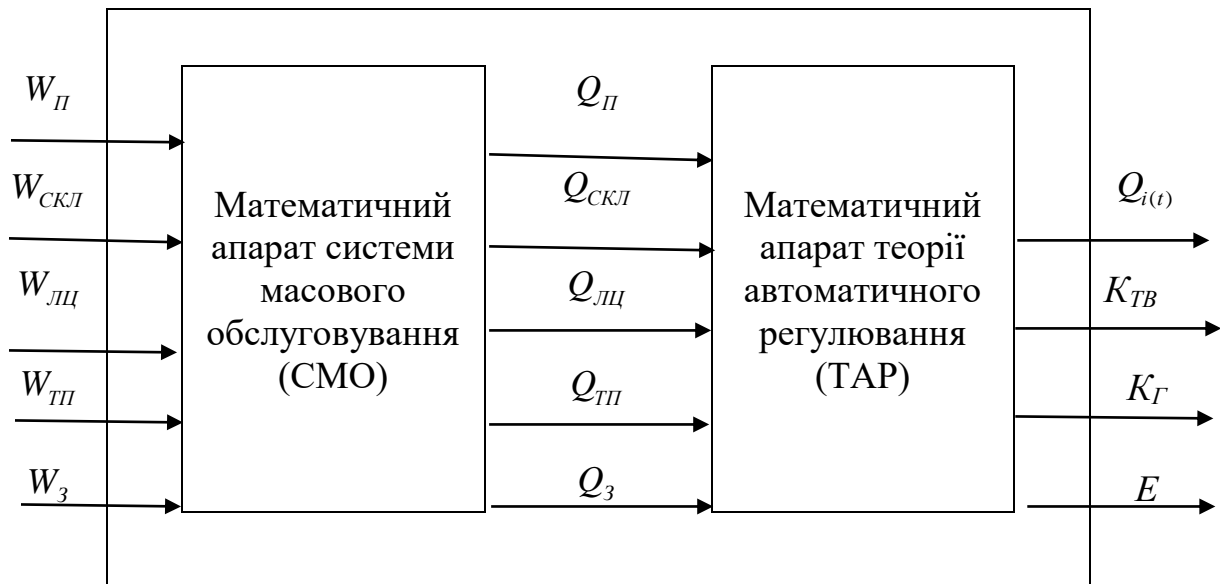
1. Визначаються і формуються цілі функціонування логістичної системи й обмеження, що накладаються на систему. Це забезпечення максимальної проектної продуктивності заводу з переробки ЦБ виконанням рівності продуктивності всіх складових логістичної системи. При цьому необхідно забезпечити управління надійністю окремих логістичних ланцюгів та логістичною системою в цілому. Для цього необхідно розробити критерій оцінки надійності логістичних ланцюгів та логістичної системи.

2. На підставі сформульованої мети функціонування логістичної системи й обмежень, накладених на систему, розробляється склад системи транспортного обслуговування, що досліджується, з підсистемами, що входять до неї.

Склад системи транспортного обслуговування при переміщенні вантажу від виробника (сільськогосподарське підприємство) до споживача (завод по переробці ЦБ), наведено на рис. 3.2.

Як впливає з рис. 3.2 вхідним сигналом в логістичну систему є величини продуктивності: сільськогосподарського підприємства з виробництва вантажу W_{Π} ; складу $W_{СКЛ}$; логістичного центру у складі підприємства $W_{ЛЦ}$; транспортного підприємства $W_{ТП}$; заводу з переробки вантажу W_3 . Одиниця вимірювання продуктивності W_i – т/год.

Враховуючи те, що величини W_i є стохастичними (імовірнісними) величинами, які залежать від ряду факторів і можуть змінюватися протягом часу, до досліджуваного процесу застосуємо математичний апарат СМО [75]. Такий підхід дозволить враховувати вірогідність відмови у виконанні заявок на обслуговування, які будуть складатися з затримок у часі. На затримки в обслуговуванні по всіх логістичних ланках будуть впливати різні фактори, перелік та обґрунтування яких буде наведено нижче, при виконанні параметричної ідентифікації математичної моделі.



W_{Π} – продуктивність сільськогосподарського підприємства, т/год;
 $W_{СКЛ}$ – продуктивність складу, т/год; $W_{ЛЦ}$ – продуктивність логістичного центру у складі підприємства, т/год; $W_{ТП}$ – продуктивність транспортного підприємства, т/год; W_3 – продуктивність заводу з переробки вантажу, т/год;
 Q_{Π} – обсяг вантажу, вироблений сільськогосподарським підприємством, т;
 $Q_{СКЛ}$ – обсяг перевалки вантажу на складі, т; $Q_{ЛЦ}$ – обсяг переробки заявок на транспортне обслуговування в логістичному центрі, т; $Q_{ТП}$ – обсяг перевезення вантажу транспортним підприємством, т; Q_3 – обсяг переробки вантажу цукровим заводом, т; $K_{ТВ}$ – коефіцієнт технічного використання;
 $K_{Г}$ – коефіцієнт готовності; E – ефективність, грн/т.

Рис. 3.2 – Склад системи транспортного обслуговування

Отримане значення продуктивності всіх логістичних ланцюгів W_i враховує ймовірність відмови в обслуговуванні, проте не враховує динаміки розвитку процесу у часі. Використовуючи параметр – обсяг виробленої продукції Q_i , т, який бере участь у транспортних процесах, як вхідний сигнал у динамічну систему і застосовуючи математичний апарат теорії автоматичного регулювання [76], можна отримати зміну обсягів переміщення вантажу Q_i у часі t_i , тобто функцію $Q_i(t)$. Це дозволить моделювати динамічний процес виконання заявок на переміщення вантажу при різних вхідних параметрах процесу, а також оцінити надійність функціонування логістичних ланцюгів логістичної системи (ЛС) в цілому у вигляді коефіцієнта технічного використання $K_{ТВ}$ і K_G коефіцієнт готовності. Фізичний зміст $K_{ТВ}$ і K_G та вирази для їх визначення будуть представлені далі.

Розроблена структура ЛС вантажних перевезень ЦБ від сільськогосподарського підприємства (виробника вантажу) до заводу по переробці ЦБ дозволяє виконати структурну та параметричну ідентифікацію динамічної математичної моделі вантажоперевезень, які є третім і четвертим етапом системного аналізу. В результаті виконання структурної ідентифікації буде отримана математична модель логістичних ланцюгів та ЛС у вигляді диференціального рівняння та рішень цього рівняння з точністю до вхідних у нього коефіцієнтів. Результатом виконання параметричної ідентифікації є отримання виразів для визначення коефіцієнтів, що входять в математичну модель.

Моделювання функціонування ЛС проводиться з метою отримання основних показників процесу вантажних перевезень, а також їх прогнозування та подальшого покращення. Імовірнісне моделювання передбачає не тільки побудову моделей для аналізу та оптимізації структури маршрутів і вибору вантажопідйомності транспорту, а також прогнозування обсягу перевезень з оцінкою їх впливу на основні показники ефективності, зниження витрат часу і ресурсів на виконання логістичних операцій.

Для опису взаємодій різних типів ТЗ з виробником вантажу, складом і ЛЦ у складі виробника, можна використовувати різні типи СМО або їх комбінації, огляд яких подано в роботах [76, 77]. Перспективність застосування такого підходу пов'язане з можливістю побудови аналітичної моделі для будь-якої конкретної конфігурації ЛС. Імовірнісне моделювання для різних початкових умов та прийнятих обмежень на завантаження ЛС, дозволить скоротити кількість простоїв і затримок при виконанні операцій складування, транспортування, вантажно-розвантажувальних робіт на кожній ділянці технологічного процесу збирання та транспортування ЦБ.

Запропонований підхід до моделювання процесів вантажних перевезень під час збирання ЦБ ґрунтується на розгляді вантажоутворюючих пунктів (ВУП) і вантажопоглинаючих пунктів (ВПП) [77]. В якості ВУП виступає господарство по вирощуванню ЦБ, яке за допомогою бурякозбиральних комбайнів здійснює збирання, що можна оцінити сумарною продуктивністю комбайнів $W_{П}$, т/год. До ВУП входять склад, у вигляді відкритого перевалочного майданчика, на якому зберігається 2-3 денний запас ЦБ та ЛЦ

для управління матеріальними та інформаційними потоками. На складі зазвичай працює 1-2 навантажувача для завантаження автомобілів, сумарну продуктивність яких можна оцінити як $W_{СКЛ}$, т/год.

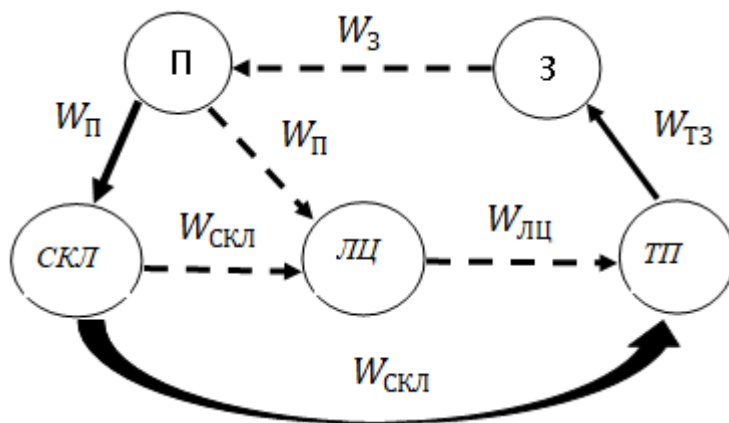
До ЛЦ входять засоби зв'язку і засоби обробки інформації, продуктивність якого можна оцінити як кількість оброблених і переданих заявок на перевезення вантажу в одиницю часу. З урахуванням того, що у заявках проходить маса вантажу в тонах, то продуктивність (потужність) ЛЦ можна оцінити як $W_{ЛЦ}$, т/год.

ВПП в розглянутій ЛС вантажоперевезень є цукровий завод, який приймає цукрові буряки для переробки та транспортне підприємство, що має автомобільний парк різної вантажопідйомності і здійснює доставку вантажу на цукровий завод.

Продуктивність цукрового заводу можна оцінити як розрахункову проектну потужність заводу W_3 , т/год, а продуктивність транспортного підприємства можна оцінити як сумарну продуктивність ТЗ $W_{ТЗ}$, т/год.

Представимо модельовану ЛС вантажоперевезень у вигляді повнозв'язного графа станів [75], вузлами якого є всі перераховані вище вантажоутворюючі і вантажопоглинаючі пункти. При цьому передбачається наявність зв'язку між усіма ВУП і ВПП.

Загальну схему багатоканальної системи масового обслуговування представимо у вигляді графа станів, рис. 3.3, де суцільними стрілками позначено рух матеріальних потоків W , т/год, а пунктирними – рух інформаційних потоків W , т/год.



П – виробник вантажу; СКЛ – склад; ЛЦ – логістичний центр;

ТП – транспортне підприємство;

З – завод з переробки вантажу (ЦБ)

Рис. 3.3 – Загальна схема багатоканальної СМО

Використовуючи основні положення СМО можна стверджувати, що всі потоки подій, що переводять ЛС зі стану у стан, пуассонівські (стаціонарні або нестаціонарні), отже, процес, що протікає в системі, буде марковським. Це означає, що пуассонівський потік володіє відсутністю наслідків і при заданому

стані системи в даний момент, її переходи в інші стани в майбутньому зумовлені не тільки появою якихось подій у пуассонівських потоках, а ймовірності появи цих подій не залежать від передісторії процесу.

Розглядаючи загальну схему багатоканальної СМО, яка представлена на рис. 3.3, як граф станів системи і застосовуючи до неї правило Колмогорова, сутність якого викладена в роботі [75], запишемо систему диференціальних рівнянь, яка характеризує ймовірність станів даної системи:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_3}{dt} &= -W_3 \cdot p_3 + W_{T3} \cdot p_{T3}, \\ \frac{dp_{\Pi}}{dt} &= -2 \cdot W_{\Pi} \cdot p_{\Pi} + W_3 \cdot p_3, \\ \frac{dp_{СКЛ}}{dt} &= -2 \cdot W_{СКЛ} \cdot p_{СКЛ} + W_{\Pi} \cdot p_{\Pi}, \\ \frac{dp_{ЛЦ}}{dt} &= -W_{ЛЦ} \cdot p_{ЛЦ} + W_{СКЛ} \cdot p_{СКЛ} + W_{\Pi} \cdot p_{\Pi}, \\ \frac{dp_{T3}}{dt} &= -W_{T3} \cdot p_{T3} + W_{ЛЦ} \cdot p_{ЛЦ} + W_{СКЛ} \cdot p_{СКЛ}, \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де p_3 – ймовірність того, що завод готовий до прийому ЦБ; черги на заводі немає;

p_{Π} – ймовірність того, що підприємство виробляє вантаж (йде збирання ЦБ);

$p_{СКЛ}$ – ймовірність того, що на складі виробника є запас вантажу (ЦБ);

$p_{ЛЦ}$ – ймовірність того, що логістичний центр обробляє заявки на перевезення вантажу;

p_{T3} – ймовірність того, що транспортні засоби перевозять вантаж.

Основною умовою – обмеженням, що накладається при вирішенні даної системи рівнянь, є відсутність на заводі черги на приймання вантажу, тобто завод готовий прийняти вантаж.

Отже, в початковий момент часу при $t=0$, $p_3=1$, а решта $p_i=0$.

В результаті таких умов систему диференціальних рівнянь (3.1) можна переписати у вигляді системи лінійних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} W_3 \cdot p_3 &= W_{T3} \cdot p_{T3}, \\ 2 \cdot W_{\Pi} \cdot p_{\Pi} &= W_3 \cdot p_3, \\ 2 \cdot W_{СКЛ} \cdot p_{СКЛ} &= W_{\Pi} \cdot p_{\Pi}, \\ W_{ЛЦ} \cdot p_{ЛЦ} &= W_{СКЛ} \cdot p_{СКЛ} + W_{\Pi} \cdot p_{\Pi}, \\ W_{T3} \cdot p_{T3} &= W_{ЛЦ} \cdot p_{ЛЦ} + W_{СКЛ} \cdot p_{СКЛ}, \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Виразимо всі ймовірності станів даної ЛС через імовірність очікування заводом вантажу, p_3 :

- ймовірність виробництва вантажу підприємством:

$$p_{\Pi} = \frac{W_3}{2 \cdot W_{\Pi}} \cdot p_3, \quad (3.3)$$

- ймовірність знаходження запасу вантажу на складі підприємства:

$$p_{СКЛ} = \frac{W_{\Pi}}{2 \cdot W_{СКЛ}} \cdot \frac{W_3}{2 \cdot W_{\Pi}} \cdot p_3 = \frac{W_3}{4 \cdot W_{СКЛ}} \cdot p_3, \quad (3.4)$$

- ймовірність обробки заявок у логістичному центрі:

$$p_{ЛЦ} = \frac{3 \cdot W_3}{4 \cdot W_{ЛЦ}} \cdot p_3, \quad (3.5)$$

- ймовірність перевезення вантажу транспортними засобами:

$$p_{ТЗ} = \frac{W_3}{W_{ТЗ}} \cdot p_3, \quad (3.6)$$

У початковий момент часу сума всіх ймовірностей станів логістичної системи дорівнює одиниці:

$$p_3 + p_{\Pi} + p_{СКЛ} + p_{ЛЦ} + p_{ТЗ} = 1, \quad (3.7)$$

Підставивши у рівність (3.7) вирази ймовірностей (3.3) – (3.6) і винісши p_3 за дужки, можна отримати вираз для визначення p_3 :

$$p_3 = \left(1 + \frac{W_3}{W_{ТЗ}} + \frac{W_3}{2 \cdot W_{\Pi}} + \frac{W_3}{4 \cdot W_{СКЛ}} + \frac{3 \cdot W_3}{4 \cdot W_{ЛЦ}} \right)^{-1}, \quad (3.8)$$

Отримані формули (3.3) – (3.6), (3.8) дозволяють визначити ймовірності знаходження ЛС в робочому стані.

Доповнимо представлену схему багатоканальної СМО, рис. 3.3, відповідними розгалуженими каналами обслуговування по кожній складовій: виробнику вантажу (Π); заводу з переробки вантажу (З); складу у складі виробника (СКЛ); логістичному центру у складі виробника (ЛЦ); транспортному підприємству (ТП). В результаті отримаємо розгалужену багатоканальну СМО, яка представлена на рис. 3.4, де порівняно зі схемою на рис. 3.3 враховані канали обслуговування кожної складової.

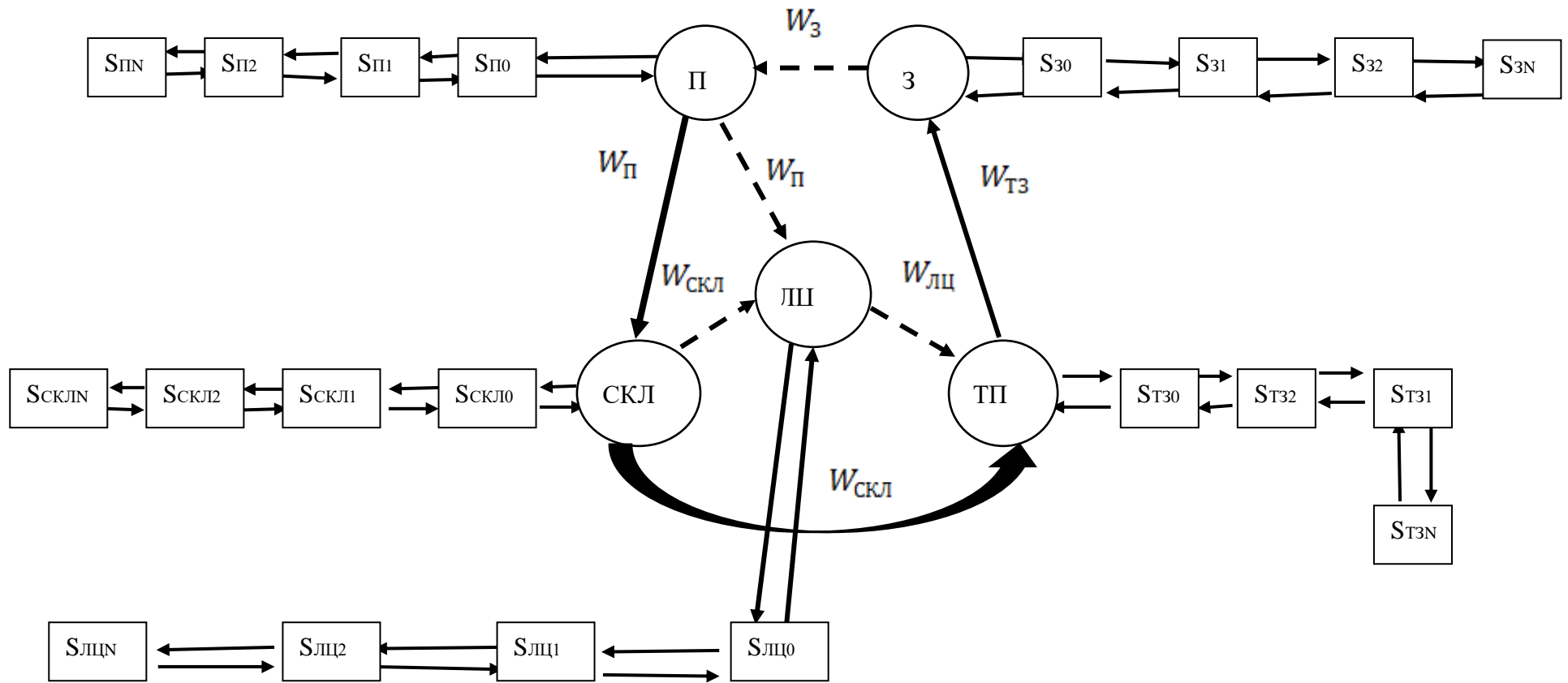


Рисунок 3.4 – Розгалужена схема багатоканальної системи масового обслуговування

Як впливає з розгалуженої схеми, рис. 3.4, всі N – каналні СМО однотипні. Різниця полягає в кількості каналів обслуговування N , наприклад, для заводу – це 4-5 пунктів одночасного прийому автомобілів для розвантаження, для транспортного підприємства – це 80-100 вантажних автомобілів для транспортування вантажу зі складу на завод з переробки і т. д., за кожною складовою.

Розглянемо N – каналну СМО транспортного підприємства з можливими відмовами в обслуговуванні і представимо її, як показано на рис. 3.5. Будемо нумерувати стан системи по числу зайнятих автомобілів (каналів) або по числу заявок на автомобілі для транспортування вантажу на завод з переробки, позначаючи кількість каналів – $N_{авт}$.

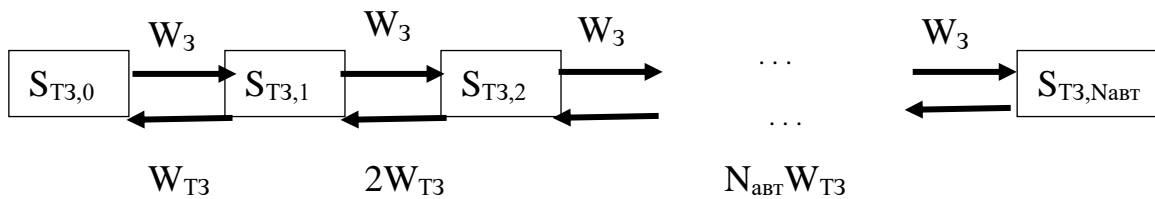


Рис. 3.5 – Граф станів СМО транспортного підприємства

Для графа станів на рис. 3.5 введемо наступні позначення:

- $S_{T3,0}$ – всі ТЗ вільні або очікують заявки;
- $S_{T3,1}$ – зайнятий один автомобіль, інші вільні;
- $S_{T3,2}$ – зайнято два автомобіля, інші вільні;
- $S_{T3,Навт}$ – зайняті всі $N_{авт}$.

Отже, при надходженні заявок на обслуговування більше, ніж $N_{авт}$, наприклад $(N_{авт} + 1)$, відбудеться відмова в обслуговуванні.

По стрілках зліва направо систему переводить один і той же потік заявок на автомобілі, які можна оцінити продуктивністю заводу W_3 , т/год.

По стрілках справа наліво відбувається потік обслуговування заявок з продуктивністю $W_{T3,i}$, т/год. Якщо в обслуговуванні бере участь $N_{авт}$, то продуктивність обслуговування дорівнює $N_{авт} \cdot W_{T3,i}$, т/год.

Застосовуючи правило Колмогорова [75] для графа станів на рис. 3.5, напишемо систему диференціальних рівнянь ймовірностей станів даної системи:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_{T3,0}}{dt} &= -W_3 \cdot p_{T3,0} + p_{T3,1} \\ \frac{dp_{T3,1}}{dt} &= -W_3 \cdot p_{T3,1} - W_3 \cdot p_{T3,1} + W_3 \cdot p_{T3,0} + 2 \cdot W_{T3} \cdot p_{T3,2}, \\ &\dots \\ \frac{dp_{T3,N_{авт}}}{dt} &= -N_{авт} \cdot W_{T3} + W_3 \cdot p_{T3,N_{авт}-1} \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Початкові умови для записаної системи рівнянь (3.9) наступні. У початковий момент часу при $t = 0$ всі ТЗ знаходяться в очікуванні замовлення, отже:

$$p_{T3,0} = 1, p_{T3,1} = p_{T3,2} = \dots = p_{T3,N_{aem}} = 0, \quad (3.10)$$

Застосовуючи умову (3.10) можна систему диференціальних рівнянь (3.9) перетворити в систему лінійних рівнянь, перенісши негативні члени в ліву частину і вирішити її виразивши всі ймовірності через $p_{T3,0}$, як було виконано вище, для системи на рис. 3.2.

В результаті проведених перетворень були отримані наступні вирази:

$$p_{T3,0} = \left(1 + \frac{W_3}{W_{T3,i} 1!} + \frac{\left(\frac{W_3}{W_{T3,i}}\right)^2}{2!} + \dots + \frac{\left(\frac{W_3}{W_{T3,i}}\right)^{N_{aem}}}{N_{aem}!} \right)^{-1}, \quad (3.11)$$

$$p_{T3,1} = \frac{W_3}{W_{T3,i} 1!} \cdot p_{T3,0}, \quad (3.12)$$

$$p_{T3,2} = \frac{\left(\frac{W_3}{W_{T3,i}}\right)^2}{2!} \cdot p_{T3,0}, \quad (3.13)$$

$$p_{T3,N_{aem}} = \frac{\left(\frac{W_3}{W_{T3,i}}\right)^{N_{aem}}}{N_{aem}!} \cdot p_{T3,0}. \quad (3.14)$$

У випадку зайнятості всіх N_{aem} в транспортному підприємстві, заявка на перевезення вантажів отримує відмову. Отже, імовірність відмови в транспортному обслуговуванні дорівнює:

$$p_{відм,ТЗ} = p_{T3,N_{aem}} = \frac{\left(\frac{W_3}{W_{T3,i}}\right)^{N_{aem}}}{N_{aem}!} \cdot p_{T3,0}. \quad (3.15)$$

Знаючи імовірність відмови в транспортному обслуговуванні $p_{відм,ТЗ}$, формула (3.15), можна отримати вираз для визначення обсягу перевезеного вантажу в тонах транспортним підприємством:

$$Q_{ТП} = \sum_{i=1}^{N_{авт}} W_{ТЗ,i} \cdot t_{ТЗ} \cdot (1 - p_{відм,ТЗ}), \text{ т,} \quad (3.16)$$

де $t_{ТЗ}$ – час роботи транспортного засобу в годинах.

Використовуючи розроблений методологічний підхід для визначення продуктивності транспортного підприємства, можна отримати вирази для визначення продуктивності всіх учасників СМО, яка представлена на рис. 3.4.

Для складу у структурі виробника, що має декілька навантажувачів (каналів обслуговування) $N_{НАВАН}$, формули (3.11) і (3.14) перепишемо в такому вигляді.

Імовірність очікування складом заявок на обслуговування $p_{СКЛ,0}$ і ймовірність зайнятих на складі каналів обслуговування $p_{СКЛ,N_{НАВАН}}$:

$$p_{СКЛ,0} = \left(1 + \frac{W_3}{W_{СКЛ,i} \cdot 1!} + \frac{\left(\frac{W_3}{W_{СКЛ,i}}\right)^2}{2!} + \dots + \frac{\left(\frac{W_3}{W_{СКЛ,i}}\right)^{N_{НАВАН}}}{N_{НАВАН}!} \right)^{-1}, \quad (3.17)$$

$$p_{СКЛ,N_{НАВАН}} = \frac{\left(\frac{W_3}{W_{СКЛ,i}}\right)^{N_{НАВАН}}}{N_{НАВАН}!} \cdot p_{СКЛ,0}. \quad (3.18)$$

При цьому імовірність відмови в обслуговуванні складом дорівнює:

$$p_{відм,СКЛ} = p_{СКЛ,N_{НАВАН}} = \frac{\left(\frac{W_3}{W_{СКЛ,i}}\right)^{N_{НАВАН}}}{N_{НАВАН}!} \cdot p_{СКЛ,0}. \quad (3.19)$$

Обсяг вантажу, який перероблений складом, виражається формулою:

$$Q_{СКЛ} = \sum_{i=1}^{N_{НАВАН}} W_{СКЛ,i} \cdot t_{СКЛ} \cdot (1 - p_{відм,СКЛ}), \text{ т,} \quad (3.20)$$

де $t_{СКЛ}$ – час роботи складу в годинах.

Для ЛЦ, який має декілька каналів обслуговування $N_{ЛЦ}$, імовірність очікування ЛЦ заявок на обслуговування $p_{ЛЦ,0}$ і імовірність зайнятості в ЛЦ всіх каналів обслуговування $p_{ЛЦ,N_{ЛЦ}}$:

$$p_{\text{ЛЦ},0} = \left(1 + \frac{W_3}{W_{\text{ЛЦ},i}} \frac{1}{1!} + \frac{\left(\frac{W_3}{W_{\text{ЛЦ},i}}\right)^2}{2!} + \dots + \frac{\left(\frac{W_3}{W_{\text{ЛЦ},i}}\right)^{N_{\text{ЛЦ}}}}{N_{\text{ЛЦ}}!} \right)^{-1}, \quad (3.21)$$

$$p_{\text{ЛЦ},N_{\text{ЛЦ}}} = \frac{\left(\frac{W_3}{W_{\text{ЛЦ},i}}\right)^{N_{\text{ЛЦ}}}}{N_{\text{ЛЦ}}!} \cdot p_{\text{ЛЦ},0}. \quad (3.22)$$

Імовірність відмови в обслуговуванні логістичним центром дорівнює:

$$p_{\text{відм,ЛЦ}} = p_{\text{ЛЦ},N_{\text{ЛЦ}}} = \frac{\left(\frac{W_3}{W_{\text{ЛЦ},i}}\right)^{N_{\text{ЛЦ}}}}{N_{\text{ЛЦ}}!} \cdot p_{\text{ЛЦ},0}. \quad (3.23)$$

Обсяг вантажу, який перероблений ЛЦ, виражається формулою:

$$Q_{\text{ЛЦ}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{ЛЦ}}} W_{\text{ЛЦ},i} \cdot t_{\text{ЛЦ}} \cdot (1 - p_{\text{відм,ЛЦ}}), \text{ Т}, \quad (3.24)$$

де $t_{\text{ЛЦ}}$ – час роботи ЛЦ в годинах.

Для виробника вантажу (сільськогосподарське підприємство з вирощування та збирання ЦБ), що має декілька одночасно працюючих комбайнів (каналів обслуговування) N_K , імовірність очікування роботи комбайнів $p_{\Pi,0}$ і ймовірність зайнятості всіх комбайнів p_{Π,N_K} дорівнює:

$$p_{\Pi,0} = \left(1 + \frac{W_3}{W_{\Pi,i}} \frac{1}{1!} + \frac{\left(\frac{W_3}{W_{\Pi,i}}\right)^2}{2!} + \dots + \frac{\left(\frac{W_3}{W_{\Pi,i}}\right)^{N_K}}{N_K!} \right)^{-1}, \quad (3.25)$$

$$p_{\Pi,N_K} = \frac{\left(\frac{W_3}{W_{\Pi,i}}\right)^{N_K}}{N_K!} \cdot p_{\Pi,0}. \quad (3.26)$$

Імовірність відмови підприємства в постачанні вантажу на склад дорівнює:

$$p_{\text{відм},\Pi} = p_{\Pi,N_K} = \frac{\left(\frac{W_3}{W_{\Pi,i}}\right)^{N_K}}{N_K!} \cdot p_{\Pi,0} \quad (3.27)$$

Обсяг вантажу, вироблений підприємством виражається формулою:

$$Q_{\Pi} = \sum_{i=1}^{N_K} W_{\Pi,i} \cdot t_{\Pi} \cdot (1 - p_{\text{відм},\Pi}), \text{ Т}, \quad (3.28)$$

де t_{Π} – час роботи підприємства в годинах.

Для заводу з переробки ЦБ, що має кілька пунктів прийому автомобілів з вантажем (каналів обслуговування) N_3 , імовірність очікування (відсутність) вантажу $p_{3,0}$ і ймовірність зайнятості всіх каналів обслуговування одночасно p_{3,N_3} , виражаються формулами:

$$p_{3,0} = \left(1 + \frac{\frac{W_3}{W_{3,i}}}{1!} + \frac{\left(\frac{W_3}{W_{3,i}}\right)^2}{2!} + \dots + \frac{\left(\frac{W_3}{W_{3,i}}\right)^{N_3}}{N_3!} \right)^{-1}, \quad (3.29)$$

$$p_{3,N_3} = \frac{\left(\frac{W_3}{W_{3,i}}\right)^{N_3}}{N_3!} \cdot p_{3,0} \quad (3.30)$$

Імовірність відмови заводу в прийманні вантажу дорівнює:

$$p_{\text{відм},3} = p_{3,N_3} = \frac{\left(\frac{W_3}{W_{3,i}}\right)^{N_3}}{N_3!} \cdot p_{3,0} \quad (3.31)$$

Обсяг вантажу, прийнятий заводом по переробці ЦБ, виражається формулою:

$$Q_3 = \sum_{i=1}^{N_3} W_{3,i} \cdot t_3 \cdot (1 - p_{\text{відм},3}), \text{ Т}, \quad (3.32)$$

де t_3 – час роботи заводу в годинах.

Отримані формули (3.11) – (3.32) дозволяють виконати імовірнісне моделювання ЛС вантажних перевезень під час збирання ЦБ сільськогосподарським підприємством. Основною умовою-обмеженням, що накладається при моделюванні, є величина проектної продуктивності заводу з переробки ЦБ буряку W_3 , т/год, яка є сумою проектної продуктивності всіх приймальних пунктів заводу $\sum_{i=1}^{N_3} W_{3,i}$. На підставі відомих продуктивностей W_3 і $W_{3,i}$, розраховуються всі інші ймовірності та продуктивності СМО, яка представлена на рис. 3.4. Отримані обсяги переміщення вантажу всіх складових СМО: Q_{III} , формула (3.16); $Q_{СКЛ}$, формула (3.20); $Q_{ЛЦ}$, формула (3.24); Q_{II} , формула (3.28) і Q_3 , формула (3.32), є вхідним сигналом для моделювання перехідних процесів у ЛС вантажоперевезень.

Методичний підхід СМО [75] базується на тому, що всі потоки в системі є марківськими випадковими процесами. Це означає, що для кожного моменту часу t_0 ймовірність будь-якого стану системи в майбутньому $t > t_0$, залежить тільки від її стану в сьогоднішній і не залежить від того, коли і яким чином система прийшла в цей стан (тобто як розвивався процес в минулому). Іншими словами, у марківському випадковому процесі розвиток системи в майбутньому залежить тільки від цього стану і не залежить від минулого.

Таке обмеження заважає СМО досліджувати динамічні процеси, які протікають в ЛС вантажоперевезень, а результати, отримані при імовірнісному моделюванні, є дискретними і статичними. Особливістю ЛС вантажних перевезень під час збирання врожаю є те, що різноманітні потоки, як матеріальні, так і інформаційні, є динамічними процесами, що розвиваються в часі. Якщо в СМО розглядаються процеси очікування та виконання заявок на транспортне обслуговування, то динамічні моделі повинні оперувати процесами накопичення вантажів та інформації, переміщення матеріальних потоків у часі.

Складність і різноманіття процесів у реальних ЛС вантажоперевезень призводить до використання результатів імовірнісного моделювання системи за допомогою апарату СМО, як вхідного потоку (сигналу) в динамічну модель переміщення матеріальних і інформаційних потоків. На першому етапі моделювання така динамічна модель може розглядатися у вигляді "чорної скрині".

Вихідними параметрами чорної скрині є: обсяг переміщеного вантажу в реальному масштабі часу; час виконання замовлення, коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання та ефективність логістичної системи, які характеризують надійність та ефективність системи.

Склад динамічної моделі ЛС як "чорної скрині", представлено на рис. 3.6.

Позитивною властивістю таких моделей є те, що вони дозволяють отримувати кількісні оцінки показників функціонування ЛС, на підставі яких приймаються рішення про конфігурацію системи, продуктивності окремих складових системи і необхідних обсягах ресурсів, а також пов'язаних з ними

стратегіях передачі інформації і управління. Особливістю динамічних моделей є те, що перераховані показники функціонування будуть оцінюватися не у вигляді констант, а у вигляді функцій часу, що відображають динаміку процесів, які протікають в реальних системах.

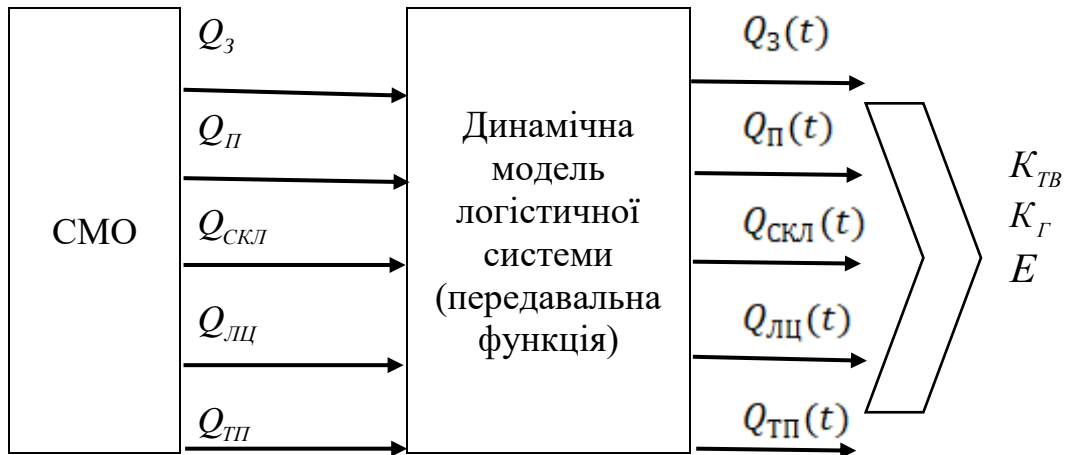


Рис. 3.6 – Склад динамічної моделі логістичної системи

Аналіз літературних джерел, присвячених моделюванню функціонування логістичних систем або логістичних ланцюгів, показує, що це інерційні системи. Після отримання заявки на перевезення вантажу логістичний центр, склад або транспортне підприємство виходять на максимальну продуктивність не миттєво, а через деякий час, як показано на рис. 3.7.

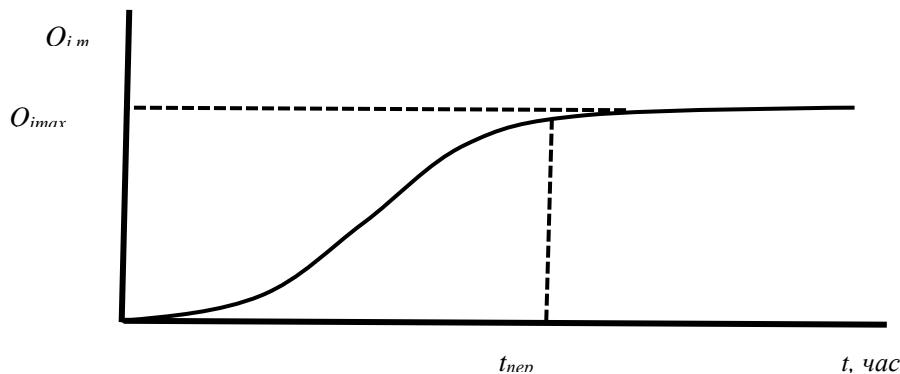


Рис. 3.7 – Перехідна характеристика логістичної системи

Представлена перехідна характеристика отримала назву логістичної моделі або логісти [78], а час $t_{пер}$, характеризує час виходу системи на максимальну продуктивність (час перехідного процесу).

На характер перехідної характеристики впливає потік заявок на переробку вантажів на складі, а також на процес їх транспортування. Згідно основних положень СМО характер найпростішого потоку заявок розподілений за показовим (експоненціальним) законом, як показано на рис. 3.8.

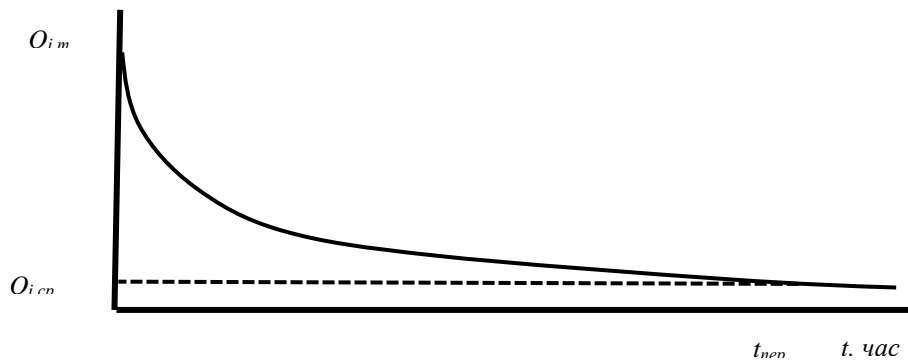


Рис. 3.8 – Залежність розподілу заявок в СМО у часі

Як впливає із залежності, представлені на рис. 3.8, в початковий момент часу потік заявок досягає максимального значення, а потім зменшується і стабілізується біля середнього значення, $Q_{i,ср}$.

Використовуючи основні положення теорії ідентифікації динамічних об'єктів [79] можна отримати структуру динамічної моделі ЛС, яка представлена на рис. 3.9.

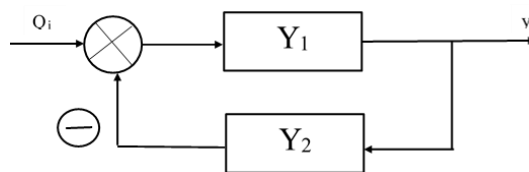


Рис. 3.9 – Структурна схема динамічної моделі логістичної системи

Згідно структурної схеми, рис. 3.9, на вхід системи подається імовірнісний потік заявок, який розраховується згідно виразів (3.11) – (3.32). Передавальна функція Y_1 – це інерційна ланка, яка представлено на рис. 3.7, в операторній формі. Її можна виразити формулою:

$$Y_1 = \frac{K_1}{T_1 \cdot P + 1}, \quad (3.33)$$

де Y_1 – передавальна функція інерційної ланки;

K_1 – коефіцієнт підсилення, який характеризує ступінь впливу вхідного потоку Q_i на вихідний y_i ;

T_1 – постійна часу, що характеризує інерційність системи, розмірність година;

P – оператор диференціювання d/dt .

Як впливає з рис. 3.9 структурна схема містить зворотний негативний зв'язок у вигляді передавальної функції Y_2 , яка графічно представлена на рис. 3.8. Негативний зворотний зв'язок формує «затримку» в проходженні

заявок, що в початковий момент часу досягає максимуму. Згідно теорії ідентифікації динамічних об'єктів таку ланку називають диференціюючою з передавальною функцією в операторній формі:

$$Y_2 = \frac{K_2 \cdot P}{T_2 \cdot P + 1}, \quad (3.34)$$

де Y_2 – передавальна функція диференціюючої ланки;

K_2 – коефіцієнт підсилення, який характеризує ступінь впливу вихідного сигналу y_i на вхідний Q_i ;

T_2 – постійна часу, що характеризує затримку в обробці потоку заявок, або затримку в виконанні транспортного обслуговування, розмірність година.

Згідно методики представленої в [79], напишемо еквівалентну передавальну функцію для схеми на рис. 3.9:

$$Y_{ек} = \frac{Y_1}{1 + Y_1 \cdot Y_2} = \frac{\frac{K_1}{T_1 \cdot P + 1}}{1 + \left(\frac{K_1}{T_1 \cdot P + 1} \right) \left(\frac{K_2 \cdot P}{T_2 \cdot P + 1} \right)}, \quad (3.35)$$

Після алгебраїчних перетворень виразу (3.35) отримаємо:

$$Y_{ек} = \frac{K_1 \cdot T_2 \cdot P + K_1}{T_1 \cdot T_2 \cdot P^2 + (T_1 + T_2 + K_1 \cdot K_2) \cdot P + 1}. \quad (3.36)$$

Введемо позначення:

$$T = \sqrt{T_1 \cdot T_2}, \quad (3.37)$$

$$2 \cdot d \cdot T = (T_1 + T_2 + K_1 \cdot K_2). \quad (3.38)$$

Виразимо з (3.38) d :

$$d = \frac{(T_1 + T_2 + K_1 \cdot K_2)}{2\sqrt{T_1 \cdot T_2}}. \quad (3.39)$$

Постійна часу T , формула (3.37) характеризує інерційність динамічної моделі логістичної системи, розмірність година.

Величина d , формула (3.39), в теорії ідентифікації динамічних об'єктів отримала назву декремента загасання. Якщо $d < 0,7$, перехідний процес має коливальний характер. При $d \geq 0,7$, коливальність в перехідному процесі відсутня.

Враховуючи те, що у виразі (3.36) в чисельнику стоїть вхідний сигнал, а в знаменнику вихідний і з урахуванням виконаної заміни, можна записати рівняння динаміки перехідного процесу в логістичній системі:

$$T^2 \cdot P^2 + 2 \cdot d \cdot T \cdot P + 1 = K_1 \cdot T_2 \cdot P + K_1. \quad (3.40)$$

Перепишемо рівняння в операторній формі (3.40) у вигляді диференціального рівняння, замінивши оператор диференціювання P на d/dt :

$$T^2 \cdot \frac{d^2 y_i}{dt^2} + 2 \cdot d \cdot T \cdot \frac{dy_i}{dt} + y_i = K_1 \cdot T_2 \cdot \frac{dQ_i}{dt} + K_1, \quad (3.41)$$

де y_i – параметр функціонування ЛС по якому буде виконуватися моделювання;

Q_i – прогнозований обсяг перевезень всіх складових ЛС, який визначається з урахуванням ймовірності відмови за формулами (3.16), (3.20), (3.24), (3.28) і (3.32).

Права частина диференціального рівняння (3.41) містить вхідний параметр, який впливає на динамічний процес у ЛС. З аналізу правої частини рівняння, впливає, що на динаміку процесу впливає:

- коефіцієнт K_1 , який характеризує ступінь впливу вхідного параметра на вихідний, чим більше величина K_1 , тим більше цей вплив;

- постійна часу T_2 , яка характеризує затримку в обробці заявок в ЛЦ або затримки, пов'язані з завантаженням ТЗ, затримки під час перевезення, розвантаження тощо;

- перша похідна від вхідного параметра Q_i .

Враховуючи те, що вхідний параметр Q_i має розмірність т, то $\frac{dQ_i}{dt}$ має розмірність т/год, а фізичний зміст – швидкість при виконанні заявок на обслуговування.

Ліва частина рівняння (3.41) – це реакція ЛС на величину вхідного параметра Q_i з урахуванням K_1 та T_2 . Постійна часу T , формула (3.37), характеризує час виконання заявок. Чим більше величина T , тим більше час виконання заявок, тобто збільшення T робить процес менш сприйнятливим до виконання заявок. Декремент загасання d , формула (3.39), характеризує наявність або відсутність в ЛС коливального процесу.

Рішенням отриманого диференціального рівняння (3.41) є вираз:

$$y_i(t) = Q_i \cdot \left[1 - e^{-\frac{d}{T}t} \cdot (\cos \omega \cdot t + A \cdot \sin \omega \cdot t) \right], \quad (3.42)$$

де t – поточний час, за яким виконується моделювання, година;

ω – частота коливань вихідного параметра y_i з причини затримок проходження заявок у ЛС, 1/год:

$$\omega = \frac{\sqrt{1-d^2}}{T}, \quad (3.43)$$

A – величина відхилення вихідного параметра від середнього поточного значення під час коливального процесу:

$$A = \frac{d}{\sqrt{1-d^2}}. \quad (3.44)$$

Замінивши у виразі (3.42) y_i і Q_i на значення обсягу переробленого вантажу всіх складових СМО, одержимо ряд виразів для моделювання логістичних ланцюгів.

Для моделювання обсягу перевезеного вантажу транспортним підприємством:

$$Q_{\text{ПОТ,ТП}}(t) = Q_{\text{ТП}} \cdot \left[1 - e^{-\frac{d}{T}t} \cdot (\cos \omega \cdot t + A \sin \omega \cdot t) \right], \quad (3.45)$$

де $Q_{\text{ТП}}$ розраховується за формулою (3.16).

Для моделювання обсягу вантажу, переробленого складом:

$$Q_{\text{ПОТ,СКЛ}}(t) = Q_{\text{СКЛ}} \cdot \left[1 - e^{-\frac{d}{T}t} \cdot (\cos \omega \cdot t + A \cdot \sin \omega \cdot t) \right], \quad (3.46)$$

де $Q_{\text{СКЛ}}$ розраховується за формулою (3.20).

Для моделювання обсягу вантажу, переробленого ЛЦ:

$$Q_{\text{ПОТ,ЛЦ}}(t) = Q_{\text{ЛЦ}} \cdot \left[1 - e^{-\frac{d}{T}t} \cdot (\cos \omega \cdot t + A \cdot \sin \omega \cdot t) \right], \quad (3.47)$$

де $Q_{\text{ЛЦ}}$ розраховується за формулою (3.24).

Для моделювання обсягу вантажу, виробленого підприємством:

$$Q_{\text{ПОТ,П}}(t) = Q_{\text{П}} \cdot \left[1 - e^{-\frac{d}{T}t} \cdot (\cos \omega \cdot t + A \cdot \sin \omega \cdot t) \right], \quad (3.48)$$

де Q_{II} розраховується за формулою (3.28).

Для моделювання обсягу вантажу, переробленого заводом:

$$Q_{\text{пор},3}(t) = Q_3 \cdot \left[1 - e^{-\frac{d}{T}t} \cdot (\cos \omega \cdot t + A \cdot \sin \omega \cdot t) \right], \quad (3.49)$$

де Q_3 розраховується по формулі (3.32).

Отримані вирази (3.45) – (3.49) є результатом структурної ідентифікації динамічної моделі вантажоперевезень під час збирання ЦБ і дозволяють виконати моделювання всіх складових системи у часі. Результати моделювання дозволять планувати і коригувати завантаження всіх складових ЛС за критеріями максимальної продуктивності і мінімальних витрат.

Однак, у вирази (3.45) – (3.49) входять параметри T і d , для визначення яких необхідно провести параметричної ідентифікації моделі [79].

В процесі параметричної ідентифікації необхідно отримати вирази для визначення коефіцієнтів підсилення K_1 і K_2 , а також постійних часу T_1 і T_2 , з допомогою яких можна розрахувати T , формула (3.37) і d , формула (3.39).

Коефіцієнт підсилення K_1 , який згідно виразу (3.33) характеризує ступінь впливу вхідного потоку Q_i , тобто обсягу переробленого вантажу кожної зі складових СМО, які представлені на рис. 3.6, на вихідний сигнал – зміни у часі зазначених обсягів вантажу та вихід їх на сталий, розрахунковий режим, з урахуванням ймовірностей відмови складових ЛС отримаємо наступним чином:

- коефіцієнт підсилення для підприємства по виробництву ЦБ:

$$K_{1,II} = \frac{Q_{II}}{Q_3}. \quad (3.50)$$

- коефіцієнт підсилення складу:

$$K_{1,СКЛ} = \frac{Q_{СКЛ}}{Q_3}. \quad (3.51)$$

- коефіцієнт підсилення для логістичного центру:

$$K_{1,ЛЦ} = \frac{Q_{ЛЦ}}{Q_3}. \quad (3.52)$$

- коефіцієнт підсилення для транспортного підприємства:

$$K_{1,ТП} = \frac{Q_{ТП}}{Q_3}. \quad (3.53)$$

Як впливає з представлених формул (3.50) – (3.53), визначення коефіцієнтів підсилення K_1 буде проводитися як відношення до обсягу перероблених цукровим заводом буряків. Отже коефіцієнт підсилення для заводу:

$$K_{1,3} = \frac{Q_3}{Q_3} = 1. \quad (3.54)$$

Фізичний зміст коефіцієнта K_1 – це «запас стійкості», або запас по продуктивності складових ЛС, який забезпечить її надійну роботу.

Постійна часу T_1 характеризує інерційність складових ЛС у виконанні заявок на завантаження, перевезення, доставку вантажу в процесі збирання ЦБ.

Постійну часу підприємства по виробництву ЦБ можна визначити за виразом:

$$T_{1,П} = \frac{0,1 \cdot B \cdot V_K \cdot G \cdot K_{ЗМ} \cdot N_K \cdot t_{ЗМ,П}^2}{1,26 \cdot Q_3}, \text{ год}, \quad (3.55)$$

де B – ширина захвату бурякозбирального комбайна, м;

V_K – робоча швидкість руху комбайна, км/год;

G – урожайність ЦБ, т/га;

$K_{ЗМ}$ – коефіцієнт використання часу робочої зміни;

N_K – кількість бурякозбиральних комбайнів, що одночасно беруть участь у процесі збирання, од.;

$t_{ЗМ,П}$ – тривалість робочої зміни на підприємстві, год.

Постійну часу складу, де відбувається перевалка ЦБ від комбайнів на вантажні автомобілі, можна визначити за виразом:

$$T_{1,СКЛ} = \frac{W_{СКЛ,i} \cdot N_{НАВАН} \cdot t_{ЗМ,СКЛ}^2}{1,35 \cdot Q_3}, \text{ год}, \quad (3.56)$$

де $W_{СКЛ,i}$ – продуктивність навантажувача, т/год;

$N_{НАВАН}$ – кількість навантажувачів, що одночасно працюють на складі, од.;

$t_{ЗМ,СКЛ}$ – тривалість робочої зміни на складі, год.

Постійну часу ЛЦ, де відбувається збір і аналіз інформації, а також передача інформації у вигляді прийнятих рішень можна визначити за виразом:

$$T_{1,ЛЦ} = \frac{W_{ЛЦ,i} \cdot N_{ЛЦ} \cdot t_{ЗМ,ЛЦ}^2}{1,35 \cdot Q_3}, \text{ год}, \quad (3.57)$$

де $W_{ЛЦ,i}$ – продуктивність каналу обслуговування інформації, т/год;

$N_{ЛЦ}$ – кількість каналів інформації, од.;

$t_{ЗМ,ЛЦ}$ – тривалість робочої зміни в ЛЦ, год.

Постійну часу транспортного підприємства можна визначити за виразом:

$$T_{1,ЛЦ} = \frac{q_H \cdot \gamma \cdot \beta \cdot V_{ТЗ} \cdot N_{ТЗ} \cdot t_{ЗМ,ЛЦ}^2}{1,09 \cdot Q_3 \cdot (l_B + V_{ТЗ} \cdot \beta \cdot t_{H-P})}, \text{ год}, \quad (3.58)$$

де q_H – номінальна вантажопідйомність ТЗ, т;

γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності ТЗ;

β – коефіцієнт використання пробігу;

l_B – відстань перевезення вантажу, км;

$V_{ТЗ}$ – технічна швидкість ТЗ, км/год;

$N_{ТЗ}$ – кількість ТЗ, що одночасно беруть участь у перевезенні вантажу,

од.;

$t_{ЗМ,ЛЦ}$ – тривалість робочої зміни транспортного підприємства, год;

t_{H-P} – час навантаження на складі та розвантаження на заводі ТЗ, год.

Постійну часу заводу з переробки ЦБ можна визначити за виразом:

$$T_{1,З} = \frac{W_{3,i} \cdot N_3 \cdot t_{ЗМ,З}^2}{5,39 \cdot Q_3}, \text{ год}, \quad (3.59)$$

де $W_{3,i}$ – продуктивність пункту прийому заводу, т/год;

N_3 – кількість пунктів прийому на заводі, од.;

$t_{ЗМ,З}$ – тривалість робочої зміни на заводі, год.

Коефіцієнт підсилення K_2 , який згідно виразу (3.34) визначає ступінь впливу обсягу переробленого вантажу всіх складових ЛС Q_i на різного роду затримки в проходженні заявок, обробці і передачі інформації, а також затримки в навантаженні, розвантаженні, транспортуванні вантажів. З урахуванням формули (3.8) визначимо у вигляді наступних виразів.

Коефіцієнт підсилення для підприємства по виробництву вантажу:

$$K_{2,П} = \frac{Q_3}{2 \cdot Q_{П}}. \quad (3.60)$$

Коефіцієнт підсилення складу:

$$K_{2,CKЛ} = \frac{Q_3}{4 \cdot Q_{CKЛ}}. \quad (3.61)$$

Коефіцієнт підсилення для ЛЦ:

$$K_{2,ЛЦ} = \frac{3 \cdot Q_3}{4 \cdot Q_{ЛЦ}}. \quad (3.62)$$

Коефіцієнт підсилення для транспортного підприємства:

$$K_{2,ТП} = \frac{Q_3}{Q_{ТП}}. \quad (3.63)$$

Коефіцієнт підсилення для заводу з переробки ЦБ:

$$K_{2,3} = \frac{Q_3}{Q_3} = 1. \quad (3.64)$$

Як випливає з поданих виразів (3.60) – (3.64), чим більше обсяг переробленого цукровим заводом вантажу Q_3 , тим більше ступінь впливу різного роду затримок у виконанні заявок у всіх ланках ЛС. Фізичний зміст коефіцієнта K_2 – це «чутливість» ЛС до надходження заявок на обслуговування.

Постійна величина T_2 , характеризує час, який необхідний для виконання одного робочого циклу всіх складових ЛС системи з урахуванням імовірності відмови зазначених вище складових.

Виходячи з викладеного вище, постійні часу T_2 , які характеризують затримки в складових ЛС, можна представити наступними виразами.

Постійна часу затримки для підприємства по виробництву вантажу визначається за формулою:

$$T_{2,П} = \frac{t_{3М,П}}{1,49 \cdot N_K \cdot (1 - p_{відм,П})}, \text{ год.} \quad (3.65)$$

Постійна часу затримки для складу визначається за формулою, год:

$$T_{2,CKЛ} = \frac{t_{3М,CKЛ}}{3,48 \cdot N_{НАВАН} \cdot (1 - p_{відм,CKЛ})}, \text{ год.} \quad (3.66)$$

Постійна часу затримки логістичного центру визначається за формулою:

$$T_{2,ЛЦ} = \frac{t_{3М,ЛЦ}}{4,3 \cdot N_{ЛЦ} \cdot (1 - p_{відм,ЛЦ})}, \text{ год.} \quad (3.67)$$

Постійна часу затримки транспортного підприємства визначається за формулою:

$$T_{2,ТП} = \frac{t_{3М,ТП}}{0,17 \cdot N_{авт} \cdot (1 - p_{відм,ТЗ})}, \text{ год.} \quad (3.68)$$

Постійна часу затримки заводу з переробки вантажу (ЦБ) визначається за формулою:

$$T_{2,З} = \frac{t_{3М,З}}{2,15 \cdot N_3 \cdot (1 - p_{відм,З})}, \text{ год.} \quad (3.69)$$

Отримані вирази для визначення коефіцієнтів підсилення K_i і постійних часу T_i є рішенням задачі параметричної ідентифікації динамічної моделі ЛС вантажних перевезень під час збирання ЦБ. Вони дозволяють врахувати велику кількість конструктивних і технологічних параметрів, які впливають на досліджуваний процес, а це, в свою чергу, дає можливість виконати моделювання перехідних процесів у всіх складових ЛС.

Моделювання функціонування ЛС транспортного обслуговування в процесі збирання ЦБ проводиться з метою прогнозування обсягу перевезень і управління переміщенням вантажопотоків за рахунок вдосконалення основних показників транспортного процесу, таких як надійність і ефективність.

3.3 Моделювання процесів в логістичній системі транспортного обслуговування виробників цукрового буряку з забезпеченням заданого рівня надійності і мінімальних витрат

В ЛС транспортного обслуговування в процесі збирання ЦБ входять такі логістичні ланки: виробництво вантажу (вантажоутворюючий пункт); перевалка вантажу на складі, який можна назвати буфером із запасом вантажу на 2-3 доби роботи (пункт перевалки); ЛЦ зі збору та обробки інформації, а також планування і управління процесами в логістичних ланцюгах (пункт переробки інформації); транспортне підприємство з перевезення вантажу; завод з переробки вантажу (ВПП). Інтеграція перерахованих ланок в єдину ЛС дозволить підвищити надійність функціонування системи в цілому, ефективність використання ТЗ, а також розробити нові шляхи управління і диспетчеризації.

Для моделювання процесів, які характерні для перерахованих вище логістичних ланок, використовується математична модель (3.42), яка включає в себе ймовірнісне моделювання для різних вихідних даних і обмежень на завантаження ЛС і динамічне моделювання розвитку процесу в часі, тобто

після надходження замовлення на перевезення вантажу. При цьому моделювання виконується по кожній логістичній ланці окремо, що дозволяє отримати часові параметри транспортного циклу ЛС в цілому, а також визначити ефективність роботи всієї інфраструктури системи.

Особливістю моделювання динамічних процесів в ЛС транспортного обслуговування під час збирання ЦБ є висока інтенсивність вантажних потоків.

Проектна потужність заводу з переробки ЦБ – вантажопоглинаючого пункту, становить 3000 т/добу і залежить від кількості приймальних пунктів для розвантаження ТЗ.

Результати моделювання зміни обсягу прийнятого вантажу заводом Q_3 , який розраховується за формулою (3.32), а також допустимої ймовірності відмови заводу в прийманні вантажу з різних технічних причин $P_{відм,3}$, яка розраховується за формулою (3.31), в залежності від кількості працюючих пунктів прийому вантажу на заводі N_3 показали, що для прийому максимального обсягу вантажу $Q_3 = 2762 \text{ т}$ на добу при мінімальній ймовірності відмови в прийомі, необхідно забезпечити 2-4 одночасно працюючих пунктів прийому вантажу на заводі з переробки ЦБ. Час робочої зміни заводу становить 24 години.

Дана умова, яка отримана теоретичним шляхом за результатами моделювання, є обмеженням в розробленій математичній моделі. Продуктивність всіх інших логістичних ланок, що входять в систему, не повинна перевищувати продуктивність ВПП, тобто заводу. Дане обмеження можна записати в вигляді:

$$W_3 = W_{\Pi} = W_{СКЛ} = W_{ЛЦ} = W_{ТП}. \quad (3.70)$$

Моделювання обсягу виробленого вантажу вантажоутворюючим підприємством Q_{Π} , який розраховується за формулою (3.28), а також допустимої ймовірності відмови підприємства в виробництві вантажу $P_{відм,\Pi}$, яка розраховується за формулою (3.27) за умови:

забезпечення рівності $W_3 = W_{\Pi} = 2762 \text{ т/доб.};$

середньої пропускної здатності комбайна – 60 кг/сек;

врожайності ЦБ – 70 т/га;

тривалості робочої зміни комбайнів – 8 годин;

показало, що необхідна кількість одночасно працюючих бурякозбиральних комбайнів N_K дорівнює чотири одиниці.

Склад, який є буфером в технологічному процесі збирання ЦБ, має запас вантажу на 2-3 доби роботи ВПП і забезпечує перевалку ЦБ від комбайнів на вантажні автомобілі. В якості навантажувального засобу використовується мобільний навантажувач з продуктивністю $W_{НАВАН} = 300 \text{ т/год.}$

Результати моделювання обсягу перевалки вантажу на складі $Q_{СКЛ}$, за формулою (3.20), а також допустима ймовірність відмови складу в

навантаженні вантажу на ТЗ $P_{відм,СКЛ}$, за формулою (3.19), в залежності від кількості одночасно працюючих навантажувачів довело, що для забезпечення рівності $W_3 = W_{II} = W_{СКЛ} = 2762$ т/доб, необхідно два одночасно працюючих навантажувача. При цьому час робочої зміни складу становить 5 годин.

ЛЦ, який входить до складу виробника вантажу виконує координаційні функції і працює з інформаційними потоками. Залежно від продуктивності ВПП на даний момент часу, ЛЦ коригує кількість ТЗ, які необхідно подати під навантаження на склад. При цьому враховується вантажопідйомність ТЗ, технічна швидкість руху на маршруті, дальність перевезення.

Для переробки інформації в ЛЦ існують робочі місця, з продуктивністю $W_{ЛЦ} = 300$ т/год, тому що мова йде про управління матеріальними потоками.

Результати моделювання обсягу переробленої інформації у вигляді обсягу вантажу, який необхідно перевезти від ВУП до ВПП $Q_{ЛЦ}$, який розраховується за формулою (3.24), а також допустима ймовірності відмови ЛЦ в обслуговуванні, яка розраховується за формулою (3.23) показують, що умова $W_3 = W_{II} = W_{СКЛ} = W_{ЛЦ} = 2762$ т/доб забезпечується двома робочими місцями (логістами в ЛЦ) з продуктивністю $W_{ЛЦ} = 300$ т/год та часом робочої зміни – 5 годин.

Транспортне підприємство забезпечує перевезення вантажу від пункту перевалки до ВПП. Необхідну кількість автомобілів з урахуванням номінальної вантажопідйомності, технічної швидкості руху, дальності перевезення, часу навантаження і розвантаження розраховує ЛЦ. Результати моделювання обсягу перевезеного вантажу $Q_{ТП}$, який розраховується за формулою (3.16), а також допустимої ймовірності відмови транспортного підприємства в перевезенні вантажу $P_{відм,ТП}$, яка розраховується за формулою (3.15) в залежності від кількості автомобілів показують, що для забезпечення рівності $W_3 = W_{II} = W_{СКЛ} = W_{ЛЦ} = W_{ТП} = 2762$ т/доб, необхідно 40 автомобілів номінальної вантажопідйомності 30 т. Моделювання виконано для дальності перевезення вантажу 60 км, середній технічній швидкості руху 25 км/год. Тривалість робочої зміни транспортного підприємства 16 годин. Час навантаження-розвантаження одного ТЗ становить 0,8 години

Результати ймовірнісного моделювання дозволять визначити «пропускну» здатність ВПП, яка залежить від проектної продуктивності і ймовірності відмови в прийомі вантажу з різних технічних і організаційних причин. Встановлено, що продуктивність ВПП, помножена на ймовірність відмови і час робочої зміни, є обмеженням в роботі всіх інших логістичних ланок в ЛС доставки вантажів.

Використовуючи отримане значення обсягу вантажу, який здатний прийняти ВПП можна виконати моделювання розвитку динаміки процесу просування вантажу в часі по всіх логістичних ланках системи.

Моделювання виконувалося на підставі диференціального рівняння (3.41), а також його рішень для кожної логістичної ланки, формули (3.45) – (3.49).

Результати моделювання розвитку динаміки процесу для всіх розглянутих логістичних ланок просування вантажу при виконанні обмежень (3.70), яке вимагає забезпечення рівності обсягів вантажів, представлені на рис. 3.10.

Як впливає з отриманих теоретичних залежностей вантажопоглинаючий пункт (завод по переробці ЦБ) виходить на робочий режим за 24 години.

ЛЦ, який працює з інформаційними потоками щодня уточнює обсяг вантажу, який в змозі прийняти ВПП і формує обсяг заявок на виробництво вантажу для ВУП, на навантаження вантажів на ТЗ на складі, на транспортування вантажу зі складу до ВПП.

Як впливає із залежності на рис. 3.10 ЛЦ переробляє інформацію і виходить на режим за 4,5 години, розсилаючи заявки по логістичних ланках.

Перевалочний пункт – склад, який є буфером в даній ЛС, вступає в роботу через годину після ЛЦ і починає завантажувати ТЗ.

Вантажоутворюючий пункт – підприємство починає роботу спільно з ЛЦ, проте обсяг виробництва ЦБ уточнюється за заявками заводу і коригується протягом робочої зміни. Як впливає з рис. 3.10, підприємство виходить на обсяг виробництва вантажу за 8 годин робочої зміни.

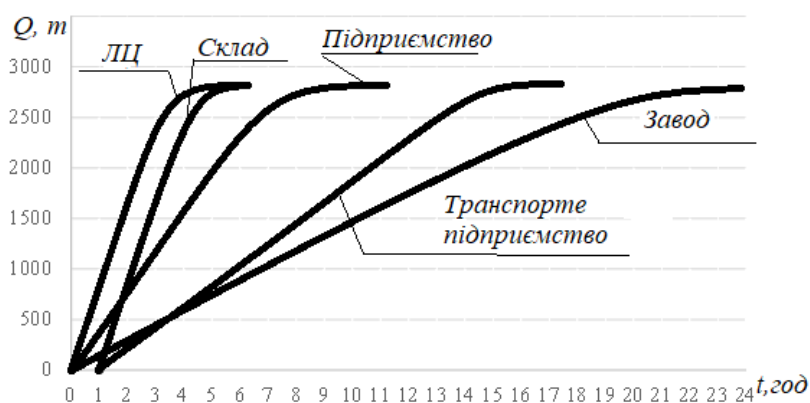


Рис. 3.10 – Динаміка процесу в логістичних ланках системи за умови $Q_3 = Q_{\Pi} = Q_{СКЛ} = Q_{ЛЦ} = Q_{ТП}$

Транспортне підприємство вступає в роботу через годину після початку роботи ЛЦ, тобто спільно з початком роботи складу і забезпечує перевезення запланованого обсягу вантажу за 16 годин.

Представлені результати моделювання дозволяють аналізувати динаміку розвитку процесу руху вантажу у всіх логістичних ланках і виробляти рішення про необхідну продуктивність ланок, а також пов'язаних з ними стратегіях управління, яку забезпечує ЛЦ.

Другий варіант – невиконання рівності продуктивностей всіх логістичних ланцюгів, коли:

$$W_{ТП} < W_3 = W_{П} = W_{СКЛ} = W_{ЛЦ}, \quad (3.71)$$

представлений на рис. 3.11.

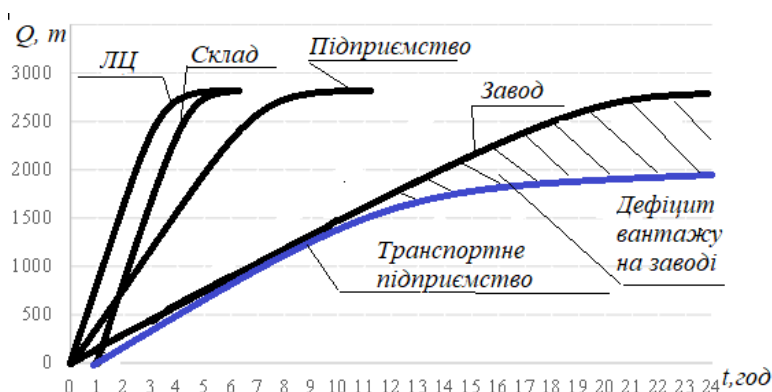


Рисунок 3.11 – Динаміка процесу в логістичних ланках системи за умови $Q_{ТП} < Q_3 = Q_{П} = Q_{СКЛ} = Q_{ЛЦ}$

Як випливає з представлених залежностей транспортне підприємство, через недостатню кількість автомобілів або їх номінальної вантажопідйомності, не забезпечує необхідний обсяг перевезень вантажу. Це призведе до зупинки заводу по переробці ЦБ. Дефіцит обсягу вантажу для безперервної роботи заводу на рис. 3.11 представлений у вигляді заштрихованої зони. Завдання ЛЦ усунути дефіцит обсягу вантажу забезпечивши виконання рівності (3.70).

Третій варіант – невиконання рівності (3.70), коли:

$$W_{ТП} > W_3 = W_{П} = W_{СКЛ} = W_{ЛЦ}, \quad (3.72)$$

представлений на рис. 3.12.

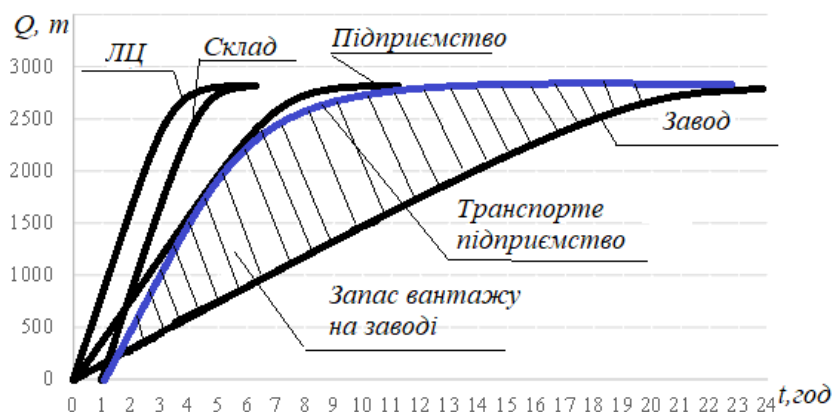


Рис. 3.12 – Динаміка процесу в логістичних ланках системи за умови $Q_{ТП} > Q_3 = Q_{П} = Q_{СКЛ} = Q_{ЛЦ}$

З представлених залежностей можна зробити висновок, що даний варіант створює запас обсягу вантажу на ВПП, що дозволяє скоротити час робочої зміни транспортного підприємства з 16 до 8 годин. Заштрихована область на рис. 3.12 позначає запас вантажу на ВПП. Це виключає зупинку заводу, що позитивно в порівнянні з варіантом (3.71), однак вимагає наявності буфера на ВПП для тимчасового зберігання вантажу, який чекає переробки.

Четвертий варіант - невиконання рівності (3.70), коли:

$$W_{III} > W_{II} > W_3 = W_{СКЛ} = W_{ЛЦ}, \quad (3.73)$$

представлений на рис. 3.13.

Даний варіант виключає зупинку заводу, проте призводить до простою ТЗ через очікування вантажу. Вантажоутворюючий пункт – підприємство з виробництва ЦБ має меншу продуктивність, ніж транспортне підприємство. На рис. 3.13 заштрихованою областю позначений дефіцит вантажу на ВУП.

Проведене моделювання роботи логістичних ланок дозволяє зробити висновок, що другий, третій і четвертий варіант приведуть до підвищених витрат в роботі ЛС. Виконання рівності (3.70) забезпечить мінімальні витрати на транспортування вантажу від вантажоутворюючого до вантажопоглинаючого пункту. Для виконання цієї умови необхідно підвищити надійність функціонування логістичних ланок і системи в цілому.

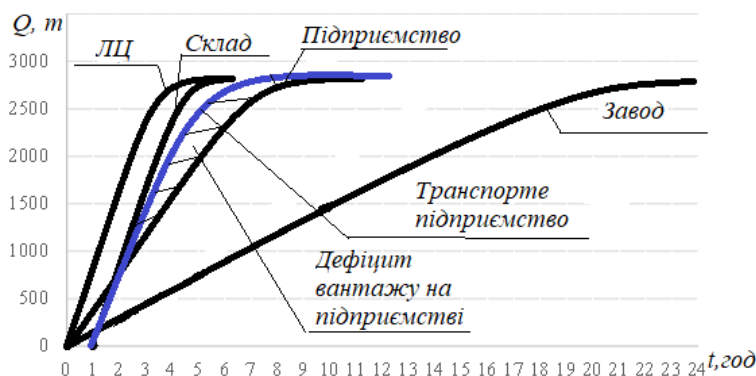


Рис. 3.13 – Динаміка процесу в логістичних ланках системи за умови $Q_{III} > Q_{II} > Q_3 = Q_{СКЛ} = Q_{ЛЦ}$

Моделювання вантажопотоків із застосуванням імовірнісних та одночасно динамічних моделей дозволяє отримати тимчасові параметри транспортного процесу в ЛС і узгодити з технологічним циклом вантажоутворюючого підприємства. Результати моделювання дозволять:

- виконувати оперативне планування транспортного процесу в логістичних ланцюгах;
- проводити оцінку виконання оперативного плану вантажоперевезень за минулу добу;

- аналізувати причини і обставини невиконання плану перевезень, зупинки роботи ВПП;
- аналізувати і розробляти варіанти підвищення надійності функціонування логістичних ланок і ЛС в цілому;
- аналізувати і розробляти шляхи зниження витрат на транспортний процес в ЛС.

Основним завданням забезпечення надійності доставки вантажів є повне виключення, або мінімізація втрат учасників транспортного процесу при доставці вантажів від вантажоутворюючого до вантажопоглинаючого пункту. Для замовників транспортних послуг висока надійність доставки вантажів означає узгодження робочих параметрів всіх учасників транспортного процесу і відсутність затримок, а також втрат або пошкодження вантажу. З урахуванням того, що ЛС транспортного обслуговування складається з логістичних ланок – учасників процесу, необхідно забезпечити дотримання зазначених вище вимог для всіх учасників транспортного процесу.

На сьогоднішній день немає загальноприйнятого формулювання надійності транспортного процесу, ГОСТ Р 51006-96 «Послуги транспортні. Терміни та визначення» дає наступне визначення: – «надійність транспортного обслуговування – це сукупність характеристик виконавця транспортних послуг, яка обумовить надання їх споживачам в заданих обсягах і якості протягом встановленого часу». Дане визначення характеризує надійність тільки перевізника, а решта учасників процесу перевезення вантажу від вантажоутворюючого до вантажопоглинаючого пункту не враховуються. Позитивним в даному визначенні є те, що враховується обсяг вантажу, що перевозиться і час, за який перевозиться вантаж.

ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення» вводить показники оцінки надійності технічних систем. Узагальненими показниками є комплексні показники надійності: коефіцієнт готовності K_G і коефіцієнт технічного використання $K_{ТВ}$. За аналогією з визначеннями, представленими в ДСТУ 2860-94 сформулюємо визначення K_G і $K_{ТВ}$ для логістичних ланок і логістичної системи транспортного обслуговування в цілому.

Коефіцієнт готовності – це ймовірність того, що ЛС транспортного обслуговування з вхідними в неї логістичними ланцюгами всіх складових процесу виявиться в працездатному стані в довільний момент часу.

Виходячи з визначення, яке дано в ДСТУ 2860-94 і запропонованого вище K_G оцінює потенційну можливість технічного об'єкта, а в нашому випадку логістичних ланок і ЛС. Це прогноз – «виконає» або «не виконає». Результати моделювання $p_{відм}$ для всіх логістичних ланках системи дозволяють оцінити ймовірність того, що логістичні ланки системи виявляться в працездатному стані в довільний момент часу, тобто:

$$K_{Gi} = (1 - p_{відм,i}). \quad (3.74)$$

Коефіцієнт технічного використання – це математичне очікування сумарного часу виконання транспортного обслуговування в ЛС за деякий проміжок часу до математичного очікування сумарного часу виконання транспортного обслуговування і затримок (простоїв) при виконанні транспортного обслуговування за той же період часу.

Як впливає з наведеного визначення K_{TB} не є константою, а враховує динаміку процесу, тобто розвиток процесу в часі, враховує всі затримки протягом розвитку процесу і час, необхідний для усунення затримок.

З наведених визначень можна сформулювати істотну відмінність двох комплексних показників надійності.

K_T – це потенційна можливість системи, яка оцінюється константою і має фізичний зміст «виконає» або «не виконає».

K_{TB} – це результат виконання, який можна оцінити сумарним часом на виконання і сумарним часом усіх затримок під час виконання.

Коефіцієнт технічного використання можна оцінити у вигляді безрозмірної величини.

Для логістичної i -ї ланки:

$$K_{TB,i} = \frac{t_i}{t_i + t_{затр,i}}, \quad (3.75)$$

де t_i – час виконання транспортного обслуговування в i -ій логістичній ланці, год;

$t_{затр,i}$ – час затримок і усунення затримок у i -ій логістичній ланці, год.

Для логістичної системи:

$$K_{TB} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n t_{затр,i}}, \quad (3.76)$$

де n – кількість логістичних ланок в ЛС;

$\sum_{i=1}^n t_i$ – сумарний час виконання транспортного обслуговування в ЛС, год;

$\sum_{i=1}^n t_{затр,i}$ – сумарний час затримок і усунення затримок в ЛС

транспортного обслуговування, год.

Як впливає з формули (3.76) K_{TB} – це безрозмірна величина, яка прагне до одиниці. При $\sum_{i=1}^n t_{затр,i} = 0$, коефіцієнт технічного використання ЛС дорівнює одиниці. При збільшенні часу затримок і часу на їх усунення, K_{TB} зменшується.

Фізичний зміст K_{TBi} і K_{TB} можна отримати на підставі виконаного транспортного обслуговування за результатами зібраного статистичного матеріалу. Однак в процесі розробки оперативних планів обслуговування на запланований період або добових планів транспортного обслуговування, необхідно мати прогнози значення коефіцієнтів технічного використання за результатами яких, розробляти заходи щодо їх підвищення.

Для отримання такого прогнозу використовуємо розроблену математичну модель, представлену вище.

Імовірнісна складова моделі дозволяє визначити ймовірність знаходження логістичних ланцюгів в системі в робочому стані за формулою (3.74). Використовуючи результати моделювання можна отримати значення коефіцієнта готовності. Залежності зміни коефіцієнта готовності логістичних ланок системи транспортного обслуговування від зміни переробленого обсягу вантажу в кожній з логістичних ланок Q_i до обсягу вантажу, який може переробити завод Q_3 , представлені на рис. 3.14.

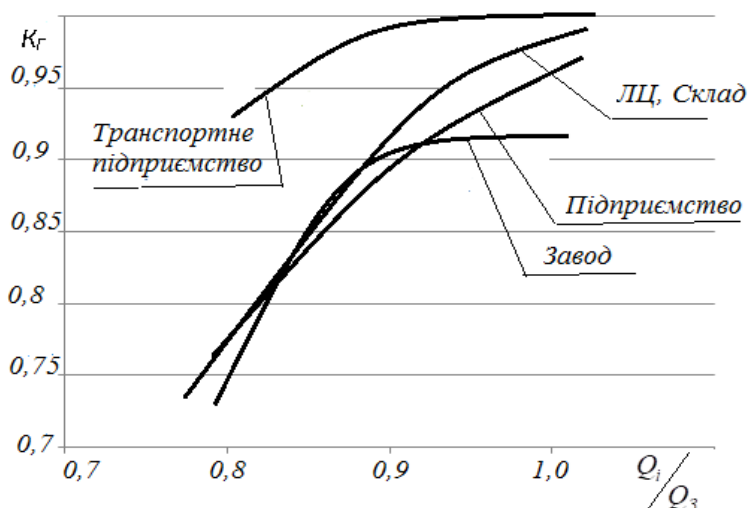


Рис. 3.14 – Залежності зміни коефіцієнта готовності логістичних ланок від співвідношення обсягів вантажу вантажоутворюючих і вантажопоглинаючого пунктів

Як випливає з представлених теоретичних залежностей максимальне значення K_r приймає при $Q_i/Q_3 = 1$. Це підтверджує наявність рівності обсягу переробленого вантажу у всіх логістичних ланцюгах системи, яка виражена формулою (3.70).

Отримані залежності не залежать від фактору часу, а відтак не відображають динаміки процесу переробки і транспортування вантажу.

Результати моделювання дозволяють прогнозувати потенційну можливість логістичних ланок до переробки або перевезення вантажів і розробляти заходи щодо підвищення коефіцієнта готовності.

Моделювання зміни коефіцієнта технічного використання логістичних ланок можна виконати на підставі розробленої динамічної моделі, де постійні

часу $T_{1,i}$, формули (3.55) – (3.61), характеризують інерційність процесу, а постійні часу $T_{2,i}$, формули (3.67) – (3.71), затримки у виконанні перевалки і транспортування вантажу.

Результати моделювання зміни постійних часу T_1 і T_2 для всіх логістичних ланцюгів системи в залежності від зміни співвідношення обсягу переробленого вантажу в кожній з логістичних ланок Q_i до обсягу вантажу, який може переробити завод Q_3 , представлені на рис. 3.15 і 3.16.

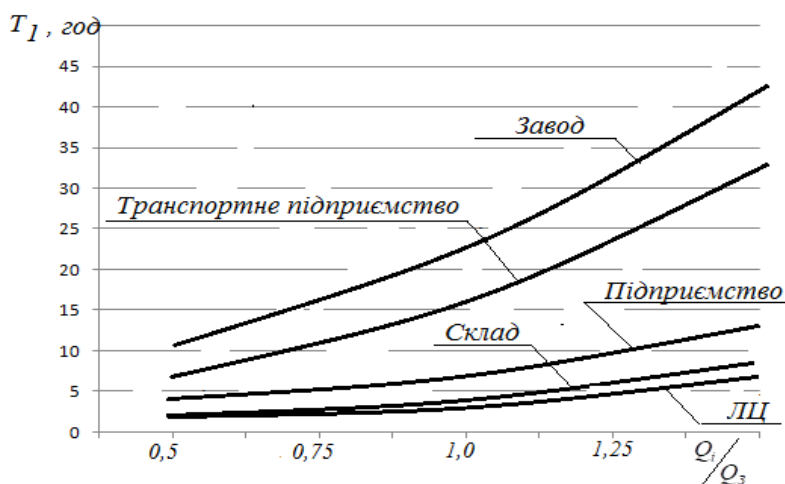


Рис. 3.15 – Залежності зміни постійних часу T_1 , що характеризують інерційність, від співвідношення обсягів вантажу вантажоутворюючих і вантажопоглинаючого пунктів

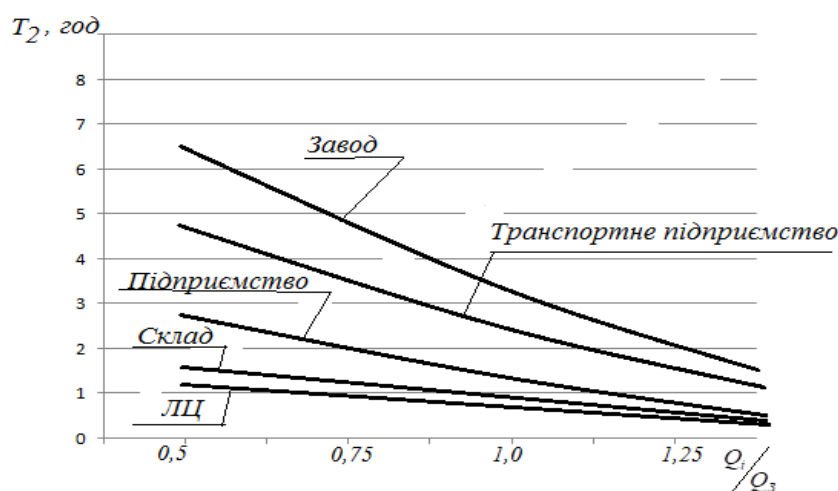


Рис. 3.16 – Залежності зміни постійних часу T_2 , що характеризують затримки, від співвідношення обсягів вантажу вантажоутворюючих і вантажопоглинаючого пунктів

Як випливає з рис. 3.15, постійні часу T_1 , які характеризують інерційність процесів, що протікають в логістичних ланках збільшуються. На підставі отриманих залежностей можна дати фізичне пояснення інерційності логістичних ланок і ЛС в цілому. Це здатність виконувати завдання з перевалки

та транспортування вантажів від вантажоутворюючих до вантажопоглинаючого пунктів і не реагувати на різного роду обурення, пов'язані із затримками.

Чим вище інерційність логістичної ланки, тим менше вона реагує на затримки в перевезенні вантажу або проходженні інформації по каналах логістичних ланцюгів. Як впливає з рис. 3.15, найбільшу інерційність має ВПП – завод. Це пояснюється наявністю на заводі буфера, куди можна помістити запас ЦБ, який забезпечить роботу заводу протягом 3-4 діб. Тому затримки протягом декількох годин в поставках вантажу на завод не зроблять значного впливу на ритмічність роботи заводу.

Висока інерційність також властива і логістичній ланці транспортного підприємства, яке працює в 2 зміни при одночасному використанні 40-80 автомобілів. Тому відмова 3-5 автомобілів одночасно не викликає зниження продуктивності транспортного підприємства в цілому.

Малу інерційність мають підприємство по виробництву вантажу, склад і ЛЦ. Пов'язано це з тим, що у підприємства одночасно працюють 4 комбайна, на складі 2 навантажувача, а в ЛЦ 2 каналу обробки інформації. Тому затримки в роботі перерахованих вище складових значно впливають на інерційність процесу. Перераховані логістичні ланки мають підвищену чутливість до протікання процесів.

На підставі проведеного аналізу залежностей, представлених на рис. 3.15, можна запропонувати захід щодо збільшення T_1 , тобто інерційності (стійкості до затримок) логістичних ланок. До таких заходів належать:

- створення буфера у ВПП із запасом вантажу;
- створення резерву ТЗ;
- збільшення кількості комбайнів у ВУП;
- збільшення кількості навантажувачів на складі;
- збільшення робочих місць обробки інформації в ЛЦ.

Як впливає з рис. 3.16, постійні часу T_2 , які характеризують затримки в логістичних ланках, зі збільшенням співвідношення Q_i/Q_3 зменшуються.

Фізичний зміст T_2 – це здатність логістичних ланок самонавчатися і в короткі терміни усувати затримки в роботі. Мінімальні затримки притаманні ЛЦ і складу, а максимальні – транспортному підприємству і заводу. Це пояснюється специфікою роботи даних логістичних ланок, тобто часом, який необхідно витратити на усунення відмови і запуск ланок в роботу.

Основними заходами, які можуть знижувати значення T_2 , є аналогічні запропонованим вище, проте основну увагу необхідно приділяти каналам проходження і обробки інформації в ЛЦ і навантаженні ТЗ на складі.

Якщо у формулі (3.75) замінити значення t_i на $T_{1,i}$, а значення $t_{затр,i}$ на $T_{2,i}$, можна виконати моделювання зміни коефіцієнта технічного використання логістичних ланок в залежності від зміни їх інерційності T_1 і затримок в ланках T_2 . Результати моделювання представлені на рис. 3.17 і 3.18.

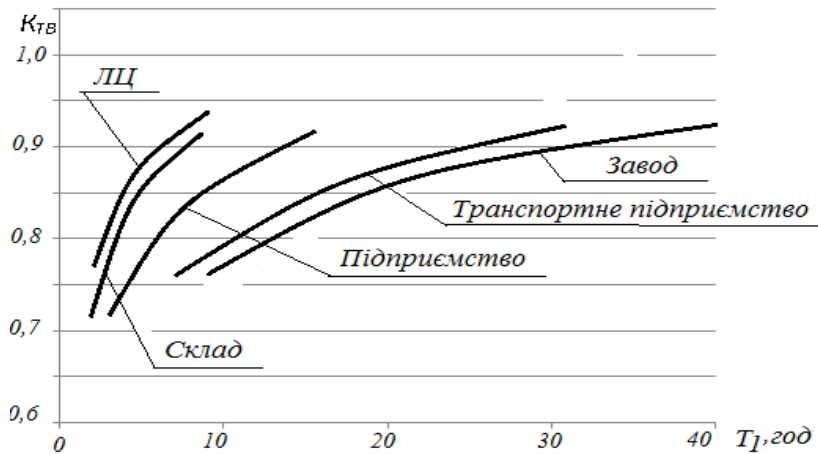


Рис. 3.17 – Залежності зміни коефіцієнта технічного використання логістичних ланок від зміни інерційності T_1

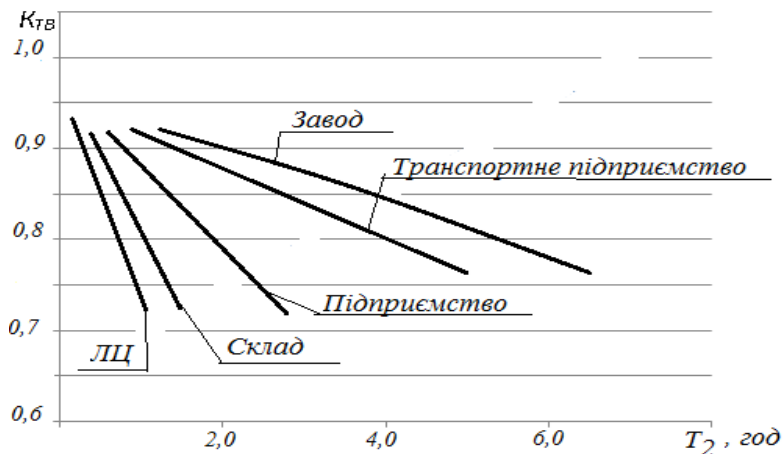


Рис. 3.18 – Залежності зміни коефіцієнта технічного використання логістичних ланок від зміни затримок T_2

Аналіз ступеня впливу інерційності логістичних ланок T_1 на величину коефіцієнта технічного використання $K_{ТВ}$, дозволяє зробити висновок, що чим більше інерційність, тим вище значення $K_{ТВ}$. Найбільш чутливі до зміни T_1 логістичні ланки ЛЦ і складу. Меншою чутливістю володіють логістичні ланки транспортного підприємства і заводу. Отримані залежності дозволяють зробити висновок, що для підвищення надійності логістичних ланок необхідно прагнути до збільшення постійних часу T_1 , тобто інерційності логістичних ланок.

Як впливає з представлених залежностей на рис. 3.15 цьому сприяє збільшення відношення Q_i/Q_3 , тобто створюючи запас вантажу в буферах або запас по продуктивності в ланках по відношенню до ВПП, можна підвищити значення $K_{ТВ}$ від 0,6 до 0,93, рис. 3.17.

Аналіз ступеня впливу затримок в логістичних ланках T_2 на величину $K_{ТВ}$, дозволяє зробити висновок, що незначне збільшення T_2 , в межах від 0,6 – 6 год призводить до швидкого зниження надійності. Найбільш чутливі до затримок ЛЦ і склад, а менш чутливі – транспортне підприємство і завод. Отримані залежності дозволяють зробити висновок, що для підвищення надійності логістичних ланок необхідно прагнути до зниження T_2 , тобто різного роду затримок. Як впливає з рис. 3.16 зменшенню T_2 сприяє збільшення відношення Q_i/Q_3 , як і в попередньому випадку. Створюючи запас вантажу в буфері або запас по продуктивності логістичних ланок по відношенню до продуктивності ВПП, можна підвищити значення $K_{ТВ}$ від 0,72 до 0,93, рис. 3.18.

Отримані результати моделювання впливу різних чинників на надійність логістичних ланок, що входять в систему, дозволяють сформулювати наступні напрямки управління роботою транспортно-логістичної системи.

1. Підвищення інерційності логістичних ланок, яку можна виміряти постійною величиною часу T_1 , год. Дана величина визначає час перебування логістичної ланки в робочому стані, а, отже, і стійкість в роботі.

2. Зниження затримок в логістичних ланках, які можна виміряти постійною часу T_2 , год. Дана величина визначає час відновлення робочого стану логістичної ланки, а, отже, і самонавчання.

Ефект спільного впливу двох перерахованих факторів, коли $T_1 \rightarrow \max$, а $T_2 \rightarrow \min$ на надійність логістичних ланок $K_{ТВ}$ в залежності від зміни відношення Q_i/Q_3 представлений на рис. 3.19.

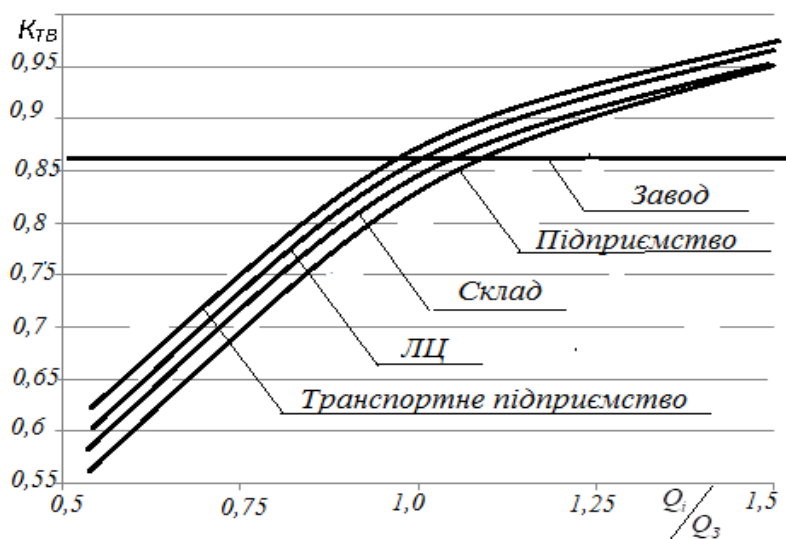


Рис. 3.19 – Залежності зміни коефіцієнта технічного використання логістичних ланок від співвідношення обсягів вантажу вантажоутворюючих і вантажопоглинаючого пунктів

При значенні $T_1 \rightarrow \min$, а $T_2 \rightarrow \max$, надійність логістичних ланок становить $K_{TB} = 0,5 - 0,6$, що на 40-50% менше від запланованого обсягу перевезень. При значенні $T_1 = \max$, а $T_2 = \min$, надійність логістичних ланок становить $K_{TB} = 0,9 - 0,93$, що на 7-10% менше запланованого обсягу перевезень.

Надійність ЛС в цілому, яка визначається за формулою (3.76) в залежності від відношення, представлені на рис. 3.20.

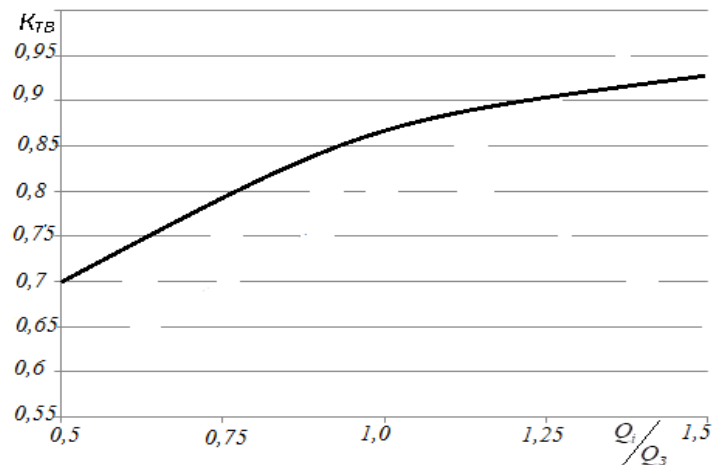


Рис. 3.20 – Залежності зміни надійності ЛС від співвідношення обсягів вантажу вантажоутворюючих і вантажопоглинаючого пунктів

Як випливає з наведеної залежності при недостатній продуктивності логістичних ланок по відношенню до заводу $Q_i/Q_3 = 0,5$, значення $K_{TB} = 0,7$.

При значному збільшенні продуктивності логістичних ланок $Q_i/Q_3 = 1,5$, значення $K_{TB} = 0,93$, тобто наближається до одиниці.

Схема управління надійністю в ЛС транспортного обслуговування збирання ЦБ представлений на рис. 3.21.

Застосування розробленої схеми управління надійністю в ЛС транспортного обслуговування на етапі оперативного планування дозволить:

- обґрунтувати вимоги до значень коефіцієнтів готовності і технічного використання окремих логістичних ланок;

- визначити прогнознi значення K_G та K_{TB} і порівняти їх з необхідними;

- розробити управляючі дії, спрямовані на підвищення K_G та K_{TB} в «слабких» ланках системи і доведення їх до встановлених необхідних значень;

- рішення різних оптимізаційних задач, де значення K_G та K_{TB} виступатимуть в ролі цільових функцій і керуючих параметрів;

- контроль відповідності досягнутого рівня надійності ЛС встановленим вимогам.

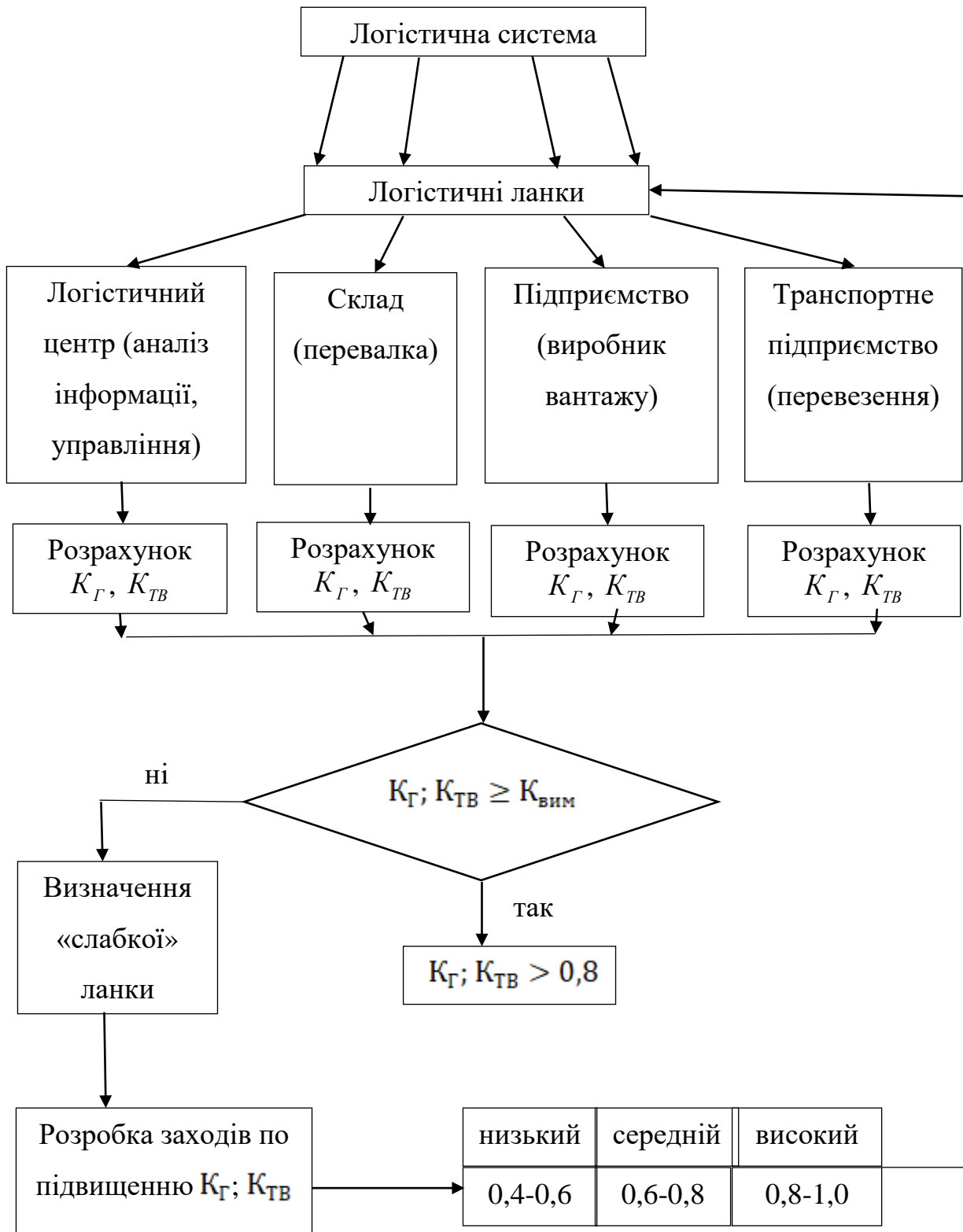


Рис. 3.21 – Схема управління надійністю

Використовуючи отримані вище результати моделювання зміни надійності логістичних ланок в системі і надійності ЛС в цілому можна запропонувати схему управління надійністю на етапі планування обсягів

вантажоперевезень, які повинні бути узгоджені за обсягами і часом у всіх вантажоутворюючих і вантажопоглинаючих пунктах.

Схема управління надійністю складається з наступних етапів:

1. Логістична система транспортного обслуговування розбивається на складові частини – логістичні ланки.

2. Обчислюють комплексні показники надійності всіх складових логістичних ланок системи: коефіцієнт готовності K_G і коефіцієнта технічного використання $K_{ТВ}$ і складають рейтинг по надійності від максимального значення до мінімального.

3. Аналіз отриманих результатів, їх порівняння з необхідними, визначення «слабких» ланок в системі.

4. Розробка заходів щодо усунення «слабких» ланок в системі, вибір управляючих впливів або способів збільшення T_1 і зменшення T_2 .

Проведені вище наведені дослідження, показали, що при проектуванні нових логістичних ланцюгів або систем необхідно проводити оцінку надійності. Така оцінка дозволяє розробити заходи щодо підвищення надійності «слабких» ланок. Однак оцінка надійності не включає економічну складову транспортного процесу.

Виходячи з наведених міркувань ефективність функціонування логістичних ланок транспортного обслуговування, які забезпечують доставку вантажу від вантажоутворюючого до вантажопоглинаючого пунктів, повинна оцінюватися за трьома складовими: обсяг перевезень за встановлений період часу; надійність перевезень і витрати, які потрібні були для виконання обсягу перевезень у встановлені терміни з заданим рівнем надійності.

Основний сенс оцінки ефективності полягає в тому, щоб виключити або мінімізувати втрати у всіх логістичних ланках системи транспортного обслуговування.

Якщо допустити, що всі затримки і відновлення робочого стану в логістичних ланках в кінцевому рахунку зводяться до грошових витрат, то при врахуванні всіх подібних витрат можна виділити загальну вартість підтримки логістичних ланок системи в працездатному стані.

На підставі таких даних можна кількісно оцінити ефективність функціонування логістичних ланок при заданому або необхідному рівні надійності. Це дозволить виконати корекцію величини запасу вантажу або продуктивності складових системи.

Таким чином, запропоновану попередньо схему оцінки надійності логістичних ланок і системи в цілому необхідно доповнити оцінкою витрат на забезпечення заданого рівня надійності.

На підставі аналізу робіт, присвячених методам оцінки і критеріям ефективності логістичних ланцюгів, можна зробити висновок, що для збільшення наочності одержуваного результату критерій ефективності повинен бути інтегральним. Узагальнюючи приватні показники, які впливають на транспортний процес в інтегральний показник за принципом «грошові витрати» в гривні віднесені до обсягу виробленого, переробленого або перевезеного

обсягу вантажу в тонах, можна отримати питомий-інтегральний показник витрат – питомі витрати в логістичних ланках.

Питомі витрати ВУП, тобто підприємства з виробництва ЦБ, можна оцінити таким виразом:

$$B_{\Pi} = \frac{N_K \cdot C_{\Pi} \cdot \rho_{ГК,К} \cdot 0,9 \cdot t_{ЗМ,\Pi}}{Q_{\Pi}} + \frac{N_K \cdot (D_{Р,\Pi} \cdot C_{ДП} + 0,1 \cdot C_K + 0,05 \cdot C_K)}{D_{Р,\Pi} \cdot Q_{\Pi}}, \text{ грн./т,} \quad (3.77)$$

де N_K – кількість бурякозбиральних комбайнів, од.;

C_{Π} – ціна одного кілограма палива, грн./кг;

$\rho_{ГК,К}$ – годинна витрата палива комбайном, кг/год;

$0,9 \cdot t_{ЗМ,\Pi}$ – тривалість робочої зміни на підприємстві з урахуванням коефіцієнта обліку часу, год;

Q_{Π} – обсяг виробленого вантажу підприємством, за робочу зміну, т;

$D_{Р,\Pi}$ – кількість робочих днів підприємства, дн.;

$C_{ДП}$ – денна ставка по заробітній платі підприємства, грн./день;

C_K – вартість комбайна, грн.

Як впливає з виразу (3.77) питомі витрати мають дві складові.

Перший додаток враховує питомі витрати на паливо, грн./т.

Другий додаток враховує витрати на заробітну плату, амортизаційні витрати, які складають 10% від вартості комбайна ($0,1 \cdot C_K$) і витрати на технічне обслуговування і запасні частини, які становлять 5% від вартості комбайна ($0,05 \cdot C_K$), віднесені до обсягу виробленого вантажу, грн./т.

Питомі витрати складу, де відбувається перевалка вантажу, можна оцінити за виразом:

$$B_{СКЛ} = \frac{N_{НАВАН} \cdot C_{\Pi} \cdot \rho_{ГН} \cdot 0,9 \cdot t_{ЗМ,СКЛ}}{Q_{СКЛ}} + \frac{N_{НАВАН} \cdot (D_{Р,СКЛ} \cdot C_{Д,СКЛ} + 0,1 \cdot C_H + 0,05 \cdot C_H)}{D_{Р,СКЛ} \cdot Q_{СКЛ}}, \text{ грн./т,} \quad (3.77)$$

де $N_{НАВАН}$ – кількість навантажувачів, од.;

$\rho_{ГН}$ – часові затрати палива навантажувачем, кг/год;

$t_{ЗМ,СКЛ}$ – тривалість робочої зміни на складі, год;

$Q_{СКЛ}$ – обсяг переробленого вантажу на складі за робочу зміну, т;

$D_{Р,СКЛ}$ – кількість робочих днів на складі, день;

$C_{Д,СКЛ}$ – денна ставка по заробітній платі на складі, грн./день;

C_H – вартість навантажувача, грн.

Питомі витрати ЛЦ, де відбувається переробка інформації, можна оцінити за виразом:

$$B_{ЛЦ} = \frac{N_{ЛЦ} \cdot C_G \cdot 0,9 \cdot t_{3М,ЛЦ}}{Q_{ЛЦ}} + \frac{N_{ЛЦ} \cdot (D_{Р,ЛЦ} \cdot C_{Д,ЛЦ} + 0,1 \cdot C_{ЛЦ} + 0,05 \cdot C_{ЛЦ})}{D_{Р,ЛЦ} \cdot Q_{ЛЦ}}, \text{ грн./т, (3.79)}$$

де $N_{ЛЦ}$ – кількість робочих місць в ЛЦ, од.;

C_G – вартість однієї години робочого часу ЛЦ, грн./год;

$t_{3М,ЛЦ}$ – тривалість робочої зміни в ЛЦ, год;

$Q_{ЛЦ}$ – обсяг переробленого вантажу в ЛЦ за зміну, т;

$D_{Р,ЛЦ}$ – кількість робочих днів в ЛЦ, од.;

$C_{Д,ЛЦ}$ – денна ставка по заробітній платі в ЛЦ, грн./день;

$C_{ЛЦ}$ – вартість обладнання одного робочого місця в ЛЦ, грн.

Питомі витрати транспортного підприємства, яке виконує перевезення вантажу зі складу до ВПП (заводу), можна оцінити за виразом:

$$B_{ТП} = \frac{N_{авт} \cdot (l_B + l_{ХОЛ}) \cdot C_{П} \cdot 0,01 \cdot v_{П,ТЗ} \cdot 0,9}{Q_{ТП}} + \frac{N_{авт} \cdot (D_{Р,ТП} \cdot C_{Д,ТП} + 0,1 \cdot C_{авт} + 0,05 \cdot C_{авт})}{D_{Р,ТП} \cdot Q_{ТП}}, \text{ грн./т, (3.80)}$$

де $N_{авт}$ – кількість автомобілів, од.;

l_B – дальність пробігу автомобіля з вантажем, км;

$l_{ХОЛ}$ – дальність холостого пробігу, км;

$v_{П,ТЗ}$ – витрати палива автомобілем на 100 км пробігу, кг/км;

$Q_{ТП}$ – обсяг перевезеного вантажу за робочу зміну, т;

$D_{Р,ТП}$ – кількість робочих днів транспортного підприємства, день;

$C_{Д,ТП}$ – денна ставка по заробітній платі транспортного підприємства, грн./день;

$C_{авт}$ – вартість автомобіля, грн.

Сумарні питомі витрати ЛС можна виразити як суму питомих витрат в логістичних ланках:

$$B = B_{П} + B_{СКЛ} + B_{ЛЦ} + B_{ТП}, \text{ грн./т. (3.81)}$$

Використовуючи отримані вирази для визначення питомих витрат в логістичних ланках (3.77) – (3.80), а також вирази для визначення сумарних питомих витрат в ЛС (3.81), виконаємо моделювання їх зміни в залежності від основних факторів.

Залежності питомих витрат в логістичних ланках при зміні відношення обсягу вантажу у вантажоутворюючих і вантажопоглинаючих пунктах $\left(\frac{Q_i}{Q_3}\right)$, рис. 3.22, дозволяють зробити висновок, що максимальні питомі витрати притаманні транспортному підприємству і підприємству з виробництва ЦБ (вантажоутворюючому пункту). Мінімальні витрати притаманні ЛЦ і складу. Це пояснюється кількістю одиниць техніки, ресурсів, що використовуюються, і обсягів заробітної плати. При цьому необхідно зазначити, що зміна $\frac{W_i}{W_3}$ не робить значного впливу на питомі витрати, за винятком підприємства з виробництва вантажу.

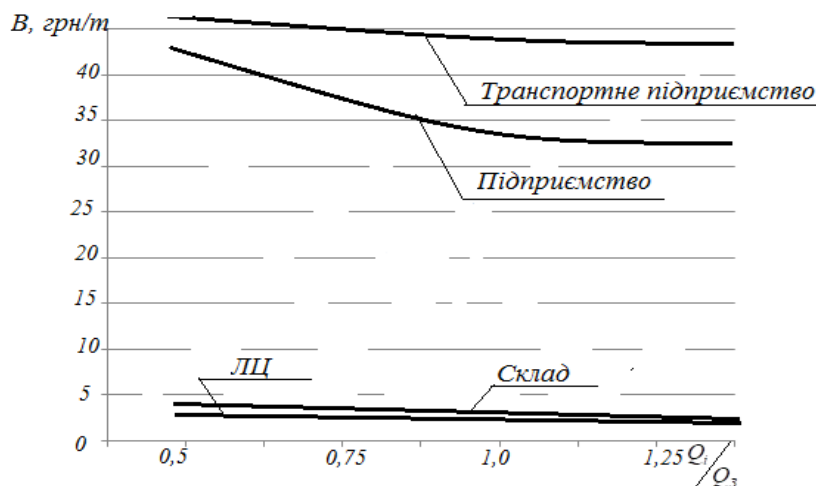


Рис. 3.22 – Залежності питомих витрат в логістичних ланках від відносин обсягів вантажу вантажоутворюючих і вантажопоглинаючих пунктів

Надійність логістичних ланок, яка оцінюється величиною K_{TB} , також не має значного впливу на величину питомих витрат в логістичних ланках, рис. 3.23. Як і в попередньому випадку максимальні питомі витрати притаманні транспортному підприємству і підприємству по виробництву вантажу, а мінімальні ЛЦ і складу.

Результати моделювання сумарних питомих витрат в ЛС і надійності ЛС (K_{TB}) при зміні відношення обсягів вантажу ВУП і ВПП, представлені на рис. 3.24. Аналіз представлених кривих дозволяє зробити висновок, що при значеннях $\frac{Q_i}{Q_3} = 1$, залежності сумарних питомих витрат в системі V і коефіцієнта технічного використання (надійності) K_{TB} , перетинаються. Це

говорить про існування оптимального значення $Q_i/Q_3 = 1$. Виконання даного значення забезпечить мінімальні сумарні питомі витрати в ЛС при одночасному максимальному рівні надійності.

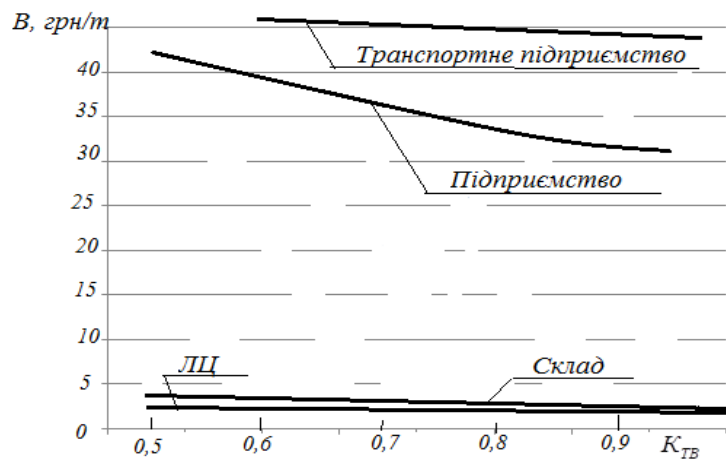


Рис. 3.23 – Залежності питомих витрат в логістичних ланках від значень

Із залежностей представлених на рис. 3.22 і 3.23 слід, що питомі витрати транспортного підприємства і підприємства з виробництва вантажу вносять основний внесок в сумарні питомі витрати ЛС. На підставі даного висновку виконаємо моделювання зміни сумарних питомих витрат в зазначених логістичних ланках при зміні робочих параметрів.

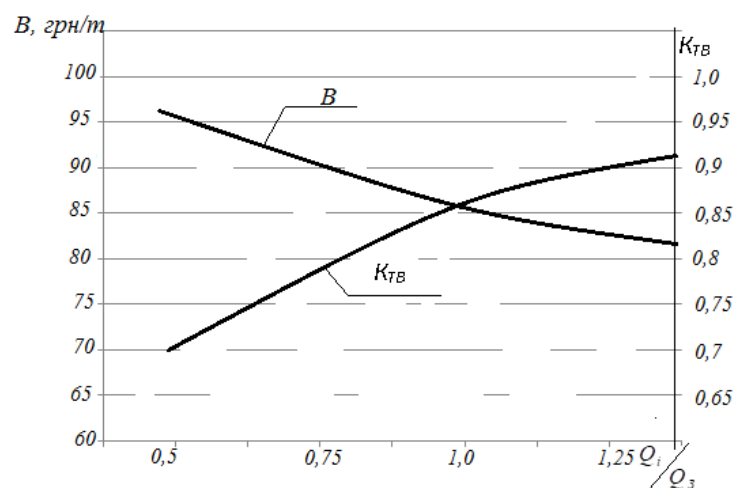


Рис. 3.24 – Залежності сумарних питомих витрат і коефіцієнта технічного використання ЛС від відношення обсягів вантажу вантажоутворюючих і вантажопоглинаючих пунктів

Вплив чисельності комбайнів, що одночасно працюють на збиранні ЦБ на зміну питомих витрат ЛС представлено на рис. 3.25.

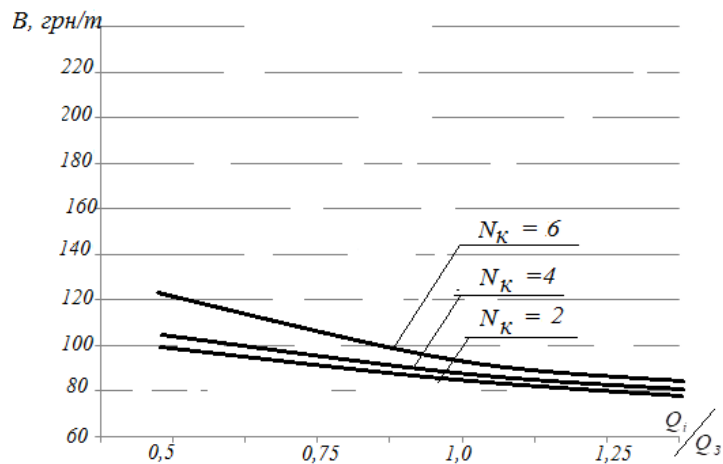


Рис. 3.25 – Залежності сумарних питомих витрат в ЛС від відношення обсягів вантажу ВУП і ВПП і кількості працюючих комбайнів

Аналіз залежностей, наведених на рис. 3.25, дозволяє зробити висновок, що кількість одночасно працюючих комбайнів на підприємстві з виробництва вантажу не робить значного впливу на сумарні питомі витрати, які змінюються від значень 122 грн./т до 78 грн./т, тобто в 1,56 разів. При цьому, при досягненні значень $Q_i/Q_3 \geq 1$ сумарні питомі витрати змінюються незначно, на 5-7%.

Вплив номінальної вантажопідйомності автомобілів, що використовуються транспортним підприємством, на величину сумарних питомих витрат представлено на рис. 3.26.

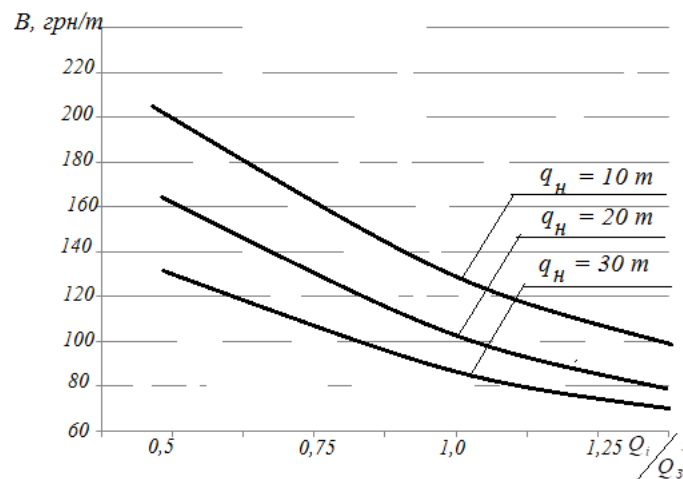


Рис. 3.26 – Залежності сумарних питомих витрат в ЛС від відношення обсягів вантажу ВУП і ВПП і номінальної вантажопідйомності автомобілів

Аналіз отриманих залежностей дозволяє зробити висновок про суттєвий вплив номінальної вантажопідйомності автомобілів на сумарні питомі витрати,

які змінюються від 205 грн./т до 71 грн./т, тобто в 2,88 разів. При цьому необхідно дотримуватися виконання умови $Q_i/Q_3 > 1$.

Із залежностей, представлених на рис. 3.26, слідує, що застосування автомобілів з номінальною вантажопідйомністю $q_H = 30$ т, забезпечить мінімальні сумарні питомі витрати.

Ступінь впливу на сумарні питомі витрати дальності перевезення вантажу представлена залежностями на рис. 3.27. З характеру зміни залежностей випливає, що збільшення дальності перевезення вантажу від 30 км до 90 км (в 3 рази), збільшує сумарні питомі витрати з 61 грн./т до 96 грн./т, тобто в 1,57 разів.

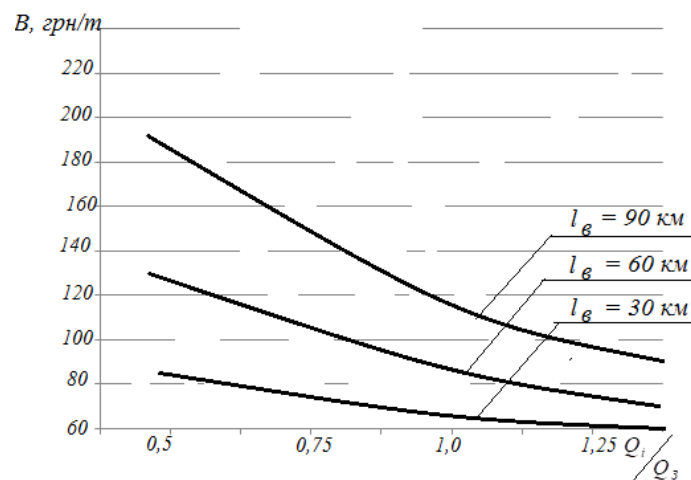


Рис. 3.27 – Залежності сумарних питомих витрат в ЛС від відношення обсягів вантажу ВУП і ВПП і дальності перевезення вантажу

Представлені залежності, що описують зміни сумарних питомих витрат транспортного підприємства, дозволяють зробити висновок, що застосування автомобілів з номінальною вантажопідйомністю $q_H = 30$ т, є більш вагомим фактором, який впливає на сумарні питомі витрати в ЛС. Застосування таких автомобілів під час перевезення ЦБ дозволить мінімізувати сумарні питомі витрати в ЛС при виконанні умови $Q_i/Q_3 \geq 1$.

Отримані вирази (3.77) – (3.81) дозволяють оцінити питомі витрати в логістичних ланках, а також сумарні питомі витрати в ЛС транспортного обслуговування. Отримані вирази є інтегральними критеріями, які враховують витрати на паливо, заробітну плату, амортизаційні відрахування, а також витрати на технічне обслуговування, запасні частини і ремонт. Моделювання характеру зміни питомих витрат в логістичних ланках і в ЛС в цілому, дозволили встановити найбільш значущі фактори, до яких відносяться:

1. Виконання співвідношення обсягу вантажу ВУП до ВПП $Q_i/Q_3 \geq 1$.

При виконанні цієї умови всі види питомих витрат в логістичних ланках прагнуть до мінімуму, при одночасному збільшенні надійності ЛС.

2. Найбільший внесок в величину сумарних питомих витрат додає транспортне підприємство і підприємство з виробництва вантажу. Результати моделювання дозволяють стверджувати, що питомі витрати по транспортному підприємству можуть змінюватися в 2,88 раз, а по підприємству з виробництва вантажу – в 1,56 раз. Питомі витрати ЛЦ і складу мають мінімальні значення і не змінюються при зміні Q_i/Q_3 .

3. Найбільш значущим чинником, який впливає на сумарні питомі витрати, є номінальна вантажопідйомність автомобіля. На підставі виконаного моделювання встановлено, що застосування автомобілів, вантажопідйомність яких наближається до 30 т, дозволить мінімізувати сумарні питомі витрати в ЛС транспортного обслуговування збирання ЦБ.

3.4 Структура методики розрахунку і управління надійністю та ефективністю логістичної системи

Об'єктом управління є ЛС транспортного обслуговування збирання ЦБ, який сприймається як комплекс взаємопов'язаних підсистем, об'єднаних спільною метою – підвищення надійності функціонування підсистем і системи в цілому і зниження питомих витрат у цих підсистемах.

Функціонування таких складних ЛС характеризується наявністю стохастичних зв'язків всередині системи, а також впливом навколишнього середовища на ці зв'язки.

Для управління надійністю та ефективністю таких систем необхідна методика у вигляді спеціальної комп'ютерної програми, яка дозволить розрахувати робочі параметри всіх складових системи, порівняти їх з рівнем необхідних значень і при невідповідності, розробити управляючі дії для досягнення необхідних величин.

Методика розрахунку складається з чотирьох блоків.

Перший блок має на меті визначити імовірності відмов в обслуговуванні кожної логістичної ланки, що входить у ЛС транспортного обслуговування збирання ЦБ.

Послідовність виконання розрахунку представлена на рис. 3.28 та виконана на підставі математичної моделі імовірнісного моделювання ЛС наданої вище.

Вхідними даними для визначення імовірностей відмови є величини продуктивностей:

- вантажоутворюючого пункту $W_{П}$, т/год;
- пункту перевалки вантажу $W_{СКЛ}$, т/год;
- пункту обробки інформації $W_{ЛЦ}$, т/год;
- транспортного підприємства $W_{ТП}$, т/год;
- вантажопоглинаючого пункту W_3 , т/год;

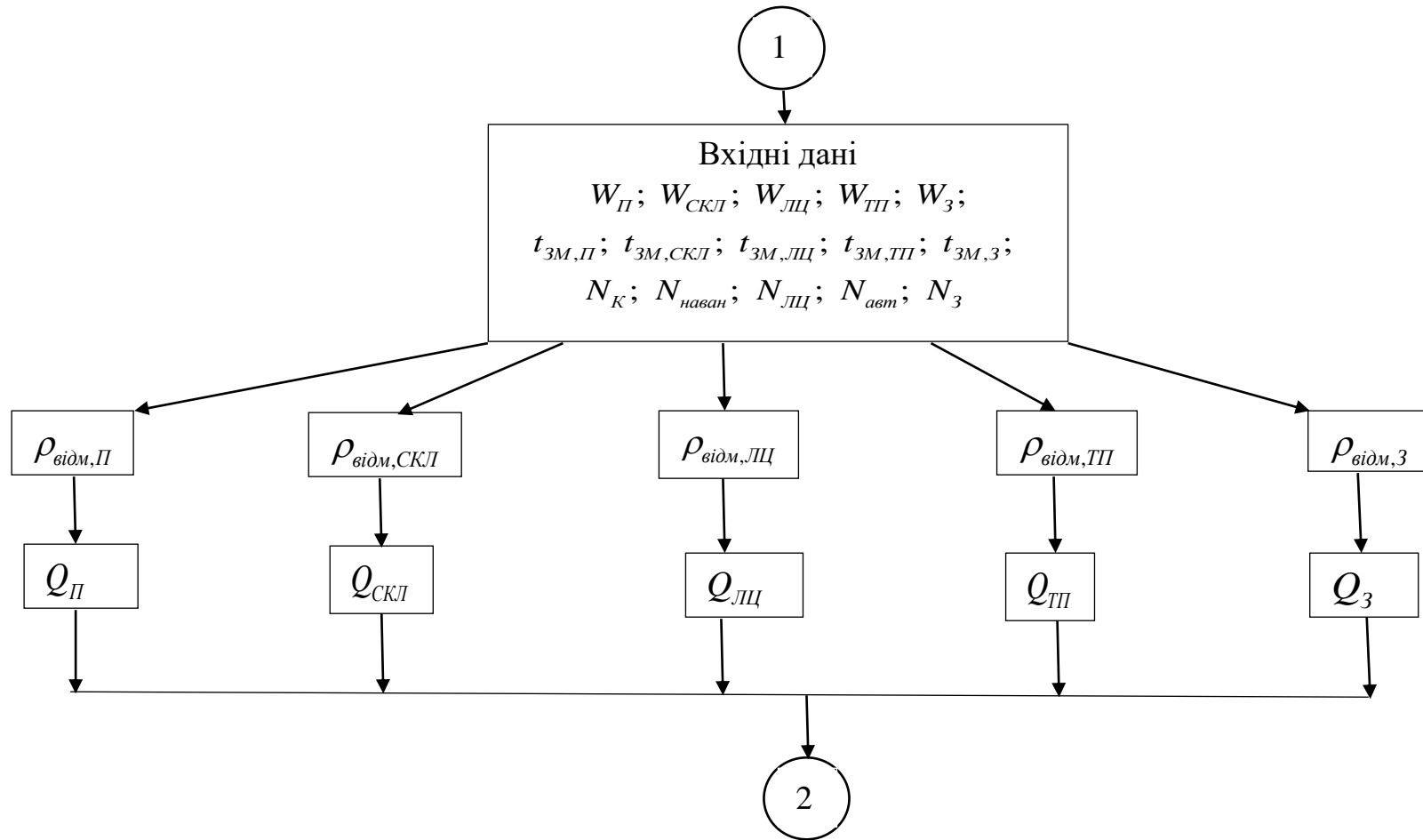


Рис. 3.28 – Схема імовірнісного визначення обсягу вантажу в логістичних ланках

- тривалість робочої зміни, $t_{3M,i}$, год;
- кількість одночасно працюючих комбайнів N_K ; навантажувачів $N_{наван}$; пунктів обробки інформації $N_{ЛЦ}$; автомобілів $N_{авт}$; пунктів прийому вантажу N_3 .

Після визначення імовірності відмови $\rho_{відм,i}$ в кожній логістичній ланці визначається обсяг вантажу Q_i , т, який проходить по кожній з логістичних ланок з урахуванням тривалості робочої зміни $t_{3M,i}$.

Отримані значення $Q_{П}$; $Q_{СКЛ}$; $Q_{ЛЦ}$; $Q_{ТП}$; Q_3 є вхідними даними для моделювання динаміки руху вантажу в логістичних ланцюгах.

Другий блок методики має на меті визначити час виходу на запланований обсяг виробництва, перевалки, доставки вантажу в кожній з логістичних ланок.

Послідовність виконання розрахунку представлена на рис. 3.29 і виконана на підставі динамічної моделі процесів у ЛС (див. підрозділ 3.2).

Вхідними даними для визначення часу виходу на запланований обсяг вантажу є:

- запланований обсяг вантажу: $Q_{П}$; $Q_{СКЛ}$; $Q_{ЛЦ}$; $Q_{ТП}$; Q_3 , т;
- робочі та технологічні параметри застосовуваних комбайнів (ширина захоплення B , м; робоча швидкість V_K , км/год; урожайність ЦБ Q , т/га); продуктивність навантажувачів $W_{СКЛ}$, т/год, та пунктів обробки інформації в ЛЦ $W_{ЛЦ}$, т/год;
- робочі та технологічні параметри вантажних автомобілів, що застосовуються:

- номінальна вантажопідйомність q_H , т;
- коефіцієнти використання вантажопідйомності γ ;
- коефіцієнт використання пробігу β ;
- технічна швидкість $V_{ТЗ}$, км/год;
- дальність перевезення вантаж l_e , км;
- час навантаження-розвантаження автомобілів t_{H-P} , год.

Перераховані вхідні дані дозволяють розрахувати:

- коефіцієнт K_1 , який характеризує «запас стійкості» складових ЛС;
- коефіцієнт K_2 , який характеризує «чутливість» ЛС до надходження заявок на обслуговування;
- постійна часу T_1 , яка характеризує інерційність складових ЛС у виконанні заявок;
- постійну часу T_2 , яка характеризує затримки в складових ЛС.

Основною умовою при виконанні розрахунку часу виходу на запланований обсяг вантажу є рівність обсягів вантажу, який проходить по всіх логістичних ланках протягом робочої зміни. Дану рівність представлено у вигляді виразу (3.70) в підрозділі 3.3.

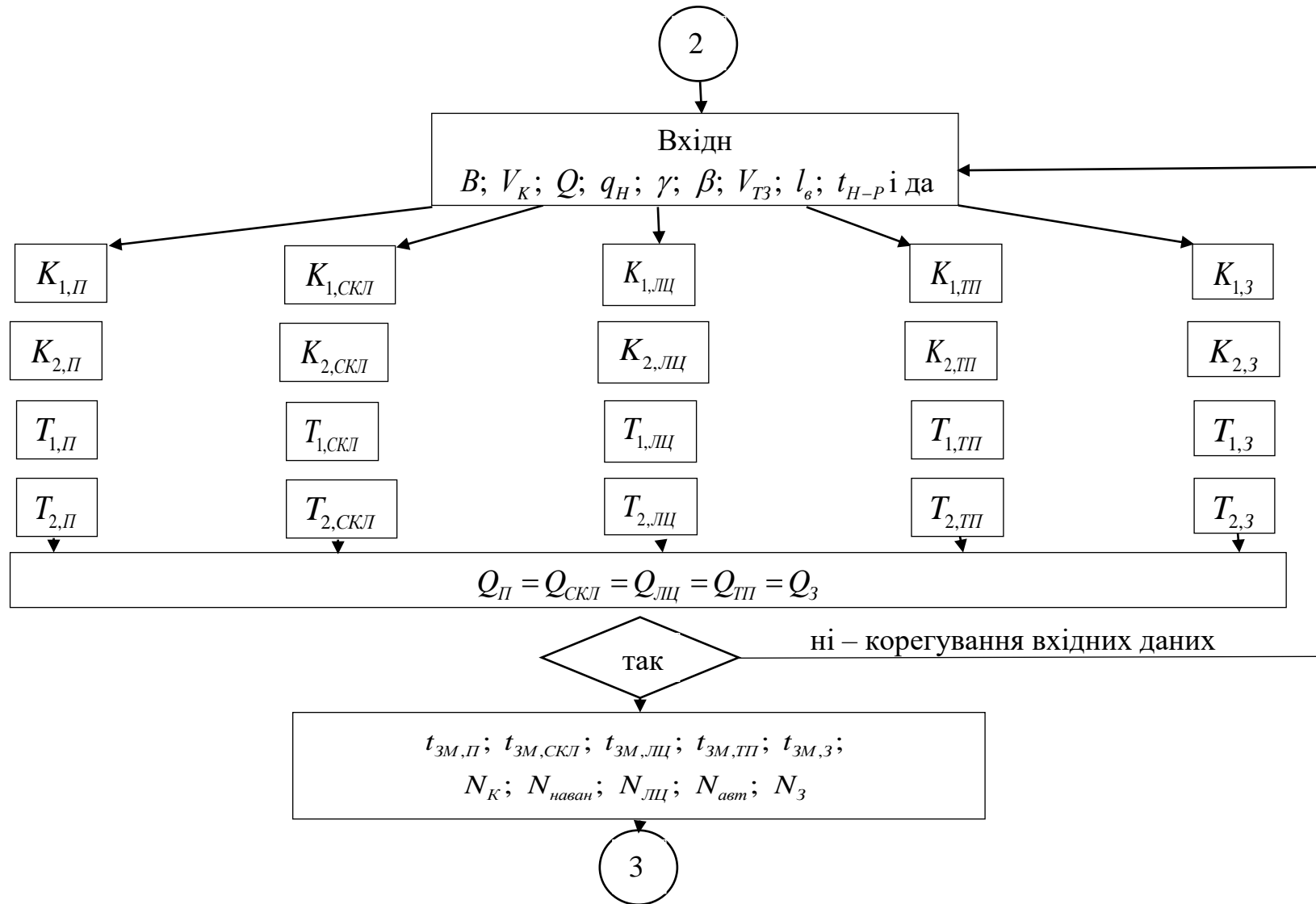


Рис. 3.29 – Схема визначення часу виходу на запланований обсяг вантажу

Якщо рівність (3.70) не виконується, здійснюється коригування робочих і технологічних параметрів: N_K ; $N_{наван}$; $N_{ЛЦ}$; $N_{авт}$.

Перераховані вище вихідні параметри другого блоку методики є вхідними параметрами для третього блоку.

Третій блок методики має на меті визначити надійність логістичних ланок і ЛС в цілому.

Послідовність розрахунку показників надійності представлено на рис. 3.30.

На першому етапі розраховується комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності K_G , формула (3.74). Даний коефіцієнт характеризує потенційну можливість системи – «виконає» або «не виконає» обсяг перевезень. Якщо величина K_G , менше потрібної величини $K_G < K_{G,вим}$, проводиться коригування за рахунок зміни N_K ; $N_{наван}$; $N_{ЛЦ}$; $N_{авт}$. Як показали результати моделювання в підрозділі 3.3 розділі при виконанні відношення $Q_i/Q_3 = 1$ коефіцієнт $K_G \rightarrow \max$.

На другому етапі розраховується комплексний показник надійності – коефіцієнт технічного використання для логістичних ланцюгів $K_{ТВ,i}$, формула (3.75), та для ЛС $K_{ТВ}$, формула (3.76). Даний коефіцієнт характеризує динаміку протікання процесу руху вантажу і враховує всі затримки протягом розвитку процесу і час, необхідний для усунення затримок.

Якщо величина $K_{ТВ}$ менша потрібної величини $K_{ТВ} < K_{ТВ,вим}$, проводиться коригування за рахунок зміни: N_K ; $N_{наван}$; $N_{ЛЦ}$; $N_{авт}$. Результати моделювання характеру зміни $K_{ТВ}$, які представлені в підрозділі 3.3, показали, що основним заходом щодо підвищення $K_{ТВ}$ є збільшення відношення $Q_i/Q_3 > 1$.

Отримані вище вихідні параметри третього блоку моделювання: N_K ; $N_{наван}$; $N_{ЛЦ}$; $N_{авт}$, що забезпечують необхідне відношення $Q_i/Q_3 \geq 1$, є вхідними параметрами для четвертого блоку.

Четвертий блок методики має на меті визначити ефективність логістичних ланцюгів і ЛС в цілому при дотриманні заданого рівня надійності.

Послідовність виконання розрахунку питомих витрат по всіх логістичних ланцюгах і сумарних питомих витрат по ЛС транспортного обслуговування збирання ЦБ представлено на рис. 3.31.

За результатами розрахунку питомих витрат по кожному логістичному ланцюгу визначається «слабка» ланка, тобто логістична ланка, у якій питомі витрати максимальні. За результатами розрахунку вибираються управляючі дії щодо зниження питомих витрат і підвищення надійності функціонування.

З висновків попереднього підрозділу випливає, що основний внесок у витрати вносять підприємство по виробництву вантажу і транспортне підприємство. На підставі моделювання зроблено висновок, що для підвищення

ефективності необхідно застосовувати вантажні автомобілі з номінальною вантажопідйомністю, що наближається до 30 т, а кількість одночасно працюючих комбайнів не повинна перевищувати $N_K = 4$ шт.

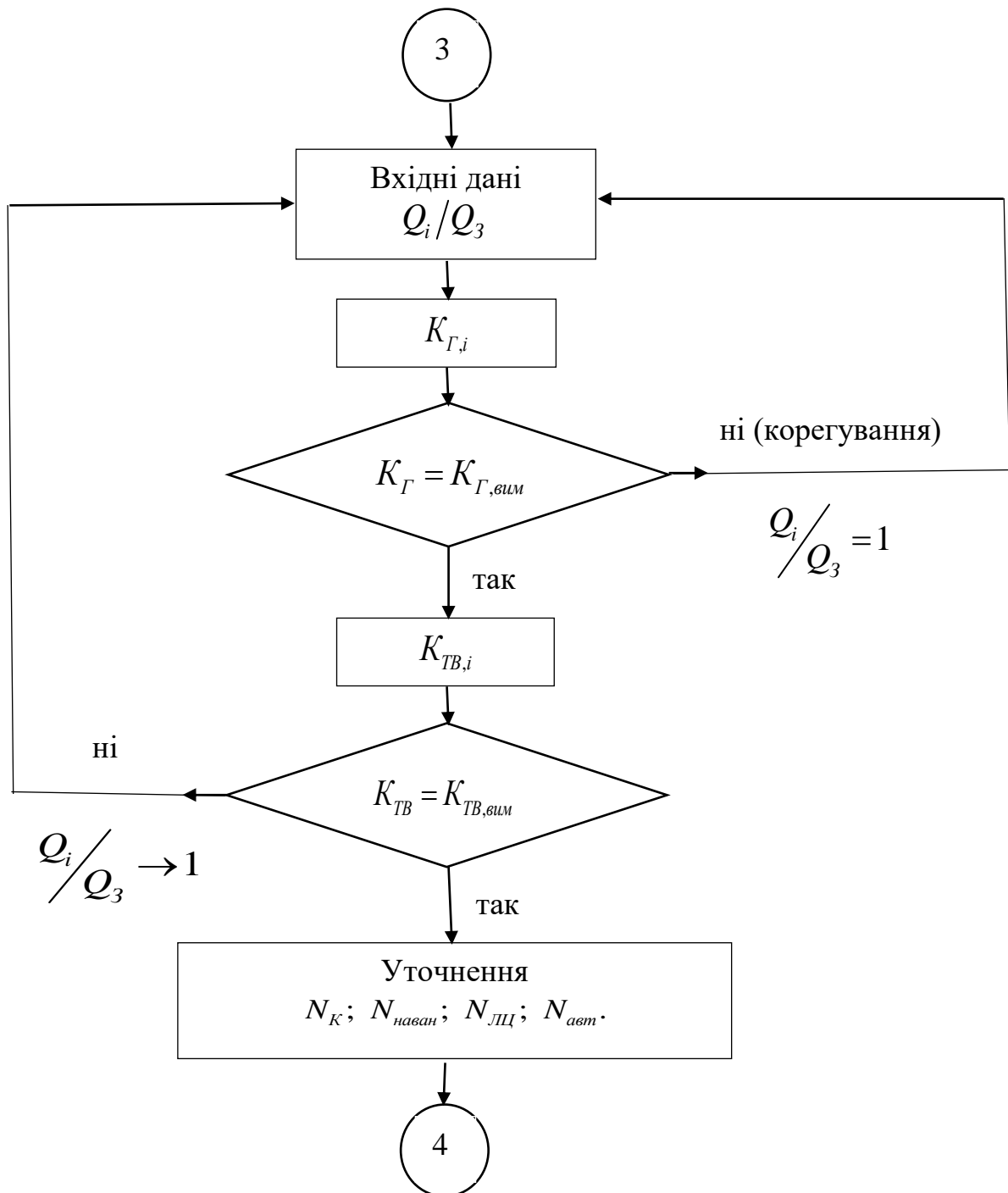


Рис. 3.30 – Схема оцінки надійності логістичної системи

Основним результатом розрахунку є визначення N_K і $N_{авт}$, які забезпечать $B \rightarrow \min$, а також визначення величини B , грн./т, яка дозволить розрахувати економічний ефект від прийняття тих чи інших управлінських дій.

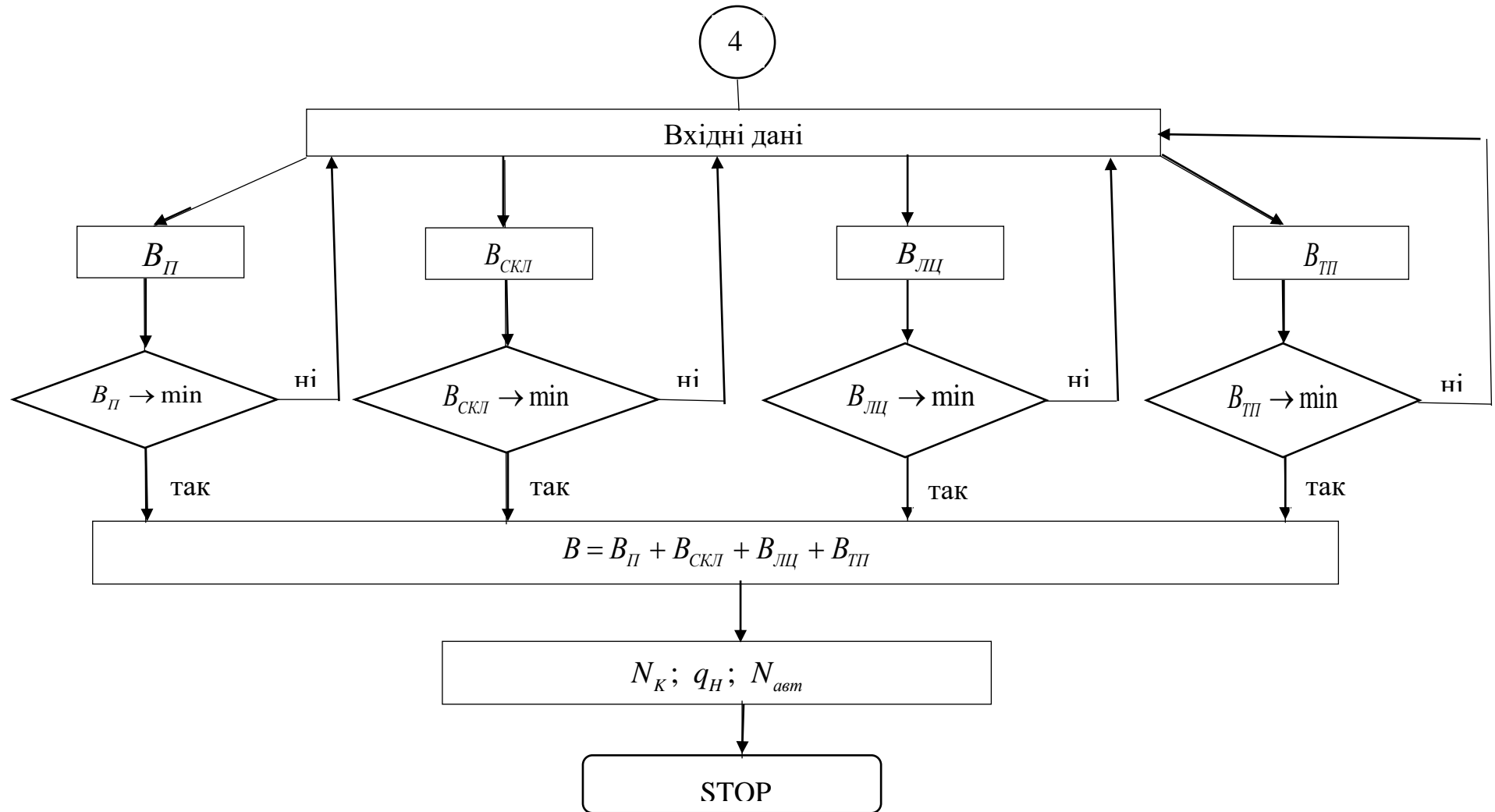


Рис. 3.31 – Схема оцінки питомих витрат логістичної системи

Розроблена методика розрахунку і управління надійністю та ефективністю ЛС транспортного обслуговування збирання ЦБ може бути представлена у вигляді розрахункової програми в середовищі MS EXCEL.

Застосування методики у вигляді розрахункової програми в ЛЦ, який входить до складу ВУП дозволить управляти надійністю і ефективністю ЛС транспортного обслуговування. Щодня або щозміни, оцінюючи продуктивність ВПП – W_3 , т, виробляються керуючі дії з підтримання $K_T = \max$; $K_{TB} = \max$ та $B = \min$. В якості керуючих впливів виступають значення $\frac{Q_i}{Q_3}$ які можна змінювати за допомогою N_K ; $N_{наван}$; $N_{ЛЦ}$; $N_{авт}$.

Запропонована методика та результати управління надійністю та ефективністю дозволять забезпечити адресність керуючих впливів, що призведе до зменшення витрат на функціонування ТЛК і забезпечення якісного транспортного обслуговування усіх учасників ТЛС.

3.5 Список використаних джерел до розділу 3

1. Михайленко О.Г. Місце та роль сільського господарства в національній економіці. / О.Г. Михайленко // Економічний простір: Збірник наукових праць. Дніпро. – 2014. – №82. – С. 104–115.
2. Збарський В.К. Економіка сільського господарства / В.К. Збарський, В.І. Мацибора, А.А. Чалий, Л.М. Степасюк, С.М. Рогач, Т.А. Гуцул, Н.М. Суліма // Навч. посібник: за ред. Збарського В.К, Мацибори В.І. – К.: Каравела. – 2009. – 264 с.
3. Котелянець В.І. Транспортний фактор в АПК. – К.: ІАЕ. – 1999. – 28 с.
4. Глухова І.Ю. Транспортна агрологістика – один з напрямів інноваційного управління на сільськогосподарських підприємствах / І.Ю. Глухова // Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності: збірник наукових праць: у 3-х т. / ПДТУ. – Маріуполь. – 2011. – Т. 1. – С. 167–172.
5. Музылев Д. Критерий выбора рациональной технологии доставки сельскохозяйственных грузов / Д. Музылев, Н. Карнаух, Н. Бережная, О.Кутья // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2015. – Vol. 17, Issue 7. – P. 67-72.
6. Кравцов А.Г. Аналіз перспектив упровадження логістичних підходів у сферу АПК / А.Г. Кравцов // Вісник ХНТУСГ. – 2013. – Вип. 136. – С. 272–278.
7. Перебийніс В.І. Транспортно-логістичні системи підприємств: формування та функціонування / В.І. Перебийніс, О.В. Перебийніс // Монографія. – Полтава: РВВ ПУСКУ. – 2005. – С. 207.
8. Корінь М.В. Логістика та її роль в забезпеченні ефективної діяльності підприємств / М.В. Корінь // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2011. – № 35. – С. 148–152.

9. Петрова О.С. Влияние логистического менеджмента на повышение конкурентоспособности современных предприятий / О.С. Петрова, Н.В. Иванюк, А.А. Зінчук // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: viem.edu.ua/wp-content/uploads/2015/07/Зразок.doc.
10. Музылев Д.А. Разработка методики выбора условий взаимодействия зерноуборочного и транспортного комплексов / Д.А. Музылев, А.Г. Кравцов, Н.В. Карнаух, Н.Г. Бережная, О.В. Кутья / Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – Vol 2, №3 (80). — С. 11–21.
11. Сток Дж. Стратегическое управление логистикой / Дж. Сток, Д. Ламберт // Пер с 4-го изд. – М: ИНФРА_М. – 2005. – 797 с.
12. Уотерс Д. Логистика: управление цепью поставок / Пер. с англ. – М.: ЮНИТИ. – 2003. – 503 с.
13. Бауэрсокс Д. Логистика: интегрированная цепь поставок / Д. Бауэрсокс, Д. Клосс // Пер. с англ. – М.: Олимп-Бизнес. – 2001. – 640 с.
14. Джонсон Дж. Современная логистика / Дж. Джонсон, Д. Вуд, Д. Вордлоу, П. Мерфи // 7-е изд: пер. с англ. – М.: Издат. Дом „Вильямс”. – 2002. – 624 с.
15. Coyle J.J. Zarzadzanie logistyczne / J.J. Coyle, E.J. Vardi, C.J. Langley. – Warszawa: PWE. – 2002. – 243 p.
16. Линдерс Майкл Р. Управление снабжением и запасами. Логистика: Пер. с англ. / Линдерс Майкл Р., Фирон Харольд Е. – СПб : ООО «Издательство Полигон». – 1999. – 768 с.
17. Jorgensen F. Lean Maturity, Lean Sustainability / F. Jorgensen, R. Matthiesen, J. Nielsen and J. Johansen // Advances in Production Management Systems. – 2007. – P. 371–378.
18. Гаджинский А.М. Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика / Учеб.-практическое пособие. — М.: ТК Велби, Изд-во Проспект. – 2005. — 176 с.
19. Смехов А.А. Автоматизация управления транспортно-складскими процессами / Учебное пособие для вузов. — М.: Транспорт. – 1985. — 239 с.
20. Губенко В.К. Принятие решений в условиях сложных интегрированных логистических систем / В.К. Губенко, И.В. Николаенко, Я.И. Майборода // Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. Праць / ПДТУ. – Маріуполь. – 2003. – Вип. 13. – С. 259–263.
21. Лукинский В.С. Логистика автомобильного транспорта / В.С. Лукинский, В.И. Бережной, Е.В. Бережная и др. // Учеб. пособие – М.: Финансы и статистика. – 2004. – 368 с.
22. Girma Gebresenbet, Logistics and Supply Chains in Agriculture and Food / G. Gebresenbet, T. Bosona // Pathways to Supply Chain Excellence. March, 2012. – 208 p. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/32382.pdf>.
23. Еловой И. А. Эффективность логистики транспортно-технологических систем (теория и методы расчетов): в 2 ч. / Гомель: БелГУТ, 2000. – 581 с.

24. Рославцев Д.М. Критерії ефективності в проектах модернізації логістичних систем / Д.М. Рославцев, Г.В. Черкасова // Вісник КПІ №2, 2011. – С. 85–89.
25. Горяїнов О.М. Автотранспорт в логістичних системах і ланцюгах / О.М. Горяїнов, Д.М. Рославцев // Монографія. – Харків: НТМТ, 2009. – 344 с.
26. Zyukin D. Conditions and perspectives of Russian sugar market development / D. Zyukin, O. Svyatova, R. Soloshenko // Economic annals-XXI. – Dec. 2016. – Tom:161. – Volume: 9-10. – P. 47–50.
27. Jonkman J. Selecting food process designs from a supply chain perspective / J. Jonkman, J.M. Bloemhof, van der J.G. Vorst and other // Journal of Food Engineering. – Volume 195. – February 2017. – P. 52–60.
28. Filcek G. Heuristic algorithm for integrated allocation and transportation in three-stage supply network / G.Filcek, J.Jozefczyk // Procedia Social and Behavioral Sciences. – 2012. – Tom 54. – P. 1298–1307.
29. Керничний Б.Я. Інноваційні шляхи підвищення ефективності використання автомобільного важковагового транспорту (на прикладі організації сезонних перевезень сільськогосподарських вантажів) / Б.Я. Керничний // Проблеми економіки транспорту. Збірник наук. праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2016. – Вип. 11. – С. 31–36.
30. Вишневська О.М. Особливості логістичних систем сільськогосподарських підприємств / О.М. Вишневська, Т.В. Двойнісюк, С.В. Шигида // Глобальні та національні проблеми економіки. – 2015. – Вип. 7. – С. 106–109.
31. Корнієцький О.В. Проблеми формування оптимальних регіональних логістичних систем підприємств АПК / О.В. Корнієцький // Культура народів Причорномор'я. – 2010. – № 177. – С. 15–19.
32. Перебийніс В.І. Транспортний менеджмент і транспортний маркетинг виробничо-комерційної діяльності / В.І. Перебийніс, Л.М. Болдирєва, О.В. Перебийніс // Монографія. – Полтава: РВВ ПУСКУ, 2009. – 201 с.
33. Гнезділова О.М. Організація обліку та аналізу роботи транспортних засобів аграрних підприємств: Автореф. дис. кандидата екон. наук / ННЦ «Інститут аграрної економіки». – К., 2006. – 20 с.
34. Котелянец В.И. Эффективность использования транспорта в агропромышленном комплексе / В.И. Котелянец, А.И. Пилипченко – М.: Агропромиздат, 1987. – 240 с.
35. Голубев А.В. Эффективное использование транспорта в сельскохозяйственном производстве / А.В. Голубев, И.В. Голубева – М.: Россельхозиздат, 1969. – 164 с.
36. Ajiboye A.O. The impact of transportation on agricultural production in a developing country: a case of kolanut production in Nigeria / A.O. Ajiboye, O. Afolayan / International Journal of Agricultural Economics and Rural Development. – 2009. – №20. – P. 49–57.

37. Придюк В.М. Особливості організації перевезень сільськогосподарських вантажів автомобільним транспортом / В.М. Придюк // Сільськогосподарські машини. – 2014. – Вип. 28. – С. 68–72. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/silmah_2014_28_12
38. Гаджиев А.А. Организация транспортного обслуживания сельскохозяйственного производства в системе регионального агропромышленного комплекса в условиях рынка / А.А. Гаджиев, Г.С. Султанов, М.М. Исаев // Развитие АПК. 16 (109) – 2009. – С. 70–75.
39. Сидорчук О.В. Характеристика проектного середовища в системі централізованого зв'язу ЦБ / О.В. Сидорчук, В.М. Боярчук, Р.Є. Кригуль // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – Vol 1, №2 (43). – С. 43–45.
40. Измайлов А.Ю. Техническое обеспечение логистики в технологиях производства сельскохозяйственной продукции: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.20.01 / Измайлов А.Ю. // ИАН России. – Москва, 2007. – 37 с.
41. Музылёв Д.А. Причины рационализации состава транспортно-уборочного комплекса при перевозке зерна / Д.А. Музылёв, А.Е. Стебаков // Матер. Всеукр. конф. Мин-во аграр. политики и продовольствия Украины. ХНТУСХ / Инновационные разработки студентов и молодых ученых в области технического сервиса машин. 26.11-27.11.2014. – С. 120.
42. Mpanza Z. Developing a conceptual transport or logistics model for small-scale farmers Logistics challenges faced by small-scale farmers in South Africa / Z. Mpanza // International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Dubai. MAR 03-05, 2015. – P. 1–7.
43. Dnenis G. Particle swarm optimization for reconfigurable phase differentiated array design / G. Dnenis, R.S. Yahya // Microwave and Optical Technology Letters. – 2003. – 38(3). – P. 168–175.
44. Cui Yan. Fresh Agricultural E-Commerce Product Routing Problem Is Considering Equally Desire of Customer / Cui Yan, Zhang Zi Xiang, Shi Xin, Wang Xiao Liang // International Journal of Computational and Engineering. – September 2016. – Vol. 1. – № 3. – P. 29–36.
45. Пугачев Н. И. Продовольственная безопасность Украины / Н.И. Пугачев // Никоновские чтения. – 2013. – №18. – С. 46–48.
46. Гриценко С.І. Агрологістика в Україні: сучасний стан і перспективи розвитку / С.І. Гриценко, С.В. Терещенко // Вісник Донецького національного університету, Сер. В: Економіка і право. – 2015 – Вип. 1. – С.87–89.
47. Лімонт А.С. Дослідження і розрахунок транспортування вороху в льонозбиральному комбайновому комплексі / Лімонт А.С., Ломакін В.О. // Вісник Житомирського держ. технологіч. ун-тету. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – №2 (53). – С. 91–96.
48. Мазнев Г.Є. Оптимізація збирально-транспортних комплексів методами теорії масового обслуговування / Г.Є. Мазнев // Механізація сільськогосподарського виробництва // Вісник ХНТУСГ. – Х.: ХНТУСГ, 2013. – Т. 2, Вип. 93. – С. 56–68.

49. Вельможин А.В. Грузовые автомобильные перевозки / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин. – М.: Транспорт, 2007. – 559 с.
50. Калиниченко А.П. Повышение эффективности совместной работы грузовых автомобилей и погрузочно-разгрузочных средств / А.П. Калиниченко // Дисс. к. т. н: 05.22.01. – Харьков: ХНАДУ. – 2003. – 177 с.
51. Ширяев С.А. / Общие подходы к выбору автотранспортных и погрузочно-разгрузочных средств [Электронный ресурс] / С.А. Ширяев // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. ИЗВЕСТИЯ ВолгГТУ. – 2007. – Т. 2, № 8/34. – С. 108-112. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/obschie-podhody-k-vyboru-avtotransportnyh-i-pogruzochno-razgruzochnyh-sredstv>
52. Шраменко Н.Ю. Підвищення якості логістичного сервісу вантажного терміналу / Шраменко Н.Ю. // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – №. 1/4(43). – С. 55–57.
53. Зиновьев В.Е. Особенности проведения погрузочно-разгрузочных и складских работ с различными грузами: учебное пособие / В.Е. Зиновьев // Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д. – 2005. – 60 с.
54. Нагорний Є.В. Аналіз сучасних підходів до підвищення ефективності логістичних систем доставки вантажів в міжнародному сполученні / Є.В. Нагорний, В.С. Наумов, А.В. Іванченко // Научный журнал. Транспортные системы и технологии перевозок. – 2012.– № 3. – С. 68-72.
55. Дранівський Н.І. Методи підвищення ефективності роботи логістичних систем доставки вантажів / Н.І. Дранівський // Матеріали ХІХ наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя (18-19 травня). – 2016. – С. 281–282.
56. Фришев С.Г. Основи вантажних перевезень: посібник [для сам. роботи студентів] / С.Г. Фришев, С.І. Козупиця. – К. : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011. – 298 с.
57. Фришев С.Г. Основи транспортного процесу в АПК: посібник [для сам. роботи студентів] / С.Г. Фришев, В.З. Докуніхін. – К.: Державна академія керівних кадрів, 2009. – 420 с.
58. Живицкая Е.Н. Методы оценки логистической системы транспортно-экспедиторского комплекса / Е.Н. Живицкая, А.М. Ярошик // Экономика и управление. – 2005. – №2.. – С. 123–135.
59. Курганов В.М. Экономические аспекты анализа моделей управления надежностью транспортных систем / В.М. Курганов // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2012. – №. 13. – С. 112–119.
60. Грязнов М.В. Подходы к надежности транспортных систем / М.В.Грязнов. // Мир транспорта. – 2010. – №2. – С. 14–19.
61. Кальченко А. Г. Логістика / А.Г. Кальченко, В.В. Кривещенко // Навч. посібник. 2-ге вид. К.: КНЕУ, 2008. – 472 с.
62. Рогач С.М. Економіка і підприємництво, менеджмент / С.М. Рогач, Т.А. Гуцул, В.А. Ткачук та ін.// Навч. посібник. К.: ЦП «Компринт», 2015. – 714 с.

63. Аулін В.В. Надійність функціонування транспортної системи як чинник підвищення ефективності економіки країни / В.В. Аулін, Д.В. Голуб // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 19-21 жовтня 2015 року: збірник наукових праць / Мін-во освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 13–16.
64. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдуесский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986–1990.
65. Сергеев В. И. Терминологические аспекты понятия «устойчивости» цепей поставок в фокусе логистической интеграции / В.И. Сергеев, Е.А. Дорофеева // Логистика и управление цепями поставок – №3 (38). – 2010.
66. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1990-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 32 с.
67. Лукинский В.С., Проблемы оценки надежности цепей поставок / В.С. Лукинский, Р.Л. Чурилов // Логистика и управление цепями поставок / Научно-аналитический журнал. – 2012. – № 2 (49). – [режим доступа] <http://lscm.ru/index.php/ru/po-godam/item/794>
68. Григорьев М.Н. Логистика. Базовый курс / М.Н. Григорьев, С.А. Уваров // Учебник. – М.: Изд-во ЮРАЙТ, 2011. – 782 с.
69. Зайцев Е.И. Методический подход к разработке топологии цепей поставок по критериям надежности и минимума затрат / Е.И. Зайцев, И.Г. Шурпатов // Вестник ИНЖЭКОНа. Сер. Экономика. – 2011. – Вып. 2(45). – С. 229–234.
70. Иванов Д.А. Управление цепями поставок. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2009. – 600 с.
71. Основы логистики: Учебн. пособие / Под ред. Л.Б. Миротина и В.И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 200 с.
72. Проблемы формирования прикладной теории логистики и управления цепями поставок / Под общ. ред. В.С. Лукинского и Н.Г. Плетнёвой: монография. – СПб.: СПбГИЭУ, 2011. – 287 с.
73. Шульженко Т. Г. Актуальные проблемы управления терминально-логистическими комплексами в цепях поставок. – СПб.: СПбГИЭУ, 2011. – 279 с.
74. Лукинский В.С. Проблемы оценки надежности цепей поставок / В.С. Лукинский, Р.Л. Чурилов / Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – № 2 (49). – Режим доступа: <http://lscm.ru/index.php/ru/publicly/item/794>
75. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: «Советское радио», 1972. – 552с.
76. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1989. – 301 с.
77. Попов А.В. Вероятностное моделирование системы грузоперевозок / А.В. Попов, Е.Р. Обрезанова, Е.Ю. Синебрюхова // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – №1(53). – С. 144–151.

78. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 351 с.
79. Эйкофор П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния. – М.: Мир, 1975. – 684 с.

РОЗДІЛ 4. ДІАГНОСТИЧНІ ОСНОВИ ОПИСУ СТАНІВ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУ

В даному розділі розглянуті питання визначення і опису видів станів об'єктів діагностування з позиції транспортної діагностики. Матеріали є продовженням досліджень, які опубліковані в монографії [1]. Матеріали розділу підготовлено Горяїновим О.М.

4.1 Проблематика опису станів систем транспорту

Застосування теорії транспортної діагностики для цілей оптимізації транспортних і логістичних систем обумовлює необхідність в уточненні і доповненні інформації про об'єкти дослідження. Розгляд транспортних підсистем логістичних систем як об'єктів діагностування зумовлює проведення досліджень з визначення властивостей таких підсистем.

В якості основних завдань транспортної (технологічної) діагностики приймемо наступні (по аналогії з [2, с.100]):

- контроль технологічного стану для встановлення значень параметрів вимогам нормативів;
- пошук місця і причин відмови (недоліки);
- прогнозування технологічного стану.

В роботі [2, с.100] використовується термін «технічний стан». Для цілей транспортної діагностики будемо використовувати термін «технологічний стан». Для аналізу розглянемо приклади визначень - табл. 4.1.

У галузі транспорту термін «технологічний стан» був виявлений тільки в рамках водного транспорту. Наведений приклад визначення терміна «технологічний стан шлюзу» (табл. 4.1) свідчить про сучасну тенденції в галузі управління транспортом. Згідно [7], судноплавний шлюз є об'єктом транспортної інфраструктури (в рамках блоку судноплавні гідротехнічні споруди). Отже, судноплавний шлюз може бути розглянутий як система транспорту з позицій транспортної діагностики.

З урахуванням представлених визначень (табл. 4.1) пропонується наступне визначення терміна *«технологічний стан»* - стан однієї з фаз технологічного процесу, який характеризується в певний момент часу значеннями параметрів, встановлених нормативними документами. Для терміна *«технологічний стан об'єкта діагностування»* визначення буде наступним - стан однієї з фаз технологічного процесу об'єкта діагностування, яке характеризується в певний момент часу значеннями параметрів, встановлених нормативними документами. Аналогічно можна отримати визначення терміна «технологічний стан системи транспорту» або «технологічний стан об'єкта транспорту».

Розвитку основ дослідження (оцінки) технологічних аспектів об'єктів транспорту сприяє зростання вимог до транспортної безпеки. Зокрема, слід відзначити закон «Про транспортну безпеку» [8]. В даному документі

прописані такі терміни як «транспортний комплекс», «об'єкти транспортної інфраструктури», «транспортні засоби» та ін. - табл. 4.2.

Таблиця 4.1 - Приклади визначень станів об'єкта

Термін	Визначення
Технологічний стан шлюзу [3]	Одна з фаз технологічного процесу пропуску суден через шлюз
Технічний стан об'єкта [4]	Стан, який характеризується в певний момент часу, за певних умов зовнішнього середовища, значеннями параметрів, установлених технічною документацією на об'єкт
Технічний стан АТЗ (автотранспортний засіб) [5]	Сукупність схильних до зміни в процесі експлуатації властивостей і встановлених нормативними документами параметрів АТЗ, яка визначає можливості його застосування за призначенням
Технічний стан [6]	Сукупність схильних до зміни в процесі виробництва або експлуатації властивостей об'єкта, яка характеризується в певний момент ознаками, встановленими технічною документацією на цей об'єкт. Видами технічного стану є справність, працездатність, несправність, непрацездатність і т.д.

Таблиця 4.2 - Терміни в сфері транспортної безпеки (відповідно до [8])

Термін	Визначення
об'єкти транспортної інфраструктури	технологічний комплекс, що включає в себе залізничні, трамвайні та внутрішні водні шляхи, контактні лінії, автомобільні дороги, тунелі, естакади, мости, вокзали, залізничні та автобусні станції, метрополітени, морські торговельні, рибні, спеціалізовані та річкові порти, портові засоби, судноплавні гідротехнічні споруди, аеродроми, аеропорти, об'єкти систем зв'язку, навігації та управління рухом транспортних засобів, а також інші, що забезпечують функціонування транспортного комплексу будівлі, споруди, пристрої і обладнання
транспортні засоби	повітряні судна, судна, які використовуються з метою торговельного мореплавства або судноплавства, залізничний рухомий склад, рухомий склад автомобільного та електричного міського наземного пасажирського транспорту в значеннях, встановлених транспортними кодексами і статутами
транспортний комплекс	об'єкти і суб'єкти транспортної інфраструктури, транспортні засоби

Ряд визначень мають важливе значення для теорії транспортної діагностики. Відзначимо особливо визначення терміна «об'єкти транспортної

інфраструктури», в якому зазначено, що це «*технологічний комплекс*». Отже, досліджувати необхідно, перш за все, технологічний аспект їх функціонування, тобто використовувати технологічну (транспортну) діагностику. При цьому технічна діагностика може розглядатися як допоміжний інструмент.

Відзначимо також необхідність максимальної деталізації окремих понять і співвідношення їх між собою. У зв'язку з цим наведемо досить наочну схему транспортного комплексу - рис. 4.1 [9, с.22].

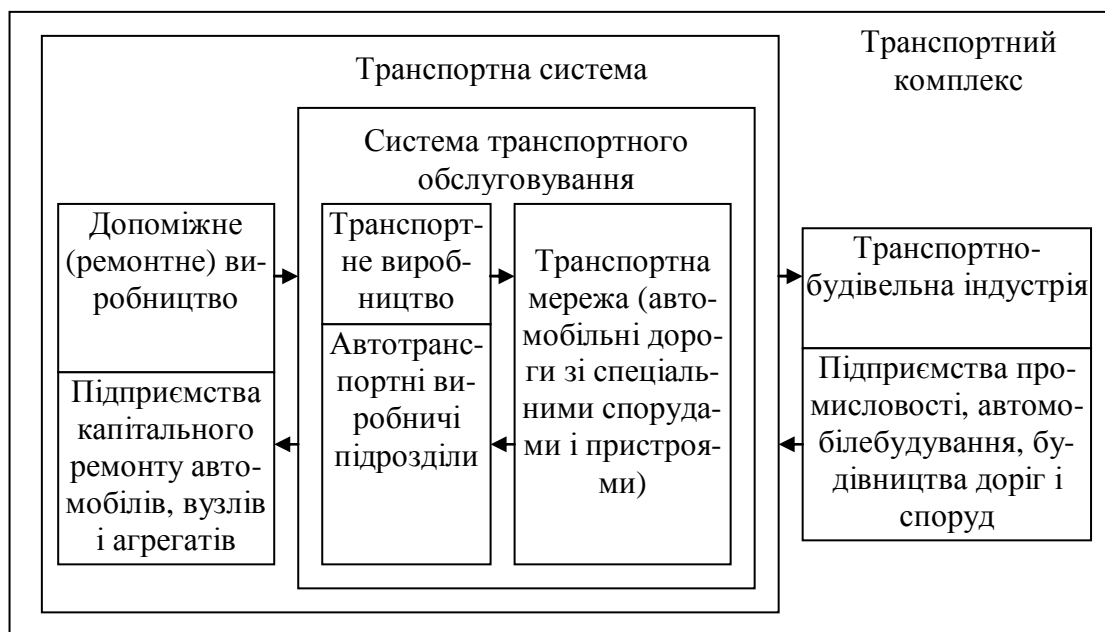


Рис. 4.1 – Структура транспортного комплексу [9, с.22]

В рамках кожного виду транспорту можлива своя деталізація об'єктів транспортної інфраструктури. Згідно [7] до типів об'єктів транспортної інфраструктури відносяться: судноплавні гідротехнічні споруди; гідроелектростанції; дамби і греблі; водоспуски і водоскиди; судноплавні канали; адміністративні будівлі управління; радіоцентри і диспетчерські центри судноводіння; судноремонтні бази; порти, портові засоби і окремі причали.

Для кожного об'єкта діагностування в рамках транспортної діагностики (наприклад, морський порт) необхідно визначити і описати всі можливі технологічні стани. Як основу (приклад) можна використовувати напрацювання по опису технологічних станів судноплавного шлюзу. Наведемо приклади опису окремих станів [3]:

- невизначений стан - технологічний стан при первинному включенні системи управління;

- очікування в нижньому б'єфі - технологічний стан очікування судів на шлюзування, напрямом шлюзування не визначене. У камері рівень нижнього б'єфу;

- шлюзування вгору - технологічний стан, в якому проводиться переміщення судна з нижнього б'єфу в верхній. Камера наповнюється і ін.

Алгоритм переходу між технологічними станами наведено в [3; 10].

Для формалізації технологічного стану об'єктів діагностування доцільно використовувати досвід, який представлений в [11]. Авторами запропонований підхід до ідентифікації технологічного стану підприємства на підставі статистичних та динамічних оцінок.

4.2 Види станів об'єктів діагностування з позиції транспортної діагностики

З огляду на те, що методологічний апарат транспортної діагностики тільки формується, будемо використовувати матеріали з технічної діагностики. Згідно [4] «видами технічного стану є, наприклад, справний, працездатний, несправний, непрацездатний і т.п. в залежності від значень параметрів в даний момент часу». Ключовими є працездатність (непрацездатність) і справність (несправність). Особливо важливим є визначення справності об'єкта діагностування. Це підтверджується в роботі [12, с. 12] - автор зіставляє рішення діагностичної задачі з віднесенням об'єкта до справних або несправних. Також це підтверджується і рядом стандартів. Наприклад, [13] «діагностична модель - формальний опис виробу, що піддається діагностуванню (в аналітичній, табличній, векторній, графічній ті ін. формі), що враховує можливі зміни в його справному і несправному стані». Як видно з наведеного визначення, діагностична модель відноситься до справного або несправного стану, а не працездатному або непрацездатному.

Проаналізуємо взаємозв'язок різних видів стану об'єктів діагностування. Згідно [4], виділяють: справний стан, несправний стан, працездатний стан, непрацездатний стан, граничний стан. Для складних об'єктів можливо поділ на безліч непрацездатних станів [4]. Більшість авторів, які оперують зазначеними станами, підтверджують наступні можливі комбінації станів об'єкта (наприклад, [14, с.10; 15, с. 5]) - справний і працездатний, несправний і працездатний, несправний і непрацездатний. Графічні інтерпретації станів об'єкта у різних авторів проявляються по-різному - рис. 4.2.

З наведених схем видно, що незважаючи на існування стандартів з технічної діагностики та надійності в техніці [4, 19], інтерпретація взаємозв'язку справного (несправного) і працездатного (непрацездатного) станів має свої відмінності у різних авторів.

Особливо виділимо існуючу відмінність у описі станів технічної системи і технологічної системи. Розуміючи під системою транспорту, технологічну систему, важливо вивчити відміну в розгляді станів таких систем. Акцентуємо також увагу на те, що технологічні системи розглядаються в рамках техніки (див. назву [20] - Надійність в техніці. Системи технологічні. Терміни та визначення). Згідно [20], при розгляді технологічних систем несправний стан не розглядається. У той же час, конкретизуються працездатні стани - рис. 4.3. Також відсутні такі поняття як «дефект», «пошкодження», але зберігається поняття «відмова». Матеріали також не передбачають часткової працездатності системи.

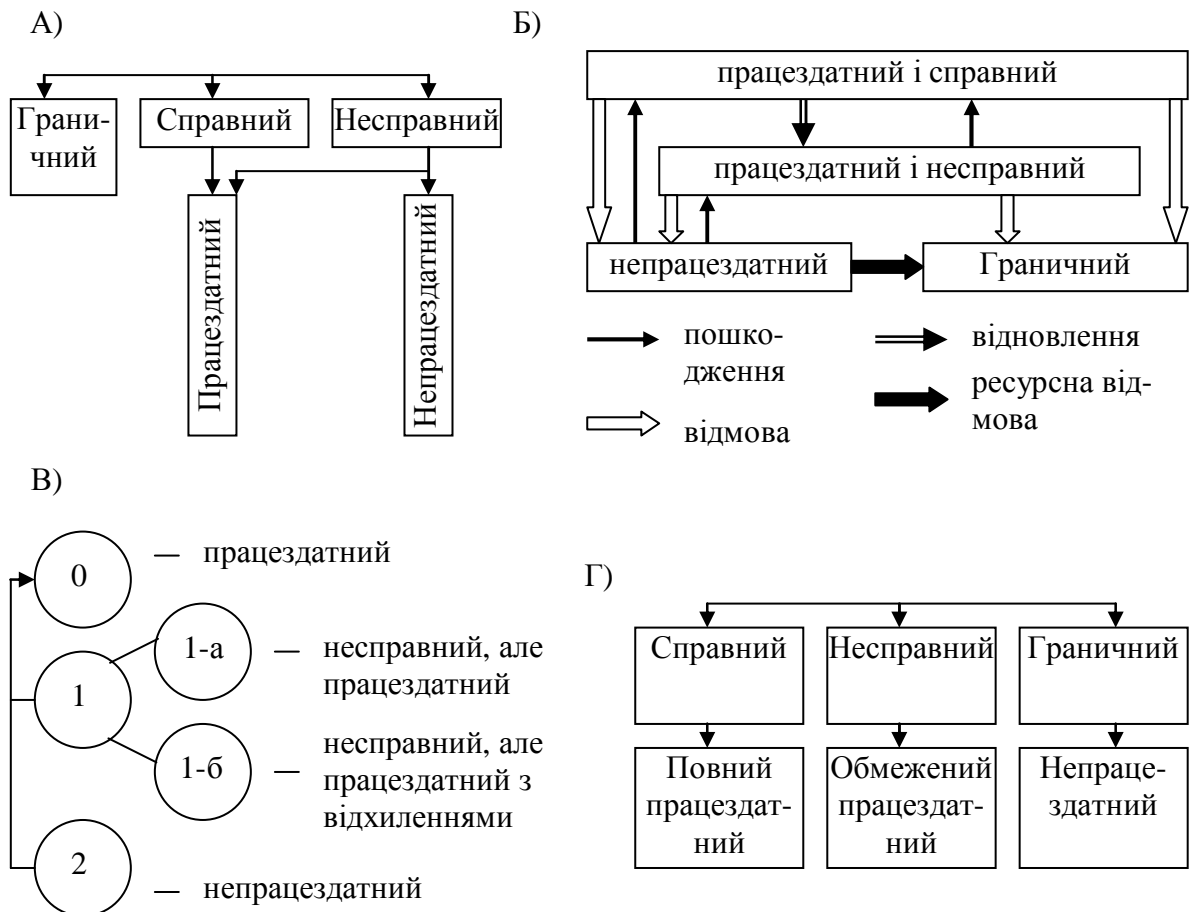


Рис. 4.2 – Схеми видів станів: А) за даними [15, с.5]; Б) за даними [16]; В) за даними [17, с. 21]; Г) за матеріалами [18, п.3.1]

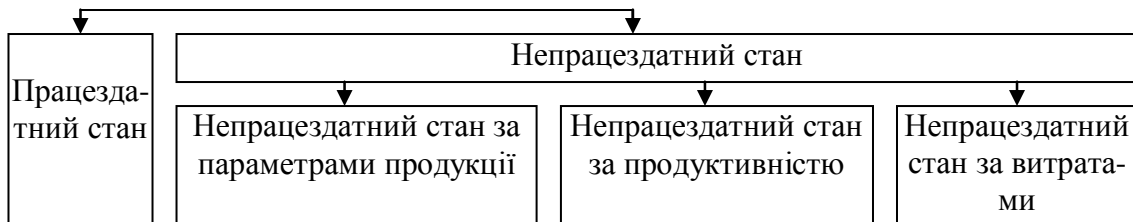


Рис. 4.3 – Види станів технологічної системи (на підставі [20])

Аналіз матеріалів [20] дозволяє робити висновок, що існує певне протиріччя в відсутності поняття справний (несправний) стан. Розглянемо більш докладно ряд визначень із зазначеного джерела - табл. 4.3.

З табл. 4.3 видно, що параметрична відмова має на увазі функціонування системи, тобто система виконує свої функції, хоча і переходить в стан непрацездатності (також на підставі табл. 4.3). Якщо порівнювати таку ситуацію з матеріалами [21], то параметрична відмова приводила би до несправного стану систему і зберігалася б працездатність (можливо, часткова працездатність). Згідно [21], «*працездатний стан - стан виробу, при якому воно здатне виконати потрібну функцію за умови, що надані необхідні зовнішні ресурси*». З вищевикладеного напрашується висновок, що відсутність опису

несправного стану для технологічних систем порушує логіку визначення стану об'єкта дослідження. Можливо, це пов'язано з відсутністю стандартів, які стосуються діагностики технологічних систем.

Таблиця 4.3 – Визначення термінів для технологічних систем (з [20])

Термін	Визначення
Працездатний стан системи	Стан технологічної системи, при якому значення параметрів і (або) показників якості продукції, що виготовляється, продуктивності, матеріальних і вартісних витрат на виготовлення продукції відповідають вимогам, встановленим у нормативно-технічній і (або) конструкторській та технологічній документації
Непрацездатний стан системи за витратами	Стан технологічної системи, при якому значення хоча б одного параметра матеріальних і (або) вартісних витрат не відповідають вимогам, встановленим в технічній документації
Параметрична відмова системи	Відмова технологічної системи, при якій зберігається її функціонування, але відбувається вихід значень одного або декількох параметрів технологічного процесу за межі, встановлені в нормативно-технічній і (або) конструкторській та технологічній документації

Далі зупинимося на такому важливому понятті, яке має безпосереднє відношення до стану об'єкта діагностування - «відмова». Поява стандарту [21] дає серйозний поштовх до переосмислення значимості видів станів розглянутих об'єктів. Порівняємо визначення терміна «відмова» в різних стандартах - табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Визначення терміна «відмова»

Визначення	Джерело
Подія, що полягає в порушенні працездатного стану об'єкта	ГОСТ 27.002-89 [19]
Втрата здатності виробу виконати потрібну опцію. <u>Примітка</u> - відмова є подією, яке призводить до стану несправності	ГОСТ Р 53480-2009 [21]

На додачу до представлених визначень наведемо таку цитату [22, с.9]: «відмова автомобіля - це порушення його працездатності, що приводить до припинення транспортного процесу (тобто зупинці на лінії, передчасного повернення з лінії). Всі інші відхилення технічного стану автомобіля та його агрегатів від встановлених норм є несправностями».

Порівнюючи представлені визначення можна зробити наступні висновки:

1. Відмова - це подія, яка призводить до такого несправного стану об'єкта дослідження, при якому порушується його працездатність (повністю або частково).

2. Можуть існувати такі події, які можуть призводити до несправного стану об'єкта дослідження без порушення його працездатності (працездатного стану).

3. Працездатний стан є функцією від справного і несправного станів об'єкта.

Зазначені висновки представлені в чистому вигляді для технічних систем. Для технологічних систем доцільно вводити заміну слова «подія» на слово «ситуація». Ця пропозиція вимагає окремих досліджень і базується на відсутності у визначенні відмов технологічних систем слова «подія».

Для цілей транспортної діагностики пропонується наступна схема станів об'єкта діагностування - рис. 4.4.

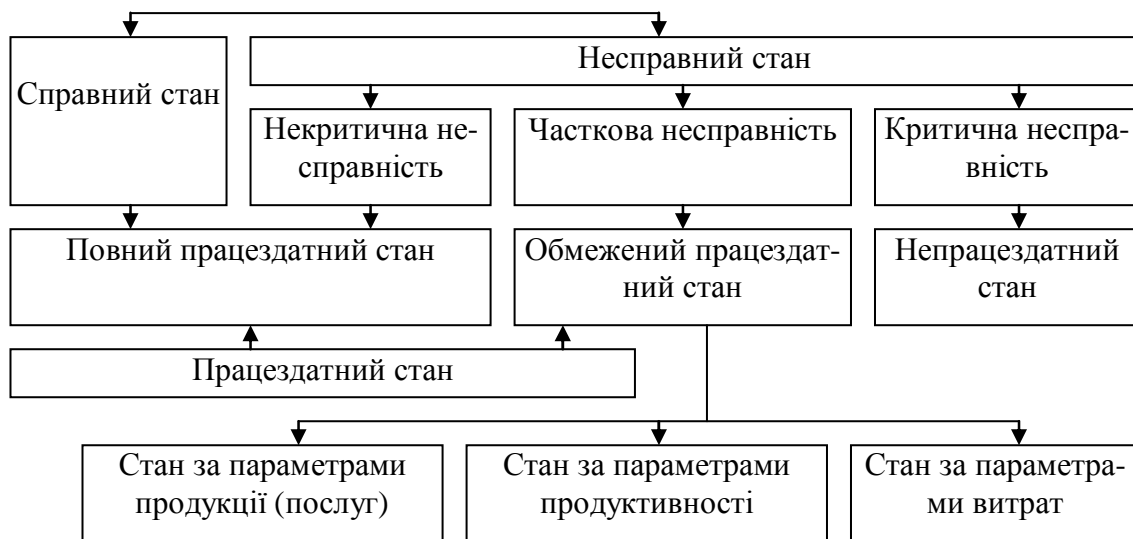


Рис. 4.4 – Види станів об'єкта діагностування з позиції транспортної діагностики (пропонується, з урахуванням [15, с.5; 18-21])

На рис. 4.4 використаний термін «часткова несправність» з [21] - «стан виробу, що характеризується нездатністю виконати деякі, не всі необхідні функції». Опис запропонованих станів представлено в табл. 4.5.

На рис. 4.4 введена розшифровка обмеженого працездатного стану - поділ на групи: параметри продукції (послуг), параметри продуктивності, параметри витрат. Цей поділ взято за аналогією з [20].

Надалі, в якості базової, можна використовувати наступний ланцюжок понять «непрацездатність (працездатність) - несправність (справність) - недолік (недоліки) - симптом (симптоми)».

Слід вивчити досвід формалізації станів перевізного процесу, який представлений в роботі [23]. Автор включає в модель: технологію перевезень, властивості вантажу, транспортні засоби та ін.

Таблиця 4.5 - Характеристика видів станів об'єкта діагностування з позиції транспортної діагностики (пропонується з урахуванням [19, 21])

Стан	Характеристика
Справний стан	Стан об'єкта, при якому він відповідає всім вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської та технологічної документації
Некритична несправність	Стан об'єкта, що характеризується відхиленнями значень параметрів від нормативних, без впливу на працездатність
Часткова несправність	Стан об'єкта, що характеризується нездатністю виконати деякі, не всі необхідні функції. Виникає при відмові системи
Критична несправність	Стан об'єкта, що характеризується нездатністю виконати всі необхідні функції. Виникає при відмові системи
Повний працездатний стан	Стан об'єкта, при якому воно здатне виконати всі необхідні функції за умови, що надані необхідні зовнішні ресурси
Обмежений працездатний стан	Стан об'єкта, при якому воно здатне виконати частину необхідних функцій за умови, що надані необхідні зовнішні ресурси
Непрацездатний стан	Стан об'єкта, при якому воно не може виконати всіх необхідних функцій за умови, що надані необхідні зовнішні ресурси

4.3 Визначення зв'язку стану об'єкта діагностування з його недоліками

Ключовим поняттям в рамках транспортної діагностики є «стан об'єкта діагностування». Тому важливо мати механізм визначення цього стану.

Пропоноване в рамках транспортної діагностики використання терміна «недолік» як аналог терміна «дефект», вимагає ув'язки з визначенням стану об'єкта діагностування. У своїх міркуваннях будемо відштовхуватися від того, що стан об'єкта діагностування - несправність - буде залежати від характеристик недоліків, якими такий об'єкт володіє.

Окремо виділимо стан об'єкта діагностування - справний стан. Для такого стану також можуть існувати недоліки. Однак, такі недоліки можуть закладатися на етапі проектування об'єкта діагностування, або встановлюватися в процесі експлуатації або діагностування. Відповідно такий вид недоліків не використовується для опису об'єкта діагностування такого, що знаходиться в стані несправності. Таким чином, один і той же недолік, в залежності від початкових установок (цілей, описів) об'єкта діагностування, може відноситися або до справного стану, або ж до несправного стану. Тому є сенс створювати

бази даних недоліків однотипних об'єктів діагностування і коригувати їх використання під конкретну ситуацію. Проілюструємо сказане - рис. 4.5.

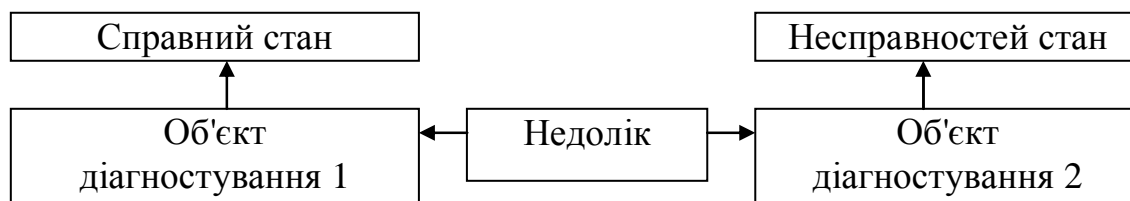


Рис. 4.5 – Вплив однакових недоліків на різні об'єкти діагностування

Наступним моментом, який слід виділити, є визначення недоліків об'єкта діагностування через систему симптомів (ознак). Тут доречно відзначити такий логічний ланцюг - «несправність (справність) - недолік (недоліки) - симптом (симптоми)». Якщо врахувати, що стан несправності може мати кілька різновидів, то виникає задача закріплення окремих недоліків за видами несправностей – рис. 4.6.

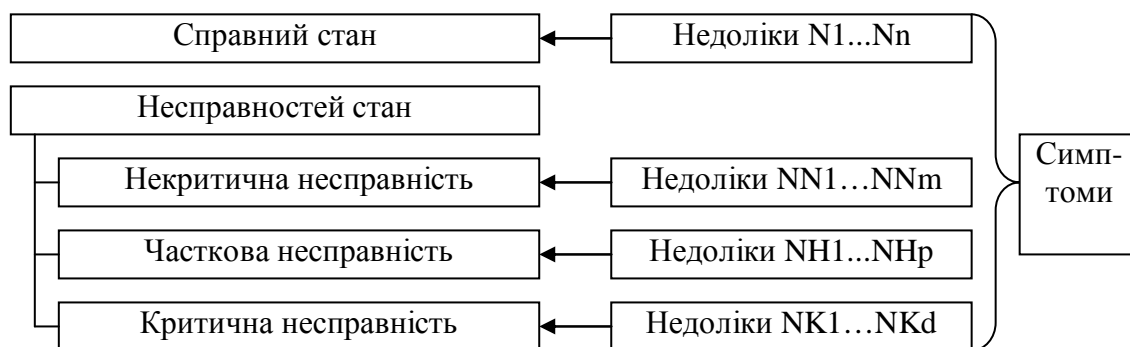


Рис. 4.6 – Групування недоліків за видами станів об'єкта діагностування

Кожен недолік повинен володіти сукупністю ознак (симптомів), на підставі яких можливо його визначення. З огляду на складність систем транспорту, можна припустити, що у взаємозв'язку «недолік - симптом» можуть відбуватися еволюційні зміни. Можуть з'являтися нові симптоми, можуть змінювати недоліки.

Далі заглибимося в питанні зв'язку недоліків з окремими характеристиками в транспортно-логістичних системах. У загальному вигляді стан логістичної системи з позиції діагностики представлено в роботі [24, с. 176] - рис.4.7.

Розглянемо можливість застосування транспортної діагностики для транспортно-логістичного кластера, використовуючи матеріали роботи [25]. В роботі [25] представлений матеріал про ризики в транспортно-логістичному кластері. З позицій транспортної діагностики представляє інтерес класифікація ризиків в кластері. Уявімо зв'язок між характеристиками ризиків і характеристиками об'єктів діагностування на транспорті - рис. 4.8. Згідно з представленими даними, можна свідчити про взаємозв'язок таких груп:

«характеристика ризиків - недоліки об'єкта діагностування», «наслідки настання ризикової події - ознаки транспортного діагностування», «група ризиків - група недоліків».



Рис. 4.7 – Схема взаємозв'язку управління та страхування в логістичних системах [24, с. 176]



Рис. 4.8 – Схема взаємозв'язку характеристик ризиків і характеристик об'єктів діагностування на прикладі групи ризиків «технічні і технологічні» (пропонується, на підставі [25])

Використання управління ризиками та транспортної діагностики в рамках транспортно-логістичного кластера можна охарактеризувати наступним чином: циклічне визначення станів кластера (операцій, підсистем і ін.) в майбутньому засобами управління ризиками та циклічне визначення станів кластера

(операцій, підсистем і ін.) в реальні моменти часу засобами транспортної діагностики - рис. 4.9. Іншими словами, використовуючи поняття транспортної діагностики, управління ризиками прогнозує які симптоми в майбутньому можуть бути виявлені з урахуванням поточних характеристик ризиків.

Аналізуючи класифікацію ризиків в роботі [25], можна зробити висновок про проблему встановлення групи недоліків (ризиків). Іншими словами, якщо знати характеристики ризиків, то можна припустити в майбутньому які можуть бути наслідки настання ризикової події. Однак, зворотне - не так однозначно - рис. 4.10.

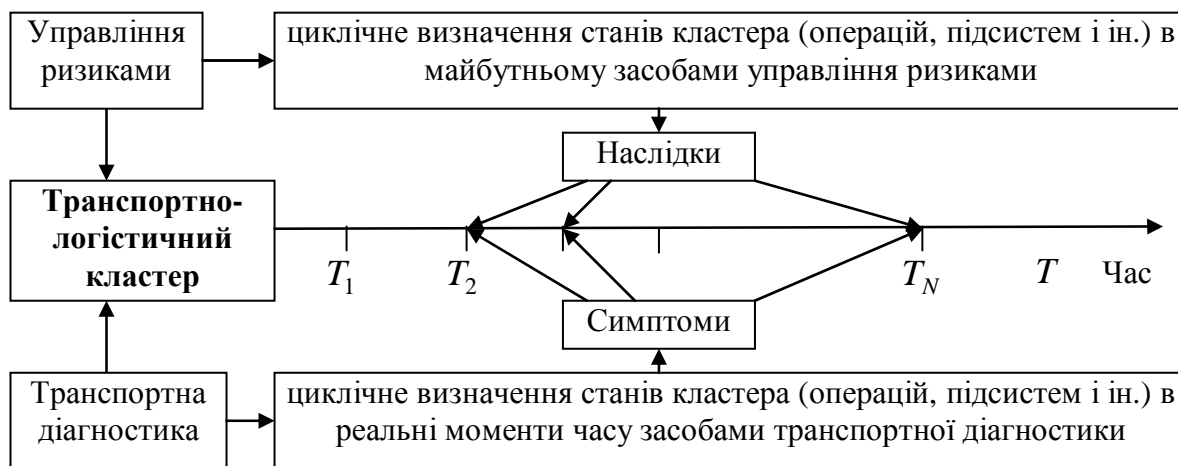
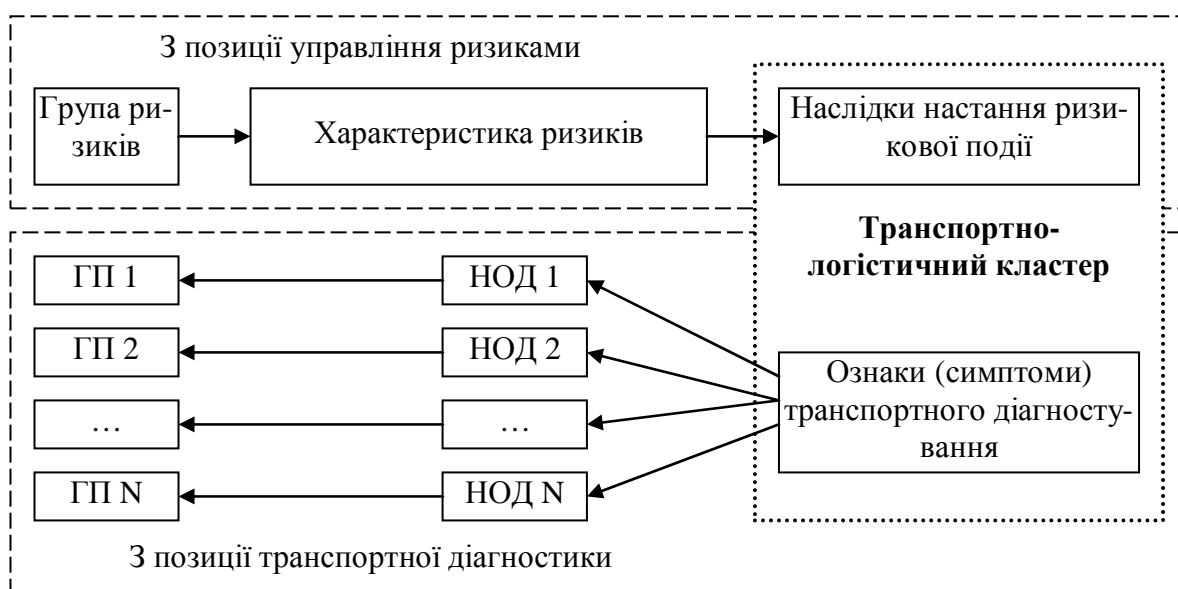


Рис. 4.9 – Схема взаємозв'язку управління ризиками та транспортної діагностики при дослідженні транспортно-логістичного кластера (пропонується).



ГП - група недоліків

НОД - недоліки об'єкта діагностування

Рис. 4.10 – Логічні ланцюжки встановлення взаємозв'язків між поняттями в рамках управління ризиками та транспортної діагностики

Як приклад, згідно [25], «зниженню обсягу вантажопотоку» (наслідок настання ризикової події) можуть відповідати такі групи ризиків: політичні, природні, інфраструктурні.

4.4 Технологічні процеси на транспорті та визначення технологічних станів систем транспорту

Поверхневий розгляд станів систем не дає можливість скласти докладні моделі переходу одного стану в інший. Це, в свою чергу, ускладнює подальшу автоматизацію процесу управління системою.

Опис систем перевезень, в основному зводиться до опису станів вантажного автомобіля. Наприклад, [26, с. 69] - рис. 4.11.

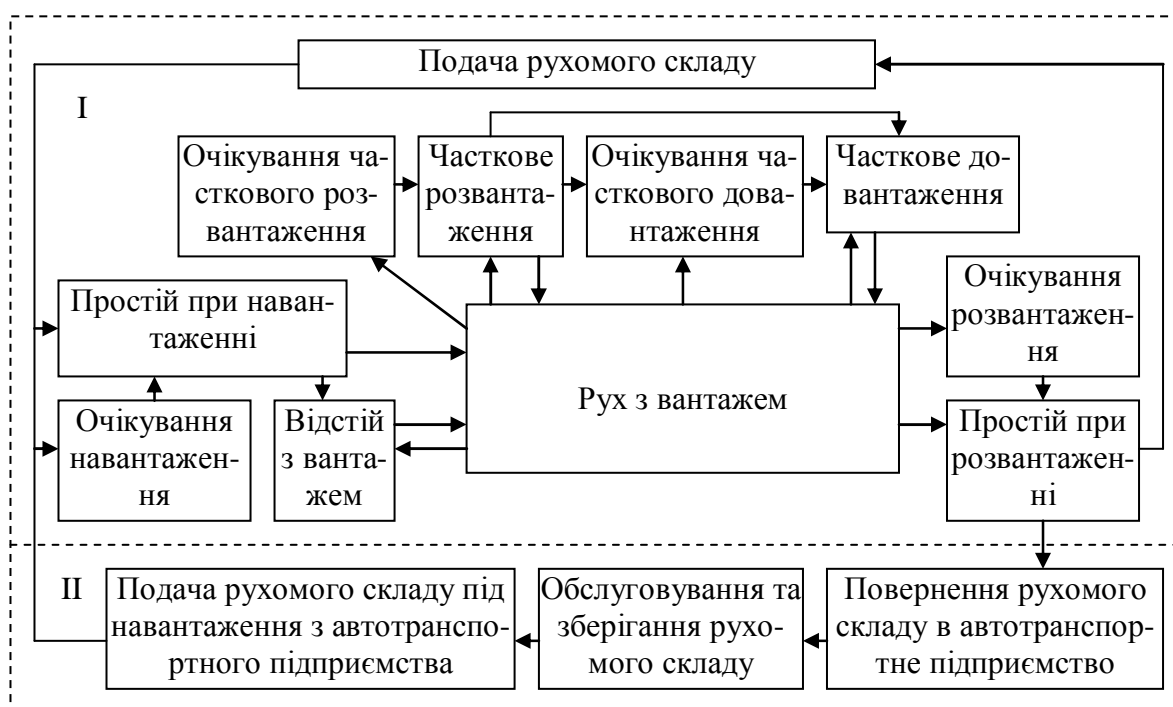


Рис. 4.11 – Граф станів автомобіля в процесі експлуатації: I - елементи, що включаються в цикл перевезень; II - елементи, що відносяться до добового (змінного) циклу експлуатації автомобіля [26, с. 69]

Наведений приклад опису зачіпає тільки одну складову системи перевезень. Решта залишаються не описаними. Наприклад, не враховується зміна застосовуваної технології (робота водія), стан вантажу, характеристики роботи учасників транспортного процесу і інше.

Більш системне представлення стану автомобіля і системи перевезень представлено в роботі [27, с. 98] - рис. 4.12. У роботі зазначено, що 1 - пункт навантаження; 5, 6 - перевірка наявності вантажу; 4 - автотранспортне підприємство.

Перевагою такого уявлення станів автомобіля є виділення також станів системи. Однак, як зазначено в [27, с. 98] «.. окремі автомобілі, що

функціонують за схемою, представленої на рис ..., спільно утворюють складну систему перевезень, стану якої і переходи з одного стану в інший вже складно зобразити з таким ступенем деталізації, як модель роботи одиночного автомобіля».

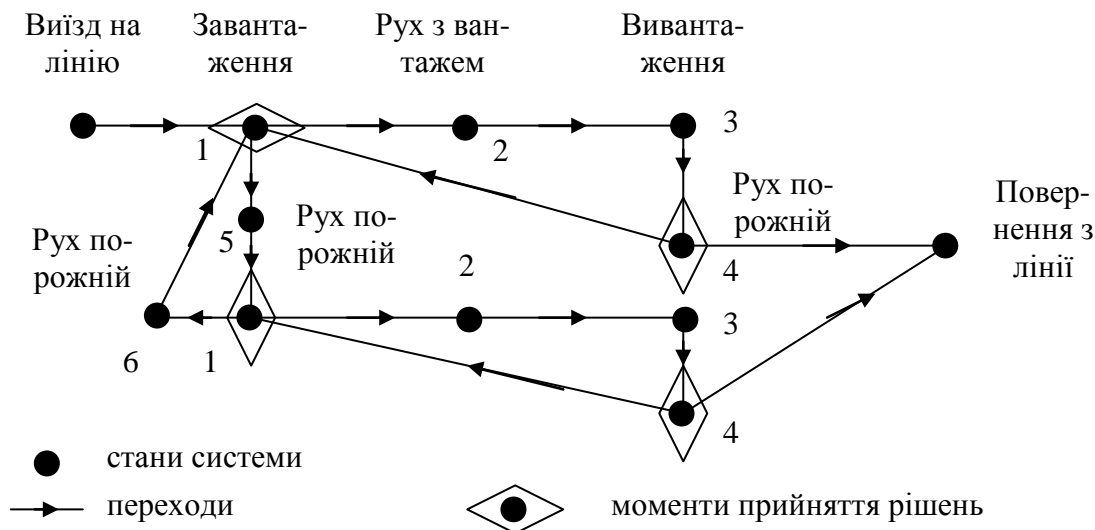


Рис. 4.12 – Модель роботи вантажного автомобіля на лінії [27, с. 98]

Для опису стану системи перевезень доцільно в подальших дослідженнях розробити варіанти агрегування інформації про окремі стани. Це дозволить зберегти наочність графічного відображення даних розглянутої системи при прийнятних погрішностях.

Розглянемо приклад математичного опису пункту навантаження з позиції технології роботи. В якості основних груп моделей виділимо моделі роботи навантажувальних машин, моделі прибуття і відправлення транспортних засобів, моделі партій вантажів. Можуть бути використані й інші групи моделей, наприклад, моделі роботи водіїв вантажних машин або водіїв транспортних засобів.

Визначаючи моделі, що описують пункт навантаження, слід врахувати, що вантажний потік характеризується рядом параметрів. Наприклад, згідно з [28, с.33] - загальна кількість вантажів, які переміщуються за деякий період часу, розміри транспортних партій вантажів, відстань перевезення і ін. Також відзначимо таку особливість - експлуатаційні показники роботи технічних засобів (транспортних засобів, навантажувальних засобів і ін.) визначаються, в основному, на підставі технічних показників. Наведемо приклад визначення експлуатаційної продуктивності навантажувально-розвантажувальної машини (P_E , т/год) [29, с.87]:

$$P_E = P_T \cdot K_V \cdot K_{GR}, \quad (4.1)$$

де P_T - технічна продуктивність машини, т/год;

K_V, K_{GR} - коефіцієнт відповідно використання машини в часі протягом 1 год і використання машини по вантажопідйомності.

У загальному вигляді модель (4.1) можна назвати нормативною продуктивністю. Відповідно, виконуючи діагностичні процедури, необхідно встановити фактичний стан об'єкта діагностування (наприклад, фактичну продуктивність). Однак, в рамках проведення загальної діагностики, недоцільно детально досліджувати кожен параметр. В даному випадку - коефіцієнти K_V, K_{GR} можуть бути об'єднані в один діагностичний параметр. Наприклад, можна представити таким чином:

$$P_E = P_T - \Delta_N, \quad (4.2)$$

$$P_F = P_T - \Delta_F, \quad (4.3)$$

де P_F - фактична продуктивність машини, т/год;

Δ_N, Δ_F - відповідно нормативне і фактичне відхилення, т / год. При цьому фактичне відхилення може бути більше, менше або дорівнювати нормативному.

Дане представлення експлуатаційної та фактичної продуктивності дозволяє перейти до градації станів даного об'єкта діагностування та обґрунтовує пошук методів визначення фактичних значень параметрів об'єкта. З урахуванням викладеного пропонується наступна модель пункту навантаження як об'єкта діагностування (OD^{PP}):

$$OD^{PP} = f(q_{PRM}^{RAB}; q_{AVT}^{OTP}; q_{GR}^{ZAK}), \quad (4.4)$$

де q_{PRM}^{RAB} - середній обсяг навантажених одиниць вантажу, т/год;

q_{AVT}^{OTP} - середній обсяг завантаження одного автомобіля в пункті навантаження, т/год;

q_{GR}^{ZAK} - середній обсяг замовлення одним споживачем, т.

У представленій залежності прив'язка виконана до однієї з характеристик вантажопотоку. Залежно від цілей проведення діагностики, можуть використовуватися інші параметри.

Далі можна скористатися результатами роботи [30] і, за аналогією, скласти таблицю співвідношень запропонованих показників з базовим рівнем роботи навантажувального пункту.

4.5 Виділення діагностичних параметрів в групах показників роботи транспорту

Можна виділити окремі публікації, які мають непряме відношення до діагностичних показників для сфер транспорту і логістики. Зокрема, можна відзначити роботи [31, с.371; 32]. В роботі [31, с.371] описана методика «транспортного аудиту» із зазначенням прикладу використовуваних факторів в рамках анкетування. Дана методика близька до підходу, заснованого на аналізі якості транспортних послуг або транспортного обслуговування. В роботі [32] введено термін «діагностика логістичної мережі», використовуються терміни «симптоми недоліків у функціонуванні логістичної мережі», «дисбаланс логістичної мережі». Результати зазначених робіт не дають відповідей про зв'язок діагностичних показників і показників роботи транспорту. У той же час, зазначені дані важливі для розробки методології транспортної діагностики.

Пропонується виділити основні види діагностики систем транспорту в залежності від деталізації діагностичних параметрів об'єктів діагностування і глибини дослідження об'єктів - рис. 4.13. Ознака «поверхнєве дослідження» має на увазі розгляд одного або декількох властивостей об'єкта діагностування. Прикладом спрощеної і докладної шкали деталізації діагностичних параметрів можуть служити критерії оцінки в системі освіти: спрощена шкала - «задовільно», «незадовільно»; Детальна шкала - «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно».



Рис. 4.13 – Види діагностики систем транспорту в залежності від глибини дослідження та деталізації діагностичних параметрів об'єкта діагностування (пропонується)

Наявність шкали параметрів можна вважати однією з особливостей транспортної діагностики на відміну від простої оцінки роботи транспорту. Іншою особливістю можна вважати зв'язок діагностичних параметрів зі структурними параметрами. На рис. 4.14 представлена класифікація параметрів

при розгляді об'єкта діагностування (адаптовано відповідно до [33, с.203]). Характеристика окремих параметрів наведена в табл. 4.6.

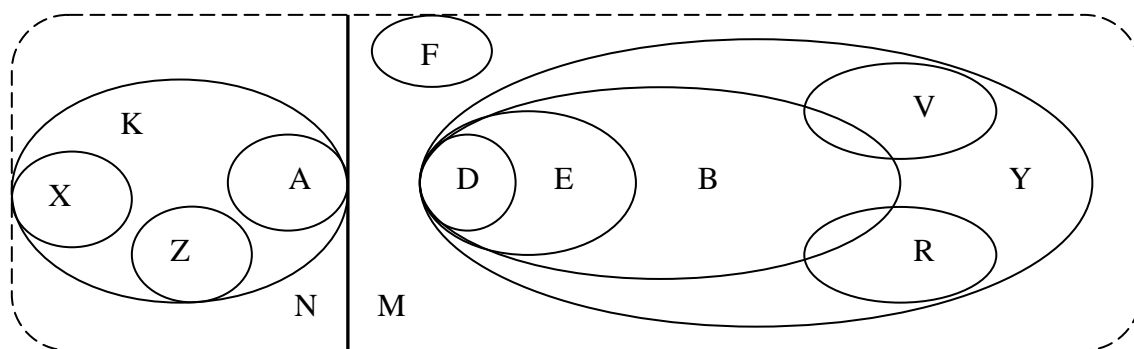


Рис. 4.14 – Класифікація параметрів діагностичного експерименту (згідно [33, с.203]): N - множина параметрів зовнішнього середовища; M - множина параметрів системи діагностування (СД); K - множина вхідних параметрів; X - вхідні (керуючі) параметри; Z - зовнішні шуми; A - перешкоди вхідних параметрів; Y - вихідні параметри СД; V - параметри супутніх процесів; F - параметри функціонування об'єкта діагностування (ОД); B - діагностичні параметри; R - робочі характеристики; D - структурні параметри, які регламентують наявність дефектів (недоліків); E - структурні параметри

Таблиця 4.6 - Характеристика параметрів діагностичного експерименту (на підставі [33, с.201-205])

Вид параметру	Характеристика
Вхідні параметри	Параметри, які задають умови і обмеження функціонування об'єкта діагностування (ОД)
Зовнішні шуми	Параметри процесів, джерелами яких є неконтрольовані зовнішні чинники
Перешкоди	Сигнали, які надходять від іншого, неконтрольованого в даний момент джерела, який вносить дезінформацію про технологічний стан ОД
Вихідні параметри	Параметри, які можна зареєструвати
Робочі характеристики	Вихідні параметри, які характеризують основні функції процесу, для якого створено об'єкт діагностування
Параметри функціонування ОД	Характеристики безлічі підпроцесів, які складають основний процес функціонування структурного блоку (елемента), що дає можливість виконувати йому своє функціональне призначення
Параметри супутніх процесів	Величини супутніх процесів або характеристик, що не реалізують головний процес або побічні явища
Структурні параметри ОД	Параметри, пов'язані з конструкцією ОД
Діагностичні параметри	Параметри, які містять інформацію про несправність ОД

Згідно даних роботи [34, с.153], техніко-експлуатаційні показники роботи автомобільного транспорту можна розділити на дві групи:

1) показники, що характеризують ступінь використання рухомого складу (коефіцієнти технічної готовності, використання автотранспорту, вантажопідйомності, пробігу; середні відстані їздки; середні відстані перевезення; час простою під навантаженням і розвантаженням; технічні та експлуатаційні швидкості).

2) показники результатів роботи рухомого складу (кількість поїздок, загальна відстань перевезення, обсяг перевезень, транспортна робота).

Поділ показників роботи транспорту за даною класифікаційною ознакою ускладнює виділення діагностичних параметрів. Тому доцільно скористатися даними рис. 4.14, а також врахувати дані роботи [35], в якій представлено ланцюг розробки блок-схеми структурно-наслідкових зв'язків - «агрегат - елемент - структурний параметр - несправність - симптом - діагностичний параметр» і дані роботи [36], в якій наведено приклад структурної схеми об'єкта діагностування. З урахуванням зазначених матеріалів, а також раніше проведених досліджень, можна уявити таку структурну схему системи транспорту як об'єкта діагностування - рис. 4.15.



Рис. 4.15 – Структурна схема системи транспорту як об'єкта діагностування (приклад) (пропонується на підставі [33, с.203; 34, с.153; 35; 36])

З представленої схеми (рис. 4.15) видно, що частина показників транспорту представлена як структурні параметри (наприклад, час навантаження-розвантаження), а частина як діагностичні параметри (наприклад, коефіцієнт використання вантажопідйомності і коефіцієнт

використання пробігу). Також запропоновані діагностичні параметри: коефіцієнт виконання часу доставки і коефіцієнт продуктивного простою під навантаженням-розвантаженням.

4.6 Висновки по розділу

1. Виявлено протиріччя у визначенні станів об'єктів в технічних і технологічних системах. Обґрунтовано використання термінів «справний стан», «несправний стан» для технологічних систем.

2. Вперше запропоновано схему взаємозв'язків станів об'єктів діагностування в рамках транспортної діагностики. Введено градації станів «несправний стан» і «працездатний стан». Представлені описи введених термінів.

3. Вперше запропоновано визначення термінів «технологічний стан», «технологічний стан об'єкта діагностування».

4. Вперше запропоновано класифікацію видів транспортної діагностики в залежності від глибини дослідження та деталізації діагностичних параметрів об'єкта діагностування.

5. Вперше виділені діагностичні параметри в рамках структурної схеми системи транспорту як об'єкта діагностування.

6. Обґрунтовано доцільність виділення структурних і діагностичних параметрів в групах техніко-експлуатаційних показників роботи транспорту.

7. В подальшому необхідно визначитися з описом класифікацій станів об'єктів в прикладах конкретних систем транспорту.

8. Надалі доцільно дослідити структурні схеми основних типів об'єктів діагностування з позицій транспортної діагностики і виділити групи діагностичних параметрів.

9. Опубліковані роботи:

9.1. Горяинов, А.Н. Проблематика описания состояний систем транспорта [Текст] / А.Н. Горяинов // Проблемы подготовки профессиональных кадров по логистике в условиях глобальной конкурентной среды: IX Междунар. науч.-пр. конф. Сб. докл. Отв.ред. М.Ю.Григорак, Л.В. Савченко. (г.Киев, Нац. авиац. ун-т, 18-19 октября 2012 г.). – К.: НАУ, 2012. – С.77-81 (466 с.)

9.2. Горяинов, А.Н. Виды состояний объектов диагностирования с позиции транспортной диагностики [Текст] / А.Н. Горяинов // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Зб.наук.пр. Відп. ред. Овсянніков С.І. – Харків: ХНТУСГ ім. П.Василенка, 2015. – №160. - С.210-216

9.3. Горяинов, А.Н. Связь состояния объекта диагностирования с его недостатками в рамках транспортной диагностики [Текст] / А.Н. Горяинов // Матер. VI Між народ. наук.-практ. конф.«Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Северодонецьк - м. Кременчук, 4-7 травня 2015 року: зб. наук. праць. Відповід. О.І. Кічка / МОН України, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. - Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2015. – С. 23-25 (133 с.)

9.4. Горяинов, А.Н. Использование концепции транспортной диагностики при рассмотрении транспортно-логистических кластеров [Текст] / А.Н.

Горяинов // «Актуальні проблеми розвитку галузевої економіки та логістики»: матер. IV міжнарод. наук.-практ. конференції 2-3 квітня 2015 р. / ред. кол. О.В. Посилкіна, О.В. Літвінова, Я.Г. Онищенко. – Х.: Вид-во НФаУ, 2015. – С. 121-124 (326 с.)

9.5. Горяинов, А.Н. Определение состояний логистических систем. Подход к описанию состояний транспортной составляющей [Текст] / А.Н. Горяинов // Актуальні проблеми розвитку галузевої економіки та логістики: матер. V міжн. наук.-практ. конф. з міжн. участю 20-21 квітня 2017 р. / ред. кол.: О.В. Посилкіна, О.В. Літвінова, Я.Г. Онищенко. – Х.: Вид-во НФаУ, 2017. – С. 170-173 (521 с.)

9.6. Горяинов, А.Н. Использование моделей объектов транспорта для решения задач транспортной диагностики [Текст] / А.Н. Горяинов // Матеріали II наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми розвитку галузевої економіки та логістики» (м.Харків, Нац.фарм. ун-т, 17-18 квітня 2013). – Харків: НФаУ, 2013. – С.17-19 (193с.)

9.7. Горяинов, А.Н. Выделение диагностических параметров в группах показателей работы транспорта [Текст] / А.Н. Горяинов // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Зб.наук.пр. – Харків: ХНТУСГ ім. П.Василенка, 2013. – №136. – С.265-271. (293с.)

4.7 Список використаних джерел до розділу 4

1. Горяинов, А.Н. Транспортная диагностика. Книга 1. Научные основы транспортной диагностики (диагностический подход в системах транспорта) [Текст]: монография / А.Н. Горяинов. – Харьков: НТМТ, 2014. – 291 с. https://www.logistics-gr.com/index.php?option=com_content&id=20294&category=84&Itemid=197

2. Ананьин, А.Д. Диагностика и техническое обслуживание машин [Текст]: учебник / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов и др. – М.: Изд.центр «Академия», 2008. – 432 с.

3. ГОСТ Р 54369-2011. Проектирование, изготовление и введение в эксплуатацию систем управления электрооборудованием для обеспечения технологического процесса судопропуска на вновь вводимых, реконструируемых и подлежащих капитальному ремонту судовых шлюзах [Текст]. — Введ. 2011-12-01. — М. : Стандартинформ, 2012.- 40 с.

4. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст]. — Введ. 1991-01-01. — М. : Изд-во стандартов, 1990. - 13 с.

5. ГОСТ Р 51709-2001. Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки [Текст]. — Введ. 2002-01-01. — М. : Стандартинформ, 2008.- 40 с.

6. ГОСТ 19919-74. Контроль автоматизированный технического состояния изделий авиационной техники. Термины и определения [Текст]. — Введ. 1975-07-01. — М. : Изд-во стандартов, 1974. - 14 с.

7. Реализация №16-ФЗ «О транспортной безопасности» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://trancons.ru/>

8. Федеральный закон Российской Федерации от 9 февраля 2007 г. N 16-ФЗ «О транспортной безопасности».

9. Панов, С.А. Управление грузовыми автомобильными перевозками (Основы анализа) [Текст] / С.А. Панов, А.М. Поляк, Ю.К. Поносов. – М.: Транспорт, 1979. – 127 с.

10. Тарасов, В.В. Обеспечение технологической безопасности судопропуска на Волго-Донском судоходном канале (информационно-управляющая система) [Текст] / В.В. Тарасов // Гидротехника XXI век. - С.-Пб., 2011. -№1 (4). - С.32-35

11. Голованова, Н.Б. Методический подход к оценке технологического состояния машиностроительного предприятия для повышения обоснованности управленческих решений [Электронный ресурс] / Н.Б. Голованова, Д.С.Горин // «Управление экономическими системами»: электронный научный журнал, 2012. - №4. Режим доступа: <http://www.uecs.ru/>

12. Малкин, В. С. Техническая диагностика [Текст]: учеб. пос. / В. С. Малкин. — СПб.: Издательство «Лань», 2013. — 272 с.

13. ГОСТ 26656-85. Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.complexdoc.ru/>

14. Коваленко, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: учеб.пос. / Н.А. Коваленко, В.П. Лобах, Н.В. Вепринцев. – Минск: Новое знание, 2008. – 352 с.

15. Матвеевский, В.Р. Надежность технических систем [Текст]: учеб. пос. / В.Р. Матвеевский. – М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2002. – 113 с.

16. Росляков В.И., Филимонов Е.А. Процессы изменения технического состояния бытовой техники [Электронный ресурс] // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 8 – С. 99-101 - Режим доступа: www.rae.ru/fs/451-30640

17. Токарев, А.Н. Основы теории надежности и диагностика [Текст]: Учебник / А.Н. Токарев. – Барнаул: Изд.АлтГТУ, 2008. – 168 с.

18. Дмитриев, Ю.В. Техническая диагностика конструкций железнодорожных сооружений [Электронный ресурс]: учеб. пособие/ Ю.В. Дмитриев. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. – 143 с. - Режим доступа: http://edu.dvgups.ru/METDOC/ITS/MOST_TON/SOD_MOS/METHOD/UP/DMITRIEV/MAIN_UMK.HTM .

19. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.complexdoc.ru/>

20. ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.complexdoc.ru/>

21. ГОСТ Р 53480-2009. Надежность в технике. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.complexdoc.ru/>

22. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: Учебник. Под ред. Г. В. Крамаренко. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1983. — 488 с.
23. Киберева, И. В. Экономическое обоснование схем освоения перевозок грузов в смешанном река-море плавании [Текст]: автореф. дис. ... канд. Экон. наук : 08.00.05 / И. В. Киберева; [Сиб. гос. ун-т путей сообщ.]. – Новосибирск, 2009. – 20 с.
24. Винников, В. В. Логистика на водном транспорте [Текст]: учеб. пос. / В. В. Винников, Е. Д. Быкова, С. В. Винников - Одесса: Фенікс, 2004. - 222 с.
25. Макаров, Е. Риски функционирования транспортно-логистического кластера транзитного региона [Текст] / Е. Макаров, А. Гамов // Логистика.– М., 2014. - №3. – С. 48 – 52.
26. Воркут, А. И. Грузовые автомобильные перевозки [Текст]: учеб./ А. И. Воркут. 2-е изд., перераб. и доп. — К.: Вища шк., 1986.— 447 с.
27. Рахмангулов, А.Н. Управление транспортными системами. Теоретические основы [Текст]: учеб. пос. / А.Н. Рахмангулов, С.В. Трофимов, С.Н. Корнилов. - Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 2001. - 191с.
28. Маликов, О.Б. Деловая логистика [Текст] / О.Б. Маликов. – СПб.: Политехника, 2003. – 223 с.
29. Бойко, Н.И. Транспортно-грузовые системы и склады: учеб. пос. / Н.И. Бойко, С.П. Чередниченко. – Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 400 с.
30. Светличная, С. В. Диагностическая модель ИКТ-компетентности учителя / С. В. Светличная // Инновации в непрерывном образовании. – Красноярск: КГПУ, 2012. - № 4. - С. 48–53.
31. Сток, Дж.Р. Стратегическое управление логистикой [Текст] / Дж. Р. Сток, Д.М. Ламберт. Пер. с 4-го англ. изд. - М.: ИНФРА-М, 2005. - 797 с.
32. Семилетов, С.В. Формирование коммуникативной политики в логистических сетях [Электронный ресурс]: автореф. дис ... канд. экон. наук: 08.00.05 / С.В. Семилетов; [Санкт-Петербург. гос. ун-т экономики и финансов]. – Санкт-Петербург, 2001. – 16 с.
33. Форнальчик, Є.Ю. Технічна експлуатація та надійність автомобілів [Текст]: навч. посіб. / Є.Ю. Форнальчик, М.С. Оліксевич, О.Л. Мاستикаш, Р.А. Пельо; за заг.ред. Є.Ю.Форнальчика. – Львів: Афіша, 2004. – 492 с.
34. Туревский, И.С. Экономика отрасли (автомобильный транспорт) [Текст]: учебник / И.С. Туревский. — М.: ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2011. - 288 с.
35. Сергеев, А.Г. Диагностирование электрооборудования автомобилей / А.Г. Сергеев, В.Е. Ютт. – М.: Транспорт, 1987. – 159 с.
36. Юхименко, В.Ф. «Техническая эксплуатация силовых агрегатов и трансмиссий» [Электронный ресурс]: Методическое пособие к курсовому проекту. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2003 – Режим доступа: http://abc.vvsu.ru/Books/tehn_akspl_sil_agreg/page0009.asp

РОЗДІЛ 5. ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА В ЯКОСТІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ НА ТРАНСПОРТІ

5.1 Аналіз використання поновлювальних джерел енергії у якості палива в агропромисловому комплексі

У 1997 році країни ЄС сформували нову стратегію й план дій Європейського Союзу в галузі енергетики, основу на впровадженні відновлювальних джерел енергії під назвою: Біла книга «Енергія майбутнього: відновлювальні джерела енергії» [1], яка передбачала три ключових цілі нової енергетичної політики, включаючи підвищення конкурентоздатності, посилення надійності енергопостачання та впровадження заходів із захисту навколишнього природного середовища.

Основна мета стратегії розвитку відновлювальних джерел енергії полягає в забезпеченні гарантій того, що потреба в просуванні цих видів енергії на ринок буде мати політичну та економічну підтримку та координацію впровадження на всіх рівнях.

У 2000 році було уточнено стратегію Євросоюзу під назвою: «В напрямі європейської стратегії безпеки постачання енергії» (Green Paper Towards a European strategy for the security of energy supply COM(2000) 769 final) (далі – Зелена книга) [2].

Основна ідея запропонованої політики полягала не тільки в тому, щоб досягти енергетичної самодостатності та зменшити залежність від зовнішніх поставок, а насамперед у тому, щоб мінімізувати ризики, пов'язані з такою залежністю. Одним із головних пріоритетів в цьому напрямі Зелена книга вказує диверсифікацію різних джерел енергії, як географічну, так і за видом енергоносія.

Європейська Рада в 2001 році погодила Стратегію Співтовариства щодо сталого розвитку, вказавши на заходи, що мають бути вжиті стосовно біологічного палива:

- для дотримання зобов'язань за Кіотським протоколом ЄС намагатиметься зменшувати викиди газів, що спричиняють парниковий ефект щорічно до 2020 року на 1% від рівня, що існував на 1990 рік;
- вживання заходів щодо зменшення викидів газів, що спричиняють парниковий ефект, які розроблятимуться відповідно до результатів Європейської програми щодо зміни клімату;
- запровадження заходів у сфері підтримки та розвитку альтернативного палива, зокрема біологічного, з метою доведення рівня його споживання транспортними засобами до 7% на 2010 рік та принаймні до 20% на 2020 рік;

Комісія висловила думку, що найпростішим засобом забезпечення широкомасштабного просування біопалива на ринку у довгостроковій перспективі є запровадження обов'язкового додавання певного обсягу біопалива в бензин та дизельне паливо, що реалізується на ринку Співтовариства.

Одним з головних рішень Євросоюзу, було прийняття Директиви 2003/30/ЄС Європейського Парламенту та Ради про сприяння використанню біопалива або інших видів поновлюваного палива для транспорту від 8 травня 2003 року (далі – Директива 2003/30/ЄС) [3]. Згідно директиви ЄС до 2010 р. вміст біопалива в загальному обсязі вмісту нафтопродуктів повинен складати не менш 5%. До 2030 року Європейській союз планує забезпечити 25% своїх потреб у пальному для дорожнього транспорту за рахунок чистих і ефективних видів біопалива.

Збільшення частки біологічного палива на національних ринках та на ринку Співтовариства залежить від доступності ресурсів та сировини, від національної політики та політики Співтовариства, спрямованих на підтримку використання біопалива, та від податкових заходів, а також від належного залучення всіх зацікавлених сторін у процес розробки та обговорення відповідних заходів на національному рівні.

Значним кроком у створенні єдиної системи оподаткування енергоносіїв в Євросоюзі, стала Директива Ради 2003/96/ЄС про реструктуризацію системи Співтовариства щодо оподаткування енергоносіїв та електроенергії від 27 жовтня 2003 року [4] та Директива 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року «Про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел та доповнення та заміну директив 2001/77/ЄС та 2003/30/ЄС» [5]. Директиви були прийняті в рамках пакету документів, що визначають цілі енергетичної політики ЄС до 2020 року.

Закон України «Про альтернативні види палива» від 14.01.2000 №1391-XIV [6], визначає правові, соціальні, економічні, екологічні й організаційні принципи виробництва, видобутку і споживання альтернативних видів рідкого і газового палива на основі залучених нетрадиційних джерел і видів енергетичної сировини і спрямованих на створення необхідних умов для розширення виробництва і споживання цих видів палива, а також стимулювання збільшення частки їх використання до 20% від загального обсягу споживання палива в Україні.

Відповідно до зазначеного Закону про альтернативні види рідкого палива належать: спирти та їх суміші, оливи, інше рідке біологічне паливо, одержане з біологічної сировини, у тому числі з відновлювальних відходів сільського й лісового господарства, інших біологічних відходів.

Указ Президента України «Про заходи щодо розвитку виробництва палива з біологічної сировини» № 1094 від 26.09.2003 [7], був прийнятий з метою зменшення залежності національної економіки від імпорту нафтопродуктів, забезпечення розвитку агропромислового комплексу, поліпшення екологічної ситуації і з урахуванням Директиви 2003/30/ЄС Європейського парламенту і Ради ЄС від 8.05.2003 відносно сприяння використанню біологічних та інших видів палива із відновлювальних ресурсів.

Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництва і використання біологічних видів палива» від 21.05.2009 №1391-VI [8], передбачає стимулювання виробництва та використання біологічних видів палива, сприяє розвитку національного паливного ринку в Україні

на основі залучення біомаси як відновлювальної сировини для виготовлення біологічних видів палива.

В Україні затверджено Енергетичну стратегію держави на період 2030 року [9], згідно якої було прийнято Постанову КМУ від 22 грудня 2006 р. № 1774 «Про затвердження Програми розвитку виробництва біодизельного палива» [10].

Мета Програми полягає в підвищенні рівня екологічної та енергетичної безпеки України, зменшенні залежності національної економіки від імпорту нафтопродуктів, забезпеченні аграрного сектору економіки та транспортної галузі дизельним біопаливом.

Програму спрямовано на розв'язання таких основних завдань:

- 1) створення сировинної бази для виробництва дизельного біопалива;
- 2) створення технічної бази для вирощування, зберігання та переробки ріпаку;
- 3) розроблення нормативних документів (зокрема технічних умов) з питань виробництва та використання дизельного біопалива з подальшою підготовкою відповідних державних стандартів.

У цілому в Україні створено певні законодавчі рамки реалізації політики у сфері використання біологічного палива.

У країнах Європейського союзу біологічне паливо почали виробляти в 1992 році. До кінця першої половини 2008 року в країнах ЄС було побудовано 214 заводів виробництва біопалива загальною потужністю 16 млн. тон в рік [11].

За даними зарубіжних авторів [12] одним з основних джерел сировини для біодизеля в країнах Європейського Союзу є ріпак. Частка альтернативного палива з ріпакової олії становить 57-70%. Іншою сировинною базою є соєва і пальмова олія, яка в основному імпортується в Європу. Частка соєвої і пальмової олії у виробництві біодизеля в країнах ЄС складає 9% і 12%. Іншу частину виробництва біодизеля формують відходи харчової промисловості. Їх частка, за оцінками експертів, становить 2% від загального обсягу випуску біодизеля [13]. Крім цього, в країнах ЄС в якості сировинної бази для виробництва біодизельного палива використовуються олії з соняшнику.

У США станом на жовтень 2014 року потужність виробництва біопалива становить 567 млн. літрів за рік. У середині 2008 року в США працювали 149 заводів загальною потужністю близько 7,669 млрд. літрів на рік. В якості сировини використовується соєва олія і тваринні жири [14; 15].

У США на сьогодні 90% біопалива отримують із соєвої олії а, відповідно, 10% – з інших видів олій, включаючи тваринні жири. Для стимулювання виробництва біопалива з 2005 року введені нові умови оподаткування виробників та реалізаторів біопалива.

У Канаді наприкінці 2014 року працювало 8 заводів загальною потужністю близько 196,5 млн. літрів в рік. Для виробництва біопалива в основному, використовуються такі види сировини: ріпак та канола [16].

В Індонезії та Малайзії сировинною базою є пальмова та кокосова олії [17], в Індії та Південно-Східної Азії – ятрофа [18], Африці – соя та ятрофа, в Хорватії – ріпак, соняшник, відходи харчової промисловості [19]. У Словаччині біопаливо почали виробляти з рослини амарант (*Amarantus L.*) [20].

Проблема біопалива в Італії полягає у відсутності достатньої сировинної бази, наприклад, ріпакової олії. З місцевих рослинних олій – соняшникової та соєвої – виробляється лише 20% всього біопалива, тоді як 70% потреб промисловості забезпечуються імпортом ріпакової та соєвої олій [21].

У Великій Британії нафтове дизельне паливо змішують з соняшниковою олією, яка на 20% дешевша за біопаливо. Одночасно вирішується проблема утилізації 70 млн. літрів рослинних олій харчової промисловості, так звана фритюрна олія [21].

Таким чином, біопаливо як альтернативне паливо широко використовується в США, Канаді, Німеччині, Великій Британії та інших країнах світу. Найбільшого розповсюдження в країнах ЄС серед палив рослинного походження отримало біопаливо, вироблене на основі ріпакової олії.

На сьогоднішній день альтернативні палива з ріпакової олії широко застосовують в чистому (натуральному) виді або як метилові ефіри ріпакової олії (МЕРО). Їх виробляють та використовують у високорозвинутих країнах, хоча проблеми із нафтовим паливом не є для них пріоритетними. Так, у Німеччині для експлуатації дизелів застосовують суміші МЕРО та дизельного палива (ДП), у Франції використовують суміш ДП та 5% МЕРО, в Чехії – ДП та 30% МЕРО.

На сьогодні за об'ємом виробництва біопалива серед країн Європейського союзу (ЄС) першість належить Німеччині – її ринкова частка досягає 4%. У структурі використання первинних видів палива в Німеччині на частку біопалива припадає 3%, рослинних олій – 0,33%, біоетанолу – 0,27%, нафтового ДП – 51,4% та автомобільного бензину – 45% [11].

За прогнозами Міжнародної енергетичної агенції (ІЕА), світове виробництво біопалив зросте з 20 млн. тон енергетичного еквівалента нафти в 2005 році до 92–147 млн. тон в 2030 році. Щорічні темпи приросту виробництва становлять 7–9%. У результаті до 2030 року частка біопалив у загальному об'ємі моторного палива складатиме 4–6% [22; 23].

Палива з рослинних олій характеризують здатність до відносно швидкого біорозкладу. Потрапляючи в природні водні басейни чи ґрунт, вони практично повністю розкладаються протягом декількох тижнів. Крім того, рослинні олії відрізняються від мінеральних дизельних палив незначним вмістом у їхньому складі сірки та поліциклічних ароматичних вуглеводнів [24–26].

На думку провідних вітчизняних вчених [27–30], найбільш перспективними сировинними базами для виробництва біопалива в Україні мають бути ріпак, соняшник та соя. Авторами роботи [31] здійснено техніко-економічну оцінку собівартості виготовлення метилових ефірів із зазначених вище сировинних баз. З роботи слідує, що собівартість біопалива залежить від урожайності культур. При середньої урожайності нижчу собівартість має метиловий ефір рі-

пакової олії (МЕРО), потім за збільшенням, метиловий ефір соняшникової олії (МЕСО) та метиловий ефір соєвої олії (МЕСоО).

З аналізу монографій вітчизняних вчених [32; 33], де наведено основні принципи виробництва дизельного біопалива, метиловий ефір ріпакової олії отримують в результаті прямої етерифікації жирних кислот ріпакової олії з метиловим спиртом (метанолом) при температурі 80–90°C в присутності каталізатора – найчастіше гідроксиду калію. При етерифікації з 1040 кг ріпакової олії та 144 кг метанолу отримують 1 тону метилового ефіру ріпакової олії та близько 200 кг гліцерину. Аналогічну технологію представлено в монографії [34].

Недоліком цієї технології є те, що метанол та гліцерин залишаються в біопаливі після виробництва. Згідно національного стандарту ДСТУ 6081:2009 “Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги”, який відповідає європейському стандарту EN 14214:2003 “Automotive fuels – Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines – Requirements and test methods”, масова частка метанолу, у відсотках не більше ніж 0,2%, а масова частка загального гліцерину, у відсотках не більше ніж 0,25% [35; 36]. Залишковий метанол та гліцерин своєю агресивністю чинить негативний вплив на ущільнювальні матеріали і фільтруючі елементи паливної системи. Тому спостерігається доцільність заміни метилового спирту етиловим, який є харчовим продуктом і не має такої згубної агресивної дії.

Наведені недоліки можна усунути застосувавши нову технологію отримання біопалива, яку наведено в патенті на корисну модель [37]. В якості спирту використовується біоетанол, а саме етиловий спирт. В якості каталізатора використовується алкілбензолсульфо кислота. Така технологія дозволяє, після завершення процесу переетерифікації, відділити біопаливо від суміші спирту й гліцерину шляхом використання ступеневої конденсації, де в першому теплообміннику конденсується гліцерин при температурі 150°C, а в другому етиловий спирт та інші домішки при температурі 78°C. Як наслідок, отримане біопаливо не містить спирту та гліцерину та не буде мати згубної дії на елементи паливної системи дизеля транспортного засобу.

На підставі виконаного аналізу робіт вітчизняних і зарубіжних вчених можна зробити висновок, що розширення паливної бази засобів транспорту можна розділити на три етапи.

Перший етап – це суміш дизельного палива і різних рослинних олій, де вміст олій не перевищує 5-7%.

Другий етап – це застосування метилових ефірів різних рослинних олій і жирів. При цьому, доцільніше застосовувати сумішеві палива, де вміст метилових ефірів в дизельному паливі знаходиться в межах 5-50%.

Третій етап – застосування етилових ефірів різних рослинних олій. Такий напрям сприяє розширенню паливної бази засобів транспорту і, як наслідок, вимагає проведення наукових досліджень з оцінки зміни ефективної потужності дизелів, питомої витрати палива, вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах, надійності елементів паливної системи дизеля. Отримані наукові результати дозволять розробити доповнення до керівництва з експлуатації транспорт-

них засобів з метою забезпечення надійності дизеля на заданому рівні, що власне формує завдання цієї дисертаційної роботи.

Транспортна галузь є найбільшим споживачем моторних палив нафтового походження і разом з цим – штучним джерелом забруднення атмосферного повітря. Негативний екологічний вплив цієї галузі, виявляється у викидах до атмосферного повітря шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигунів [38; 39].

Дотримання жорстких екологічних вимог, що запроваджено в Україні та в інших країнах-учасницях Женевської угоди [40-42], потребує використання моторних палив відповідної якості, без чого реалізація високих екологічних показників неможлива [43-46]. Вимоги до моторних палив стають дедалі жорсткішими. Прикладом цього є Директива 2003/17/ЄС [47], якою доповнено Директиву 98/70/ЄС. За цією Директивою та європейськими стандартами EN 228-2004 на бензині і EN 590-2004 на дизельне паливо в країнах-членах ЄС з 1 січня 2005 припускають виробництво лише малосірчаних бензинів і дизельного палива з вмістом сірки до 50 мг/кг, а з 2009 року – лише безсірчаних палив з вмістом сірки до 10 мг/кг.

Такий перехід вимагає істотної зміни технології очищення нафти від сірки, що пов'язано з модернізацією виробництва та великими фінансовими витратами. Відомо, що біодизель (у країнах ЄС біопаливо для дизелів отримало позначення B) практично не містить сірки. Тому проблему отримання палива з низьким вмістом сірки для дизелів може бути вирішено не очищенням дизельного палива від сірки, а впровадженням палива, що отримується з поновлюваних джерел рослинного походження, сировинні запаси яких практично невичерпні [48].

В останні роки в низці європейських країн зріс інтерес до палив, одержуваних на основі ріпакової олії. Ріпакова олія є високоекологічною сировиною для виробництва біодизеля. Вміст у ріпаковій олії 10-12% кисню (за масою) дозволяє помітно зменшити викиди в атмосферу шкідливих речовин – вуглеводнів C_xH_x та сажі. Зниження температури згоряння при роботі дизеля при застосуванні біодизеля повинно супроводжуватися також зменшенням емісії оксидів азоту NO_x . Ріпакова олія практично не містить сполук сірки, що призводить до відсутності в відпрацьованих газах оксидів, SO_x – сірчистих газів і кислот, які з них утворюються. У ріпаковій олії відсутні і поліциклічні ароматичні вуглеводи, що зазвичай містяться в відпрацьованих газах дизелів і є канцерогенами та викликають ракові захворювання. Всі ці чинники дозволяють істотно покращити екологічні показники дизелів при їхній роботі на сумішевих паливах з ріпакової олії.

У свою чергу біодизель може використовуватися як змащувальна добавка (1...2%) до дизельного палива з низьким вмістом сірки, а суміш 20% біодизеля з 80% дизельного палива (B20) зазвичай служить заміною дизельного палива [49]. На думку авторів низки робіт при відповідній підготовці можна використовувати в двигуні і чистий біодизель (B100).

У цей час B20 – найпоширеніша біодизельна суміш у Сполучених Штатах Америки. Вважається, що вона дозволяє вдало збалансувати вимоги, пов'язані з

особливостями дизельного палива, робочими характеристиками, емісією відпрацьованих газів і вартістю.

Застосування сумішей з більш високим вмістом біодизеля (типу B50 або B100) вимагає спеціальної підготовки системи живлення двигуна, а також вимагати модифікації обладнання, наприклад, застосування спеціальних підігрівачів або заміни ущільнень і прокладок, які контактують з паливом. Загалом вважається, що: B100 забезпечує найбільш високі екологічні характеристики; B20 забезпечує отримання упр'ятеро менших екологічних переваг в порівнянні з B100, але може широко використовуватися на існуючих двигунах при незначній їх модифікації або взагалі без неї, 2% суміш біодизеля з дизельним паливом (B2), забезпечує незначне поліпшення екологічних характеристик, але може використовуватися як корисна добавка.

Приблизно 11% маси B100 складає кисень. Присутність кисню в біодизелі покращує процес згоряння і сприяє зменшенню викидів вуглеводнів, чадного газу і скорочення емісії макрочасток, але при цьому кисневмісні палива мають тенденцію до збільшення емісії оксидів азоту. Результати випробувань, які наведені в роботах [50-53], підтверджують відповідні теоретичні припущення.

Збільшення емісії оксидів азоту при роботі на біодизелі створює достатні причини для занепокоєння, тому Національна лабораторія охорони навколишнього середовища (NREL) в США провела дослідження, пов'язані з пошуком шляхів зменшення емісії оксиду азоту при роботі на біодизелі. Встановлено, що додавання цетанопідвищуючих агентів, таких як "ді-третина-бутил-пероксид" у кількості 1...2% або етил-нітрату в кількості 0,5%, сприяє зменшенню емісії оксидів азоту при згорянні біодизеля. Такий самий ефект дає скорочення ароматики від 31,9 до 25,8% в дизельному паливі. Емісію оксидів азоту в сумішах з біодизелем може бути зменшено шляхом додавання в них гасу [54-56]. Гас, змішаний з 40% біодизеля, забезпечує емісію оксидів азоту не вище, ніж вона буває при роботі на дизельному паливі. Збільшення виділень NO_x у відпрацьованих газах може бути мінімізовано модифікацією двигунів, застосуванням спеціальних добавок до палива або використанням реакторів-допалювачів.

Застосування біодизелю з натуральної рослинної олії замість дизельного палива забезпечує зменшення емісії вуглекислого газу. Це твердження засноване на результатах аналізу роботи двигуна на біодизелі і дизельному паливі протягом його життєвого циклу. За оцінкою NREL, використання біодизеля марки B100 з бобів сої в двигунах міських автобусів зменшує емісію вуглекислого газу на 78,45%.

Крім того, використання палива рослинного походження забезпечує кругообіг вуглекислого газу в атмосфері, оскільки при його спалюванні в двигунах внутрішнього згоряння в атмосферу викидається приблизно стільки вуглекислого газу, скільки поглинається в процесі вирощування сировини для виробництва біодизеля. Це призводить до зменшення викиду в атмосферу парникових газів і запобігання парникового ефекту [50].

Результати досліджень дизеля D-245.12C за 13-ступінчастим випробувальним циклом при роботі дизеля на суміші 80% дизельного палива і 20% ріпакової олії показали помітне поліпшення екологічних показників [57; 58]. Викид

легких вуглеводнів знизився з 1,519 до 0,965 г / (кВт год), тобто на 36,5%, оксидів азоту – з 7,442 до 7,159 г / (кВт год) або на 3,8%. Однак викид монооксиду вуглецю, навпаки, зростає на 9,5% – з 3,482 до 3,814 г / (кВт год).

Певний інтерес викликає питання впливу складу сумішевого біопалива на характеристики дизеля. Його оцінка дозволяє провести оптимізацію складу сумішевого біопалива з метою досягнення найкращих економічних і екологічних показників дизеля. З цією метою проведено дослідження дизеля Д-245.12С на чистому дизельному паливі та сумішевих паливах, що містять від 20% до 60% (за об'ємом) ріпакової олії.

Значення питомих масових викидів токсичних компонентів NO_x , CO , CH_x , під час випробування підтвердили можливість помітного поліпшення екологічних показників дизеля при використанні сумішевих палив. Їх застосування дозволяє знизити викиди найбільш значущих токсичних компонентів відпрацьованих газів дизелів – оксидів азоту NO_x , а також вуглеводнів CH_x . Збільшення вмісту ріпакової олії в сумішевих паливах з 0 до 60% призводить до зниження питомих інтегральних викидів оксидів азоту NO_x з 7,442 до 6,597 г / (кВт год), тобто на 11,4%, і викидів вуглеводнів CH_x з 1,519 до 1,075 г / (кВт год), тобто на 29,2%. Причому мінімум викидів вуглеводнів ($\text{CH}_x=0,949$ г / (кВт год)) відзначений при утриманні ріпакової олії в сумішевих паливах = 40%. Таке зменшення викидів оксидів азоту NO_x і вуглеводнів CH_x обумовлено наявністю в ріпаковій олії близько 12% кисню, який бере участь в окисленні вуглецю і водню, що входять до складу ріпакової олії. В результаті зменшується кількість повітря, необхідного для згорання 1 кг палива, і збільшується сумарний коефіцієнт надлишку повітря. Це, з одного боку, призводить до зменшення максимальних температур згорання і зменшення викидів NO_x , а з іншого боку – до більш повного згорання палива і зниження емісії СН.

У той же час збільшення вмісту ріпакової олії в сумішевих біопаливах з 0% до 60% призводить до зростання питомих викидів монооксиду вуглецю CO з 3,482 до 3,772 г / (кВт·год), тобто на 8,3%. Причому максимум викидів монооксиду вуглецю ($\text{CO}=3,880$ г / (кВт·год)) спостерігався при концентрації ріпакової олії у сумішевих біопаливах до 40%. Таке зростання викидів монооксиду вуглецю CO пояснюється зниженням температур згорання при роботі на сумішевих біопаливах, а також деяким збільшенням годинних витрат цього палива (на 6-10%) і з відповідним збільшенням потужності дизеля.

Встановлені значення питомих масових викидів NO_x , CO , CH_x , дозволили визначити припустимий діапазон зміни концентрації ріпакової олії в сумішевих паливах, що забезпечує виконання цих норм, які дорівнюють 45-60%.

Для оцінки екологічних показників дизеля з розділеною камерою згорання, що працює на ріпаковій олії, проведено випробування дизеля ВА3-341, що встановлюється на легкові автомобілі ВА3-21045 [51]. Дизель з віхрекамерним сумішоутворенням відрізняється невеликими концентраціями у відпрацьованих газах основних нормованих токсичних компонентів, у порівнянні з дизелями з нерозділеною камерою згорання. Менший вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах дизеля ВА3-341 пов'язаний з дефіцитом вільного кисню на першій стадії згорання при $\alpha < 1$, коли відбувається інтенсивне утворення NO_x . Тому, не-

зважаючи на високі температури в додатковій камері згоряння, процес окислення азоту обмежується. У другій стадії згоряння суміші відбувається при надлишку кисню, але при знижених температурах, у порівнянні з дизелями з нерозділеними камерами згоряння. Невисокі концентрації продуктів неповного згоряння (CO, CH, C) в відпрацьованих газах дизеля ВАЗ-341 пов'язані з прискоренням реакцій окиснення частинок палива при підвищеній турбулізації паливоповітряної суміші в обсязі додаткової камери згоряння, де досягається максимальна гомогенність факела, при перетіканні газів в основну камеру згоряння і в обсязі останньої з інтенсивним віхреутворенням. У цілому, емісії основних нормованих токсичних компонентів відпрацьованих газів дизеля ВАЗ-341 в 1,5-3 рази нижче за їхні емісії в дизелях з нерозділеними камерами згоряння на всіх експлуатаційних режимах. Використання ріпакової олії як палива для дизеля ВАЗ-341 дозволяє забезпечити додаткове зниження показників токсичності відпрацьованих газів.

Однак застосування рослинних олій у чистому вигляді як палива обмежене у зв'язку з підвищеним нагароутворенням – відкладенням коксу на розпилювачах форсунок і інших деталях камери згоряння, а також з їх підвищеною в'язкістю в порівнянні із стандартним дизельним паливом. Тому олія застосовується або в суміші з дизельним паливом, або у вигляді метилового ефіру рослинної (зокрема ріпакової) олії (МЕРО).

У роботі [58] наведено дослідження серійного автомобільного дизеля, здійснене фірмою Volkswagen, що працює на метиловому ефірі ріпакової олії. Чотирьохциліндровий віхрекамерний дизель без наддуву потужністю 40 кВт послідовно працював на дизельному паливі і на метиловому ефірі. Дослідження показали, що при роботі дизеля на стенді за тестом ECE і його переведенні з дизельного палива на ефір ріпакової олії викиди монооксиду вуглецю знизилися на 20,6%, вуглеводнів на 54,8%, а оксидів азоту зросли на 17,6%.

При дослідженні цього дизеля на МЕРО відзначено зниження димності на режимах з повним навантаженням на 2 одиниці за шкалою Bosch у всьому діапазоні швидкісних режимів роботи дизеля, а на часткових навантаженнях – на 0,5-1 одиницю в порівнянні з роботою на дизельному паливі.

Знижується при цьому і емісія поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ). Так, у досліджуваному дизелі, що працював на режимах прийнятого в США циклу FTP 75 на ефірі ріпакової олії, емісія ПАВ в 2 рази менше, ніж під час роботи на дизельному паливі. При роботі на МЕРО збільшується і емісія альдегідів.

У роботі [59] представлено результати моторних випробувань високооборотного дизеля повітряного охолодження на МЕРО і його сумішах з дизельним паливом, в яких підтверджується можливість значного поліпшення показників токсичності (у першу чергу продуктів неповного згоряння палива – CO, CH, тверді частинки) при використанні в якості палива метилових ефірів ріпакової олії.

Експериментальні дослідження дизеля СМД-31 на метиловому ефірі ріпакової олії (В100) [52] дозволили оцінити показники паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів. У результаті досліджень виявлено істотне

зниження викиду твердих частинок та димності відпрацьованих газів. При цьому зміна концентрації оксиду азоту, оксиду вуглецю та сумарних вуглеводнів неоднозначна.

У науковій праці [53] з ростом вмісту метилових ефірів ріпакової олії в сумішевих паливах до 20% спостерігається зниження питомих масових викидів оксидів азоту на 10,2%, а з збільшенням МЕРО до 50% відзначено зростання викидів оксиду азоту, що перевищують ці викиди при роботі на нафтовому дизельному паливі. Зі збільшенням вмісту МЕРО в сумішевому паливі відзначено зменшення вмісту вуглеводнів у відпрацьованих газах на 1,8-8,3% по відношенню до роботи на нафтовому дизельному паливі, зменшення викидів СО у відпрацьованих газах до 18-20%, зниження димності до 35%.

Звернення до останніх публікацій показує неоднозначність в пріоритеті використання того або іншого типу рослинної олії як сировини для альтернативного виду палива і отже різнобічність отримуваних результатів. Так, в дослідженнях Звонова В.О., Козлова А.В., Теренченка О.С. [60] проведено випробування біодизельних палив з соєвої і соняшникової олії, а також сумішей цих палив і рослинних олій з дизельним паливом. Встановлено, що при роботі дизеля на суміші соняшникової олії і дизельного палива в пропорції 30:70 спостерігається збільшення температури відпрацьованих газів на 260°C і підвищення концентрації NO_x на 16%. Відзначено зниження димності і підвищення нагаротворення в камері згоряння і на розпилювачі. При роботі двигуна на біодизельному паливі з соєвої і соняшникової олії спостерігається зменшення викидів СО на 41% і 32%, СН_x на 86% і 75% і зростання концентрації NO_x на 21% і 10%.

В роботі Єфанова О.О. [61] використання чистої ріпакової олії, як палива для дизеля, приводить до підвищення питомої ефективної витрати палива на 10...25%, зниження викидів СО і NO_x на 70% і 10%.

Одержані І.В. Парсадановим при дослідженні дизеля на метиловому ефірі ріпакової олії результати [52] зводяться до зниження димності на 8...11% і масового викиду твердих частин на 42%, збільшенню витрати палива до 10%. Концентрація викидів СО і NO_x змінюється незначно.

В роботі Фокіна Р.В. [53] використання суміші дизельного палива і метилових ефірів ріпакової олії у відношенні 80:20 приводить до збільшення годинної витрати палива на 1,9...4,2%, зменшенню змісту СН_x на 1,8...8,3% і СО на 18...20%, зниженню димності до 35%.

У дослідженні [62] наведено результати стендових випробувань дизеля Д-248 при використанні біодизеля та сумішевих видів палив з дизельним паливом (ДП). Випробування показали, що при застосуванні біодизеля та сумішевих видів палива В20; В40; В60 і В100 питома витрата палива відповідна склала: 241; 243; 255 і 271 г/(кВт год), проти 230 г/(кВт год) при роботі на ДП, що на 3,5%; 6,5%; 11,3% і 17,8% більше, ніж питома витрата дизельного палива. Годинна витрата палива відповідна склала: 10,4; 10,6; 11,0 і 11,8 кг/год проти 10 кг/год при роботі на ДП.

Авторами роботи [63] наведено дослідження роботи дизеля ЯМЗ-248 М2, яки показали, що при застосуванні біодизеля питома витрата палива підвищується у середньому на 28%. Зростання витрати палива автори

пов'язують з нижчою теплотворною здатністю біодизеля, а також з відмінностями його густини та кінематичної в'язкості.

У науковому дослідженні [64] наведено характеристики робочого процесу середньооборотного дизеля при використанні біодизеля та його сумішей. Авторами показано, що при застосуванні біодизеля відбувається зниження середнього індикаторного тиску на 5-11%, а також відбувається зниження тиску згоряння палива на 1,5%. Внаслідок цього при роботі на біодизелі та його сумішах спостерігається збільшення годинної витрати палива понад 17,5%. Також авторами відзначено, що при впорскуванні біодизеля відбувається зменшення кута випередження впорскування палива на 1,2 град.

У роботах закордонних авторів [65; 66] встановлено зниження максимального тиску згоряння при використанні біодизеля на основі пальмової олії та вторинних відходів рослинних олій. Приведені результати випробування дизеля при різних навантаженнях показали, що тепловий коефіцієнт корисної дії знижується на 1-1,85% при одночасному збільшенні годинної витрати палива. Також авторами відзначено високу в'язкість біодизеля, яка призводить до збільшення періоду затримки самозаймання, внаслідок чого відбувається зниження ефективного тиску згоряння, що призводить до збільшення витрати палива при однаковій потужності у порівнянні з ДП.

За результатами досліджень в роботі [67] рекомендовано застосовувати суміш 70% ДП та 30% МЕРО. Згідно досліджень, які наведено в [62], оптимальна для використання є суміш 80% ДП та 20% МЕРО. Годинна витрата палива дизелем при використанні зазначених вище сумішевих палив, не перевищує 2-4% в порівнянні з ДП.

У роботі [68] при використанні суміші 80% ДП та 20% МЕРО відзначено зменшення вмісту CH_x на величину від 1,8 до 8,3% та CO на величину від 18 до 20%. При цьому знижується димність до 35% та збільшується годинна витрата палива на величину від 1,9 до 4,2%.

Авторами роботи [69] зазначено, що за рахунок меншого стискання та більшої кінематичної в'язкості, при впорскуванні біодизеля в камеру згоряння, в порівнянні з ДП, спостерігається збільшення максимального тиску в системі паливоподачі. Також зазначено, що більша сила поверхневого натягу та кінематична в'язкість призводять до меншого кута конуса розпилення палива, збільшення далекобійності факела та пізнішого розпадання факела на краплі, що призводить до погіршення сумішоутворення та згоряння палива. Виконані дослідження [67; 70] характеристик впорскування біодизеля в камеру з постійним тиском виявили зменшення кута конуса розпилення та збільшення далекобійності факела впорскування палива.

До важливих експлуатаційних параметрів роботи дизеля відносять значення його екологічних показників, які залежать від типу біодизеля та його вмісту в ДП. При використанні біодизеля [71] зафіксовано значне зменшення шкідливих речовин у відпрацьованих газах: CO на 30-40%, а також зареєстровано як збільшення, так і зменшення вмісту NO_x , у залежності від зміни обертів та навантаження двигуна. Результати дослідження [72]

виявили, що для дизеля з вихровою камерою (передкамерою) і безпосереднім упорскуванням характерно зниження показників CO на 12%, C_nH_m на 35%, твердих частинок на 24% та незначне збільшення NO_x . При використанні біодизеля на основі соєвої олії [60] відбувається зменшення викидів CO на 41%, C_nH_m на 86%, а також зростання концентрації NO_x на 21%.

При використанні біодизеля на основі соняшникової олії викидів CO зменшуються на 31%, C_nH_m на 75%, а також на 10% зростає концентрація NO_x .

Зарубіжними науковцями [73] встановлено, що при використанні біодизеля, в порівнянні з дизельним паливом, спостерігається зменшення часу затримки запалювання та відбувається зменшення показників вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах, за винятком NO_x , та збільшуються витрати палива.

Аналіз виконаних робіт, присвячених застосуванню біодизеля, отриманого з різної сировинної бази та різного відсоткового вмісту в дизельному паливі, дозволяє зробити висновки, що за рахунок відмінностей фізико-механічних властивостей відбувається погіршення процесу впорскування палива, сумішоутворення та його згоряння. Про зниження ефективності згоряння біодизеля, у порівнянні з дизельним паливом, свідчить збільшення витрати біодизеля та зниження ефективної потужності дизеля. Відсоток збільшення витрати біодизеля та зниження ефективної потужності дизеля залежить від складу суміші та типу сировини, з якої отримано біодизель. При цьому спостерігається зниження показників шкідливих речовин у відпрацьованих газах, що є позитивним.

Таким чином, можна зазначити, що використання біодизеля на базі етилових ефірів ріпакової, соняшникової та соєвої олії, як перспективного палива для експлуатації засобів транспорту, вимагає проведення наукових досліджень, які будуть пов'язані з визначенням зміни ефективної потужності та питомої витрати палива дизелем, визначенням зниження об'єму викидів забруднюючих речовин у повітря та рішенням оптимізаційної задачі з обґрунтування складу сумішевих палив для зимового та літнього періодів експлуатації. Перераховані проблемні питання є завданнями цієї дисертаційної роботи.

Дослідження з використання рослинних олій та палив на їх основі проводяться найбільшими двигунобудівними фірмами Allis Chalmers, Caterpillar, Cummins, General Motors, John Deere, Harvester (США), Perkins, Ricardo (Великобританія), Mercedes-Benz, Daimler-Benz, Deutz, Volkswagen, MAN, Hatz Diesel, Henkelhausen, Porsche (Німеччина), Volvo (Швеція), Isuzu, Toyota, Komatsu (Японія) [74–79].

Аналіз літературних джерел показує, що такі дослідження проводяться в МДТУ ім. М.Е. Баумана та МДАУ ім. В.П. Горячкіна [25; 34; 57], у Російському університеті дружби народів (РУДН) [80–85], у ВІМ [86–88], у НПП «Агродизель» [89], у НТУ «Харківський політехнічний інститут» [90–94], у Клайпедському університеті [95].

Рослинні олії відрізняються підвищеною кінематичною в'язкістю, що перевищує на порядок кінематичну в'язкість стандартних дизельних палив. За но-

рмальних атмосферних умов кінематична в'язкість ДП (Л) ($\nu=3,5\text{--}4\text{ мм}^2/\text{с}$) на рівень нижче кінематичної в'язкості ріпакової олії. Так, при $t=20^\circ\text{C}$ в'язкість ріпакової олії становить $\nu=75\text{ мм}^2/\text{с}$ [96]. Разом з тим, за більш високих температур, характерних для систем паливоподачі дизелів транспортних засобів (при температурі навколишнього середовища $t=20^\circ\text{C}$ температура палива в системі паливоподачі становить $t=40\text{--}60^\circ\text{C}$ [34; 57]), в'язкість ріпакової олії різко знижується і при $t=40^\circ\text{C}$ становить приблизно $\nu=37\text{ мм}^2/\text{с}$.

При виробництві ефірів рослинних олій їх етерифікацією з молекул ацилгліцеридів видаляються залишки гліцерину, що зумовлює зниження кінематичної в'язкості палив, які отримують. Зокрема, при температурі $t=20^\circ\text{C}$ кінематична в'язкість МЕРО приблизно складає $\nu=10\text{ мм}^2/\text{с}$ [34; 57]. Це суттєво нижче, ніж кінематична в'язкість рослинних олій, але вдвічі вище, ніж кінематична в'язкість нафтових дизельних палив.

Підвищена кінематична в'язкість біодизеля та сумішевих палив на основі біодизеля, спонукає до проведення дослідницьких робіт щодо адаптації дизелів при живленні вище перерахованими паливами [97–100].

Але такий підхід до вирішення цього питання потребує внесення суттєвих змін до конструкції та регулювання елементів системи паливоподачі дизелів, що для дизелів, які знаходяться в експлуатації, є неприпустимим.

Зарубіжні науковці [101–107] зазначають, що вищі показники кінематичної в'язкості та густини біодизеля, в порівнянні з дизельним паливом, спричиняють збільшення середнього діаметру краплин палива, що впорскується, зростання довжини та зменшення кута розпилення факела палива, що впорскується, і це призводить до порушення сумішоутворення та зменшення повноти згоряння, а також спричиняє труднощі при фільтруванні через фільтри тонкої очистки.

На думку авторів праць [108–113], найбільш ефективним способом підвищення експлуатаційних показників дизеля є забезпечення зменшення кінематичної в'язкості біодизеля за рахунок застосування попереднього підігріву. Наведені публікації ілюструють стендові дослідження впливу попереднього нагріву біодизеля до температур 30°C , 60°C , 90°C та 120°C на експлуатаційні характеристики роботи дизеля. Показано, що при нагріві до 90°C відбувається зменшення годинної витрати палива та покращення екологічних показників дизеля. Нагрів до 120°C призводить до збільшення витрати палива дизелем. Однак автори наведених робіт не наводять дані про зниження ефективної потужності дизеля при застосуванні нагріву. На наш погляд, попередній нагрів біодизеля призведе до значного зниження потужності і не є раціональним шляхом вирішення проблеми. Найбільш перспективним є шлях оптимізації сумішевого складу, наприклад, вміст метилових або етилових ефірів рослинних олій в дизельному паливі для літнього та зимового періодів експлуатації.

За останні роки проведено численні дослідження дизелів, що працюють на біодизелі та сумішевих паливах. Закордонними та вітчизняними вченими досліджено особливості експлуатації дизелів при використанні палив, які отримано із наступної сировини: соєва [114; 115], ріпакова [116; 117], гірчична [118; 119], соняшникова [115; 120; 121], арахісова [121–123], пальмова (кокосова)

[114; 115], оливкова [120; 124], кукурудзяна [125; 126], бавовняна [124]. У країнах ЄС привабливим видається застосування олій, вже використаних для приготування їжі [127; 128].

Дослідження характеристик дизелів автотракторного призначення, що працюють на оліях та їхніх сумішах з дизельним паливом, проведені фірмою John Deere (США) [121; 122]. Випробування проводилися на одноциліндровому дизелі без наддуву.

У результаті проведених досліджень двигуна John Deere відзначено, що після декількох годин роботи двигуна на оліях на паливному фільтрі утворюються смолисті відкладення та гліцерин, що пояснюється недостатньою очисткою рослинних олій при їхньому виробництві. Найбільші смолисті відкладення на паливному фільтрі зареєстровано при експлуатації дизеля на олії та сумішах олії з дизельним паливом. Підігрів соняшnikової олії до 70-90°C перед її подачею до паливної системи значно знизив ці відкладення. Смолисті відкладення спостерігалися і на розпилувачі форсунок з боку, зверненого до камери згоряння. Максимальні відкладення на розпилувачі мали місце при експлуатації дизельного двигуна також на арахісовій олії та її суміші з дизельним паливом.

Слід зазначити, що на сучасному етапі розвитку двигунобудування запропоновано заходи, що дозволяють значно знизити коксування деталей камер згоряння і розпилувачів форсунок під час роботи дизелів на біодизелі. До цих заходів належать очищення олії від небажаних компонентів, підігрів паливної суміші, додавання присадок у паливо. В дослідженні [129] описано стендові випробування дизеля моделі 4331 фірми Allis Chalmers (США) на рослинних оліях з додаванням миючих присадок. Було досліджено чотиритактний чотирьохциліндровий дизель з розділеною камерою згоряння, з турбонаддувом і охолодженням наддувного повітря. Випробування проводилися на суміші 25% соняшnikової олії і 75% дизельного палива. Дослідження показали, що безпопільна очищувальна полімерна присадка Lubrizol 552, що додається в кількості 0,03%, забезпечувала очищення голки розпилувача, не викликаючи утворення помітних відкладень у соплових каналах ззовні розпилувача. При цьому показники дизеля залишалися стабільними, не відзначено надлишкових відкладень у зоні поршневого кілець і на поверхні гільзи циліндра. Порушень в роботі підшипників, ущільнень впускного і випускного клапанів, погіршення якості мастила так само не спостерігалось.

У МДТУ ім. М.Е. Баумана проведено дослідження можливості роботи дизеля з камерою згоряння типу ЦНДІ на сумішах ріпакової олії та дизельного палива. Метою досліджень була оцінка характеристик дизеля при його роботі на сумішевих біопаливах різного складу [25; 56; 130; 131]. Авторами праць встановлено, що під час роботи дизелів на чистій ріпаковій олії через 100-200 годин роботи може спостерігатися підвищена кількість вуглецевих відкладень на поверхнях деталей камери згоряння і закоксування соплових отворів розпилувачів форсунок. Обумовлено даний факт підвищеним вмістом у ріпаковій олії смолистих речовин, а також підвищеною, порівняно з дизельним паливом, коксівністю (0,4% у ріпакової олії проти 0,2% у дизельного палива). Однак гранична коксівність дизельного палива відповідно до ГОСТ 305-82 становить

0,3%, що дозволяє використовувати суміші дизельного палива і ріпакової олії, задовольняючи вимоги ГОСТ 305-82 за цим показником.

При проведенні експериментальних досліджень дизеля в зимовий період часу спостерігався утруднений пуск двигуна при його роботі на суміші 40% дизельного палива і 60% ріпакової олії. Для полегшення пуску двигуна в цих умовах було використано підігрів сумішевого палива під час пуску двигуна. При подальшій роботі двигуна підігрів палива був непотрібен [57].

Проведений аналіз літературних джерел вітчизняних та зарубіжних науковців дозволяє зробити висновок, що однією з основних проблем забезпечення роботи дизелів на біодизелі та сумішевих паливах є відкладення коксу на розпилювачі форсунки, зумовлене підвищеною коксивністю біодизеля із-за значного вмісту в ньому смолистих речовин. Тому при розширенні паливної бази засобів транспорту необхідно проведення наукових досліджень, які спрямовано на розробку заходів щодо уникнення цих негативних явищ та розробку доповнень до керівництва з експлуатації засобів транспорту зі скорочення строків проведення технічного обслуговування розпилювачів форсунок.

Фірма Porsche провела дослідження з використання метилового ефіру ріпакової олії в якості альтернативного палива для автотракторних і стаціонарних дизелів [51]. Досліджувалися дизелі з розділеними і нерозділеними камерами згоряння, з турбонаддувом і охолодженням наддувного повітря, а також без наддуву. Експерименти показали, що при роботі двигунів на МЕРО на режимах зовнішньої швидкісної характеристики ефективна потужність і крутний момент знижуються незначно в порівнянні з роботою на дизельному паливі. Проблем підвищеного зношування деталей двигуна, а також підвищених відкладень вуглецевих сполук на деталях камери згоряння при роботі двигунів на МЕРО, не відзначено. Серед недоліків МЕРО фіксується втрата його текучості при температурі нижче -5°C .

Досвід літньої експлуатації дизельних двигунів на сумішевих видах палива, 30% метилових ефірів жирних кислот ріпакової олії та 70% дизельного палива [71], дозволив встановити явища, які пов'язані з погіршенням процесу фільтрування палива через фільтри тонкої очистки та зниження строку експлуатації паперових фільтрів тонкої очистки. За висновками авторів, строки заміни фільтрів на тракторах ХТЗ, МТЗ та вантажних автомобілях КамАЗ, було скорочено в 2...3 рази.

Таке явище вимагає ретельних досліджень і пояснень, які повинні супроводжуватись розробкою доповнень до керівництва з експлуатації дизельних двигунів транспортних засобів, що переведені на живлення біодизелем. Пов'язане це з тим, що згідно з ДСТУ 6081:2009 [35], який відповідає європейському стандарту EN 14214:2003 [36], між показниками біодизеля та нафтового дизельного палива (ДСТУ 3868-99), існують такі розбіжності.

1. Кінематична в'язкість біодизеля більш ніж удвічі перевищує в'язкість нафтового дизельного палива.
2. Масова частка води згідно ДСТУ 3868-99 для дизельного палива відсутня, для біодизеля не більш 500 мг/кг, або не більше 0,05%. Пов'язано це з

тим, що в процесі реакції жирних кислот з спиртами виділяється вода, яка вилучається в ході процесу різними методами хімічних технологій.

Згідно ДСТУ 3868-99 вміст механічних домішок в паливі не припускається. Для біодизеля цей показник не повинен перевищувати 24 мг/кг. Пов'язано це з тим, що до механічних домішок при виробництві біодизеля відносяться частка не жирових домішок, яка залежить від того, наявна перегонка ефірів чи відсутня, а також наявністю воску та воскоподібних речовин, які містяться в оліях, з яких виготовляється біодизель.

У біодизелі, згідно стандарту ДСТУ 6081:2009, загальний гліцерин не повинен перевищувати 0,25%, а масова частка лужних металів – не більш 5 мг/кг.

Як слідує з перерахованих чотирьох пунктів, біодизель, який відповідає європейському стандарту EN 14214:2003 та національному стандарту ДСТУ 6081:2009, має в своєму складі вологу, воскоподібні речовини, нежирові домішки.

Перераховані “забруднюючі” речовини та підвищена в'язкість сприяє ускладненню процесу фільтрування палива через паперові фільтри тонкої очистки дизельних двигунів. На це було акцентовано увагу російських [60] та американських науковців [132].

З аналізу літературних джерел [133] слідує, що здатність палива до фільтрування оцінюється коефіцієнтом фільтрування K . Цей коефіцієнт визначається згідно ГОСТ 19006 [134] і є відношенням часу фільтрації t_2 в секундах останніх 2 см^3 палива до часу фільтрації перших 2 см^3 палива.

З роботи [133] слідує, що при збільшенні K до значення 6 термін служби паперових фільтрів тонкої очистки необхідно зменшити втричі. На основі отриманих значень K та залежностей, які наведено в дослідженні [71], можна стверджувати, що строк експлуатації фільтрів при використанні 100% МЕРО необхідно зменшити в 10 разів (до 100 мотогодин) при використанні В30 та В10 – в 5 разів (до 200...250 мотогодин).

Автори наведеної праці [71] роблять висновок, що причиною таких високих значень коефіцієнта фільтрації є наявність у МЕРО фосфоліпідів, воскоподібних речовин, мила, гліцерину.

Отриманні данні повністю збігаються з даними статті російських дослідників [60], де наведено фотографії відкладень мила на деталях паливного фільтра.

Авторами публікації [135] було проведено дослідження особливостей фільтрації біодизеля та сумішевих видів палива (МЕРО + дизельне паливо) через паперові фільтри тонкої очистки, де було виявлено труднощі в фільтрації сумішевого палива, які призводять до скорочення терміну використання фільтрів тонкої очистки. Згідно вимогам експлуатації для зниження коефіцієнтів фільтрації (збільшення терміну заміни фільтрів) та підвищення працездатності фільтруючих елементів було розроблено і запропоновано відповідні заходи.

Роботи російських науковців [53; 136; 137], українських дослідників [52; 63; 138] та дослідників з Молдови Г.Дука, А.Крачун, дані яких наведені на сайтах в Інтернеті, дозволяють зробити висновки про неоднозначний вплив перерахованих відмінностей на ресурс та надійність паливної апаратури дизелів, зо-

крема плунжерних пар насосів високого тиску та розпилювачів форсунок. У зв'язку з тим, що в'язкість біодизеля майже вдвічі вище, ніж у дизельного палива, та враховуючи те, що в складі біодизеля є фосфоліпіди та воскоподібні речовини, процес зношування плунжерних пар насосів високого тиску буде інший, що вплине на ресурс паливних насосів високого тиску. Тому проведення порівняльних лабораторних і стендових випробувань на зносостійкість та надійність плунжерних пар паливних насосів високого тиску при розширенні паливної бази для експлуатації засобів транспорту з розробленням практичних рекомендацій є актуальним завданням.

Важливим питанням під час експлуатації транспортних засобів на біодизелі та сумішевих паливах є вплив продуктів згоряння палива на моторну оливу. Тип моторної оливи, що визначає в'язкість та групу експлуатації, призначається виробником двигуна та відображається в керівництві з експлуатації на двигун. Так, для двигунів: Д-242, 243, Д-245, ЯМЗ-236, ЯМЗ-238 та КамАЗ-740 визначена моторна олива М-10Г₂к (згідно міжнародної класифікації SAE 30, API CC), для якої встановлені строки заміни – ТО-2, що відповідає напрацювання в 500 мотогодин, або 16 тис.км. пробігу.

В основу визначення строків заміни покладена не тільки якість оливи, але також якість палива, що використовується під час експлуатації.

У свою чергу виробник двигуна орієнтується на дизельне паливо з масовим вмістом сірки не більше 0,2%. При використанні дизельного палива з вмістом сірки більш 0,2%, строки заміни моторної оливи необхідно скоротити вдвічі, тобто до 250 мотогодин, або 8 тис.км. пробігу. Пояснюється це тим, що сірка під час згоряння в двигуні утворює сірчасті з'єднання, які викликають корозію гільз циліндрів та поршневих кілець. В результаті до механічного зношування додається корозійне, що значно скорочує ресурс циліндро-поршневої групи дизеля. Для нейтралізації сірчастих з'єднань на деталях циліндро-поршневої групи в моторну оливу додається лужна присадка, вміст якої не повинен бути менше за 7,5 мг КОН на 1 г оливи в разі застосування дизельного палива з вмістом сірки до 0,2 %. Якщо вміст сірки перевищує значення 0,2%, то для експлуатації з напрацюванням в 500 мотогодин необхідно обирати оливу з вмістом лужної присадки до 9 мг КОН на 1 г оливи, або скоротити строки заміни оливи вдвічі. В цьому і полягає основна різниця між моторними оливами для бензинових та дизельних двигунів.

Чисельні дослідження показали [139-144], що при збільшенні вмісту сірки в паливі з 0,2% до 0,5% (згідно ГОСТ 305-82 вміст 0,5% є гранично припустимим рівнем), знос двигуна збільшується приблизно на 25%. Згідно ДСТУ 6081:2009, вміст сірки в біодизелі не повинен перевищувати 0,001%, що дає підставу стверджувати про її практичну відсутність. При застосуванні біодизеля або сумішевих видів палива вміст сірки знизиться, що дозволить скорегувати строки заміни моторних оливи у бік збільшення, оскільки дослідженнями [139, 140] встановлено, що в першу чергу у моторній оливі для дизелів спрацьовується лужна присадка, яка спостерігається у зниженні лужного числа. Заміна оливи стає необхідна, коли лужне число зменшиться на 30...40% [142] від початкової величини.

З аналізу інформації американської корпорації “Lubrizol” [139] інтервали заміни моторних олив групи експлуатації по API CG-4 становлять близько 32000 км пробігу вантажних автомобілів, що еквівалентно 1000 мотогодин на працювання за умов малосірчастого палива (до 0,05%).

При збільшенні вмісту сірки в паливі (більш 0,2%) середній пробіг до заміни, згідно [139], становить 8000 км (250 мотогодин).

Частина палива, що не згоряє, стікає по циліндру в картер, таким чином розріджуючи оливу. При використанні МЕРО в окремих випадках спостерігалося загущення моторних олив [145]. Загущення моторних олив призводить до значного збільшення кількості шламів, смолистих відкладень і нерозчинних речовин в оливі, осідання на внутрішніх поверхнях елементів двигуна. Це призводить до збільшення в'язкості моторної оливи, підвищення температурного режиму двигуна, підвищення опору прокачування оливи та погіршенню змащування пар тертя. У випадку підвищення температури елементів двигуна до 120°C відбувається утворення високотемпературних шламів, а низька ефективність при цих температурах диспергувальних присадок, що містить моторна олива, сприяє швидкому утворенню агломератів [145].

Про неоднозначний вплив біодизеля на моторні оливи відзначається в роботах зарубіжних учених [146; 147]. Польськими та швейцарськими вченими виконано спільні дослідження роботи дизеля на сумішевих складах з ріпакового метилового ефіру і мінерального дизельного палива. Проведено ресурсні випробування на сумішевих складах В7, В20, В30 і В100. Встановлено, що підвищення частки метилових ефірів у сумішевих складах сприяє інтенсифікації окислення моторної оливи і скорочення його терміну експлуатації, що негативно позначається на ресурсі деталей циліндро-поршневої групи.

Трибологічні властивості моторної оливи з відсотковим вмістом у ній біодизельного палива досліджувалися американськими вченими [148]. У ході випробувань у моторну оливу SAE 15W-40 додавалося дизельне паливо і метилові ефіри ріпакової, арахісової, соєвої олії і курячого жиру в процентному складі 5%, 10%, 20% і 30%.

Результати випробувань показали, що наявність у моторній оливі біологічного і мінерального палива знижує його ефективність і підвищує знос деталей. Істотних відмінностей щодо впливу на оливу між двома видами палива не виявлено.

Тайськими вченими [149] проведено порівняльні дослідження, спрямовані на вивчення зміни фізико-хімічних властивостей моторної оливи при потраплянні в неї біологічного і мінерального палива.

В якості біологічного палива бралися метилові ефіри пальмової олії, олія ятрофи і курячий жир.

В якості досліджуваних зразків використовувалася моторна олива з відсотковим вмістом (5%, 10%, 15% і 20%) в ній зазначених палив.

Результати показали, що зі збільшенням відсоткового вмісту в оливі біопалива спостерігається зниження її в'язкості. В порівнянні з дизельним паливом, в'язкість оливи з біодизелем мала менше значення при рівних частках палива.

Співробітниками Індійського технологічного інституту [150] проведено порівняльні ресурсні випробування двох однакових дизельних двигунів при їх роботі на дизельному паливі і сумішевому складі В20. В якості біодизеля використовувалися метилові ефіри льняної олії.

Регулярно, через кожні 128 годин напрацювання, бралися проби моторної оливи для визначення їх трибологічних характеристик.

Після закінчення випробувань відзначено перевагу біодизеля за такими параметрами:

1. Кількість продуктів зносу і їх розмір в моторній оливі двигуна, що працює на метилових ефірах, є значно нижчою, ніж при роботі на дизельному паливі. Пояснюється цей факт тим, що біодизель превалює за змащувальними характеристиками перед дизельним паливом.

2. Зміст зольних елементів у моторній оливі на біодизелі менше за рахунок зниження димності відпрацьованих газів.

5. Зниження в'язкості моторної оливи на біодизелі незначно менше, ніж на дизельному паливі.

Аналогічні результати наведено в роботі [151].

Латвійським сільськогосподарським університетом [152] відзначався вплив біодизеля в сумішевому складі на роботу плунжерних пар насосів високого тиску (ПНВТ). Оскільки латвійським законодавством передбачено використання до 10% ефірів в загальній суміші, то випробування проводили на сумішевих складах В5, В7, В10.

У результаті встановлено, що порушень у роботі ПНВТ після використання сумішевого складу В10 з подальшим 6-місячним простоем насоса не виявлено. Зі збільшенням процентного вмісту біодизеля сила для переміщення плунжера збільшувалася, однак сила пружності пружини таке зусилля долала з запасом.

Найявна на сьогодні вкрай суперечлива інформація про результати впливу типу біодизеля та його сумішей на експлуатаційні властивості дизелів транспортних засобів, особливостей їх експлуатації, значною мірою гальмує перехід до практичного впровадження альтернативних палив для експлуатації засобів транспорту. Необхідне проведення комплексних експериментальних досліджень для вирішення проблемних питань щодо використання біодизеля, який буде отримано на базі етилових ефірів ріпакової, соняшникової та соєвої олії.

Тому важливим завданням є визначення техніко-експлуатаційних показників дизелів засобів транспорту, особливостей їхньої експлуатації при застосуванні біодизеля та сумішевих видів палива, коригування строків проведення технічного обслуговування паливної апаратури та заміни моторних оливи.

5.2 Теоретичні дослідження надійності паливної системи дизелів засобів транспорту при розширенні паливної бази

В процесі аналізу робіт з розширення паливної бази засобів транспорту актуальним є питання про зміну показників надійності елементів паливної системи дизелів та паливної системи в цілому в процесі експлуатації. Теоретична

оцінка ймовірності відмови кожного з елементів, що входять до паливної системи, а також оцінка ймовірності безвідмовної роботи системи дозволить обґрунтувати терміни проведення технічного обслуговування або ремонту, що підвищить ефективність використання транспортних засобів.

При розширенні паливної бази засобів транспорту вибирається концепція про можливість експлуатації на всіх можливих видах палива одночасно. Отже, перехід з традиційного нафтового дизельного палива (ДСТУ 7688:2015 “Паливо дизельне Євро. Технічні умови”) на біодизель у вигляді метилових ефірів жирних кислот рослинних олій і жирів (ДСТУ 6081: 2009 “Паливо моторне. Ефірі метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги”), а також на новий перспективний вид біодизеля - етилові ефіри жирних кислот рослинних олій і жирів, отримання яких запатентовано автором даної роботи [37], не повинен викликати зниження надійності елементів паливної системи в цілому. Національний стандарт ДСТУ 6081:2009 відповідає в частині класифікації (таблиця 1, таблиця 2) та частині загальних технічних вимог до біодизельного палива (таблиця 3) європейському стандарту EN 14214:2003 Automotive fuels — Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines — Requirements and test methods (Палива для двигунів внутрішнього згоряння. Метилові ефіри жирних кислот. Технічні вимоги та методи випробовування).

Паливну систему дизеля транспортного засобу можна представити у вигляді деякої системи, що складається з ряду послідовно з’єднаних функціональних елементів. До таких елементів, які виконують певні функції відносяться: паливний бак, трубопроводи, фільтр грубої очистки (фільтр-відстійник), насос підкачки, що підкачує насос, фільтр тонкої очистки, плунжерні пари паливного насоса високого тиску або насос-форсунки, розпилювачі форсунок.

Надійність роботи паливної системи залежить від надійності кожного з елементів системи, яку можна оцінити через ймовірність відмови, а також спосіб з’єднання елементів між собою, яку можна оцінити як ймовірність безвідмовної роботи системи в цілому. При цьому відмова будь-якого елемента системи веде до відмови паливної системи в цілому і припинення експлуатації транспортного засобу. Кожен з елементів паливної системи може знаходитися в двох фіксованих станах: робочому або не робочому, що знаходиться в стані ремонту.

Таким чином перехід паливної системи дизеля транспортного засобу з справного (робочого) стану в несправне (що вимагає ремонту), може розглядатися у вигляді процесу з фіксованими дискретними положеннями і безперервним часом переходів, які можна розглядати як час експлуатації.

При цьому заздалегідь неможливо передбачити, в який момент часу з елементами системи можуть відбуватися відмови, що вимагають діагностики і ремонтних робіт. Такий випадковий процес переходів, з точки зору математичного опису, зручно розглядати як марковський і ілюструвати його відповідним графом станів, який представлений на рис. 5.1. Граф станів побудований для конструкції типової паливної системи дизеля Д 242 (Д 243, Д 245), які встановлюються на вантажні автомобілі різних модифікацій ГАЗ і ЗІЛ.

Введемо наступні позначення, що характеризують стан елементів паливної системи:

S_0 - паливна система справна і знаходиться в експлуатації;

S_1 - паливна система несправна через вихід з ладу фільтра грубої очистки;

S_2 - паливна система несправна через вихід з ладу фільтру тонкої очистки;

S_3 - паливна система несправна через закоксовування розпилювачів форсунок;

S_4 - паливна система несправна через знос плунжерних пар паливного насоса високого тиску;

S_5 - паливна система несправна через знос запірної конусної голки;

S_6 - паливна система несправна через розбухання ущільнювачів з'єднань.

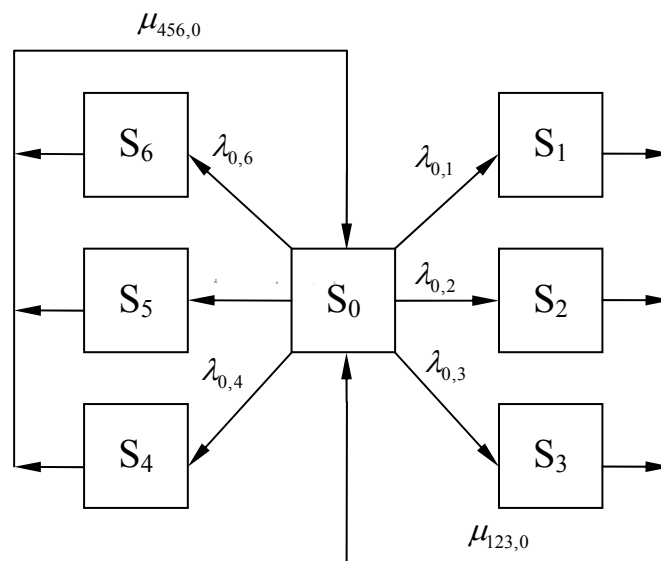


Рис. 5.1 – Граф стану паливної системи дизеля

Наведений перелік стану елементів паливної системи побудований на підставі публікацій [153-155], присвячених аналізу надійності паливної системи дизелів, а так само власних статистичних даних по відмовах елементів паливної системи дизелів Д 242, Д 243, Д 245, які експлуатуються на вантажних автомобілях ГАЗ і ЗІЛ і тракторах МТЗ 80 - 82.

Математичний опис переходу елементів паливної системи з справного стану S_0 в несправний стан S_{1-6} і знову в справний стан S_0 може бути оцінений на підставі ймовірностей всіх станів, які в загальному випадку є функціями часу експлуатації: $P_0(t) \dots P_6(t)$, де t - час експлуатації.

Використовуючи правило Колмогорова [156] складемо систему диференціальних рівнянь для ймовірнісних станів, зазначених на рис. 5.1:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1}{dt} = \lambda_{0,1}P_0 - \mu_{1,0}P_1, \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_{0,2}P_0 - \mu_{2,0}P_2, \\ \frac{dP_3}{dt} = \lambda_{0,3}P_0 - \mu_{3,0}P_3, \\ \frac{dP_4}{dt} = \lambda_{0,4}P_0 - \mu_{4,0}P_4, \\ \frac{dP_5}{dt} = \lambda_{0,5}P_0 - \mu_{5,0}P_5, \\ \frac{dP_6}{dt} = \lambda_{0,6}P_0 - \mu_{6,0}P_6, \\ \frac{dP_0}{dt} = \mu_{6,0}P_6 + \mu_{5,0}P_5 + \mu_{4,0}P_4 + \mu_{3,0}P_3 + \mu_{2,0}P_2 + \mu_{1,0}P_1 - (\lambda_{0,1} + \lambda_{0,2} + \lambda_{0,3} + \lambda_{0,4} + \lambda_{0,5} + \lambda_{0,6})P_0. \end{array} \right. \quad (5.1)$$

У лівій частині кожного рівняння варто ймовірність стану елемента системи, а права частина містить стільки членів, скільки стрілок пов'язано з цим станом (рис 2.1). Якщо стрілка спрямована зі стану, відповідний член має знак “мінус”, якщо в стан - знак “плюс”. Кожен член дорівнює інтенсивності переходу λ або μ , що відповідає даній стрілці, помноженої на ймовірність того стану, з якого виходить стрілка.

Рівняння системи (5.1) називають рівнянням Ерланга. Природними початковими умовами для їх вирішення є:

$$P_0(0) = 1; P_1(0) = P_2(0) = P_3(0) = P_4(0) = P_5(0) = P_6(0) = 0 \quad (5.2)$$

тобто перед початком експлуатації, коли $t = 0$ паливна система справна ($P_0 = 1$), а ймовірність відмови елементів дорівнює нулю ($P_i = 0$).

Беручи ліві частини рівнянь системи (5.1) рівнями прийнятим початковим умовам (5.2) переписемо систему рівнянь (5.1) у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{1,0}P_1 = \lambda_{0,1}P_0, \\ \mu_{2,0}P_2 = \lambda_{0,2}P_0, \\ \mu_{3,0}P_3 = \lambda_{0,3}P_0, \\ \mu_{4,0}P_4 = \lambda_{0,4}P_0, \\ \mu_{5,0}P_5 = \lambda_{0,5}P_0, \\ \mu_{6,0}P_6 = \lambda_{0,6}P_0, \\ (\lambda_{0,1} + \lambda_{0,2} + \lambda_{0,3} + \lambda_{0,4} + \lambda_{0,5} + \lambda_{0,6})P_0 + \mu_{456}(P_4 + P_5 + P_6) + \mu_{123}(P_1 + P_2 + P_3). \end{array} \right. \quad (5.3)$$

Рішення системи (5.3) виконаємо наступним чином. Відобразимо всі ймовірності $P_1 \dots P_6$ через ймовірність P_0 :

$$P_1 = \frac{\lambda_{0,1}}{\mu_{1,0}} P_0, \quad (5.4)$$

$$P_2 = \frac{\lambda_{0,2}}{\mu_{2,0}} P_0, \quad (5.5)$$

$$P_3 = \frac{\lambda_{0,3}}{\mu_{3,0}} P_0, \quad (5.6)$$

$$P_4 = \frac{\lambda_{0,4}}{\mu_{4,0}} P_0, \quad (5.7)$$

$$P_5 = \frac{\lambda_{0,5}}{\mu_{5,0}} P_0, \quad (5.8)$$

$$P_6 = \frac{\lambda_{0,6}}{\mu_{6,0}} P_0. \quad (5.9)$$

Використовуючи прийняті початкові умови (5.2), коли $P_0 = 1$ при, $t = 0$ запишемо вираз:

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 = 1. \quad (5.10)$$

Підставивши в (5.10) вираз для формул (5.4) - (5.9), отримаємо вираз для визначення P_0 :

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{0,1}}{\mu_{1,0}} + \frac{\lambda_{0,2}}{\mu_{2,0}} + \frac{\lambda_{0,3}}{\mu_{3,0}} + \frac{\lambda_{0,4}}{\mu_{4,0}} + \frac{\lambda_{0,5}}{\mu_{5,0}} + \frac{\lambda_{0,6}}{\mu_{6,0}}}. \quad (5.11)$$

Таким чином, застосовуючи математичний апарат теорії дослідження операцій отримано вирази для оцінки надійності паливної системи P_0 і елементів паливної системи P_i при експлуатації на різних типах палива, а також для оцінки зміни показників надійності при розширенні паливної бази засобів транспорту.

Імовірність знаходження паливної системи в справному стані визначається виразом (5.11).

Імовірність відмови фільтра грубої очистки P_1 визначається виразом (5.4). Імовірність відмови фільтра тонкої очистки P_2 визначається виразом (5.5). Імовірність відмови розпилювачів форсунок P_3 визначається виразом (5.6). Імовірність відмови плунжерних пар паливного насоса високого тиску P_4 визначається виразом (5.7). Імовірність відмови запірної конусної голки форсунки P_5 визначається виразом (5.8). Ймовірність виходу з ладу ущільнювачів P_6 визначається виразом (5.9).

В отриманих вище виразах використовуються два параметри:

- інтенсивність відмови i - го елемента системи λ_{ii} ;
- інтенсивність відновлення i - го елемента системи μ_{ii} .

Дані величини визначаються і обробляються методом математичної статистики під час експерименту і є статистичними.

Велика статистика по відмовах елементів паливної системи дизелів при експлуатації на дизельних паливах приведена в роботах О.С.Полянского, при експлуатації на біодизелі у вигляді сумішевого складу з дизельного палива і метилових ефірів ріпакової олії в роботах [153-155].

Згідно ГОСТ 27.002-89 «Надійність в техніці. Основні поняття. Терміни та визначення », статистична оцінка для інтенсивності відмов визначається як:

$$\lambda_{ii} = \frac{1}{t_{0i}}, \quad (5.12)$$

де t_0 - середньостатистичний час експлуатації до виходу з ладу (відмови i - го елемента паливної системи).

Інтенсивність відновлення визначається як:

$$\mu_{ii} = \frac{1}{t_{bi}}, \quad (5.13)$$

де t_{bi} - середньостатистичний час відновлення робочого стану i - го елемента паливної системи.

Застосовуючи розроблений математичний апарат і маючи статистичні дані за часом напрацювання до відмови і часу відновлення робочого стану, можна розрахувати ймовірність виходу з ладу кожного елемента паливної системи і ймовірність безвідмовної роботи паливної системи в цілому на різних типах палива і за результатами моделювання внести корективи в керівництво з експлуатації.

Виконаємо оцінку надійності елементів паливної системи дизелів Д 242, Д 243, Д 245, які експлуатувалися на вантажних автомобілях на дизельному паливі (ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови») і на біодизелі у вигляді метилових ефірів жирних кислот рослинних олій і жирів (ДСТУ 6081:2009 «Паливо моторне. Ефірі метілові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги»).

Середньостатистичний час виходу з ладу елементів паливної системи визначали як за виконаними публікаціями різних авторів, так і за допомогою методу експертних оцінок.

Час відновлення елементів паливної системи відповідало часу, який зазначено в керівництві з експлуатації на даний тип автомобіля, а також в технічних картах на технічне обслуговування і ремонт.

В процесі обробки статистичних даних розраховували середньоквадратичне відхилення σ значень і коефіцієнт варіації V . При великих значеннях коефіцієнта варіації здійснюється пошук точок викиду і уточнювали статистичні дані.

Згідно графа станів паливної системи, який представлений на рис. 5.1, визначили наступні інтенсивності:

- інтенсивність відмови і відновлення фільтра грубої очистки:

$$\lambda_{0,1} = \frac{1}{t_{0,1}}; \mu_{1,0} = \frac{1}{kt_{b1}} \quad (5.14)$$

- інтенсивність відмови і відновлення фільтра тонкої очистки:

$$\lambda_{0,2} = \frac{1}{t_{0,2}} ; \quad \mu_{2,0} = \frac{1}{kt_{b2}}, \quad (5.15)$$

- інтенсивність відмови і відновлення розпилювачів форсунок:

$$\lambda_{0,3} = \frac{1}{t_{0,3}} ; \quad \mu_{3,0} = \frac{1}{kt_{b3}}, \quad (5.16)$$

- інтенсивність відмови і відновлення плунжерних пар паливного насоса високого тиску:

$$\lambda_{0,4} = \frac{1}{t_{0,4}} ; \quad \mu_{4,0} = \frac{1}{kt_{b4}}, \quad (5.17)$$

- інтенсивність відмови і відновлення запірної конусної голки:

$$\lambda_{0,5} = \frac{1}{t_{0,5}} ; \quad \mu_{5,0} = \frac{1}{kt_{b5}}, \quad (5.18)$$

- інтенсивність відмови і відновлення ущільнювачів:

$$\lambda_{0,6} = \frac{1}{t_{0,6}} ; \quad \mu_{6,0} = \frac{1}{kt_{b6}}. \quad (5.19)$$

При визначенні інтенсивності відновлення використовується ваговий коефіцієнт $k = 7 \dots 10$. Даний коефіцієнт враховує збільшення часу відновлення через одночасно виконуваних робіт за трьома і більше елементами.

Результати статистичної обробки і розрахунку інтенсивності відмови λ_{ii} і інтенсивності відновлення μ_{ii} при експлуатації дизелів вантажних автомобілів на дизельному паливі наведені в таблиці 5.1, а при експлуатації на сумішевих паливі (95% ДП + 5% МЕРО) в таблиці 5.2. У таблиці вказані величини середньоквадратичного відхилення часу відмови і часу відновлення елементів паливної системи, а також значення коефіцієнтів варіації V .

Використовуючи статистично отримані значення інтенсивностей відмови λ_{ii} і інтенсивності відновлення μ_{ii} , які наведені в таблиці 5.1 і 5.2 можна розрахувати ймовірність безвідмовної роботи паливної системи P_0 і ймовірність відмови кожного елемента системи $P_1 \dots P_6$. Результати розрахунку ймовірностей при експлуатації дизельного двигуна на дизельному і сумішевих паливах зведені в таблицю 5.5.

З проведених розрахунків випливає, що при експлуатації дизелів вантажних автомобілів на сумішевих паливах, ймовірність безвідмовної роботи паливної системи зменшується з значення 0,85 до 0,76. Аналізуючи зміни ймовірностей відмов кожного з елементів системи, можна встановити причини зниження вірогідності безвідмовної роботи паливної системи.

В першу чергу збільшується в 1,5 рази ймовірність відмови фільтра грубої очистки P_1 і в 3,24 рази ймовірність відмови фільтра тонкого очищення P_2 . Пов'язано це з тим, що в метилових ефірах ріпакової олії міститься залишок

гліцерину і воскоподібних речовин, які залишаються в паливі в результаті технологічного процесу виробництва.

Таблиця 5.1 Значення інтенсивності відмови і відновлення елементів паливної системи дизелів Д 242, Д 243, Д 245 при експлуатації на дизельному паливі

Елементи паливної системи	Середнє значення часу t_0, t_b ; ГОД	Середньо статистичне відхилення, $t_i; \sigma$	Коефіцієнт варіації V , %	Інтенсивність відмови λ_{ii}	Інтенсивність відновлення, μ_{ii}
Фільтр грубої очистки (відмова)	50	6	12	0,02	-
Фільтр грубої очистки (відновлення)	0,2	0,016	8	-	0,5
Фільтр тонкої очистки (відмова)	1000	150	15	0,001	-
Фільтр тонкої очистки (відновлення)	3	0,18	6	-	0,033
Розпилювачі форсунок (відмова)	1000	180	18	0,001	-
Розпилювачі форсунок (відновлення)	3	0,15	5	-	0,033
Плунжерні пари (відмова)	3000	510	17	0,00033	-
Плунжерні пари (відновлення)	7	0,42	6	-	0,0142
Конусная голка форсунки (відмова)	3000	570	19	0,00033	-
Конусная голка форсунки (відновлення)	7	0,49	7	-	0,0142
Ущільнювальні матеріали (відмова)	3000	450	15	0,00033	-
Ущільнювальні матеріали (відновлення)	7	0,49	7	-	0,0142

Таблиця 5.2 Значення інтенсивності відмови і відновлення елементів паливної системи дизелів Д242, Д243, Д245 при експлуатації на сумішевих паливі (95%ДП+5% МЕРО)

Елементи паливної системи	Середнє значення часу t_0, t_b ; ГОД	Середньо статистичне відхилення $t_i; \sigma$	Коефіцієнт варіації, V %	Інтенсивність відмови, λ_{ii}	Інтенсивність відновлення, μ_{ii}
1	2	3	4	5	6
Фільтр грубої очистки (відмова)	25	3,75	15	0,04	-
Фільтр грубої очистки (відновлення)	0,2	0,014	7	-	0,5
Фільтр тонкої очистки (відмова)	250	45	18	0,004	-

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5	6
Фільтр тонкої очистки (відновлення)	3	0,24	8	-	0,033
Розпилювачі форсунок (відмова)	750	142	19	0,0013	-
Розпилювачі форсунок (відновлення)	3	0,18	6	-	0,033
Плунжерні пари (відмова)	4000	760	19	0,00025	-
Плунжерні пари (відновлення)	7	0,56	8	-	0,0142
Конусная голка форсунки (відмова)	4000	760	19	0,00025	-
Конусная голка форсунки (відновлення)	7	0,49	7	-	0,0142
Ущільнювальні матеріали (відмова)	2000	320	16	0,0005	-
Ущільнювальні матеріали (відновлення)	7	0,56	8	-	0,0142

Таблиця 5.3 Результати розрахунку ймовірностей при експлуатації дизеля на дизельному (ДП) і сумішевих паливах (95% ДП + 5% МЕРО)

Імовірність P_i	Дизельне паливо (ДП)	Сумішеве паливо (95% ДП + 5% МЕРО)
Імовірність безвідмовної роботи паливної системи, P_0 (формула (5.11))	0,85	0,76
Імовірність відмови фільтра грубої очистки, P_1 (формула (5.4))	0,04	0,06
Імовірність відмови фільтра тонкої очистки, P_2 (формула (5.5))	0,025	0,081
Імовірність відмови розпилювачів форсунок, P_3 (формула (5.6))	0,025	0,039
Імовірність відмови плунжерних пар насоса високого тиску, P_4 (формула (5.7))	0,02	0,015
Імовірність відмови конусної голки форсунки, P_5 (формула (5.8))	0,02	0,015
Імовірність відмови ущільнювачів, P_6 (формула (5.9))	0,02	0,03

Крім цього в метилових ефірах ріпакової олії міститься залишковий метанол, наявність якого дозволено ДСТУ 6081:2009 (вміст метанолу до 0,2%). З огляду на те, що метанол є активним розчинником, відбувається руйнування структури смол, якими просочено паперовий паливний фільтр.

Викладені вище недоліки вимагають внесення змін до керівництва по експлуатації, в розділ “Технічне обслуговування паливної системи”.

На 30% збільшується ймовірність відмови розпилювачів форсунок через закоксування соплових отворів.

Причина закоксування - наявність в паливі гліцерину і воскоподібних речовин, які містяться в рослинній олії. Також на 52% збільшується ймовірність виходу з ладу гумотехнічних виробів, це манжети, кільця ущільнювачів, шланги. Причина - залишковий метанол в паливі, який призводить до розбухання паливної гуми, що також вимагає зміни термінів технічного обслуговування.

Позитивним при експлуатації на метилових ефірах ріпакової олії є зменшення ймовірності відмови плунжерних пар і конусної голки форсунок на 26%. В даному випадку гліцерин і воскоподібні речовини в паливі покращують змащувальні властивості палива в порівнянні з дизельним паливом. Це знижує знос, а отже збільшує ресурс плунжерних пар і конусної голки форсунки з 96 тис. км пробігу (3000 годин експлуатації), до 128 тис. км пробігу (4000 годин).

Результати розрахунку ймовірностей безвідмовної роботи паливної системи при експлуатації дизеля на дизельному (ДП) і сумішеві паливах (95% ДП + 5% МЕРО), які представлені в таблиці 5.3, дозволили отримати залежність:

$$P_{0, \text{МЕРО}} = P_0 \exp(-2c_m), \quad (5.20)$$

Залежність (5.20) отримана за результатами моделювання і відображає характер зміни надійності паливної системи дизеля при застосуванні різних складів сумішевих палив, що представлено на рис. 5.2.

Для сумішевого палива (95% ДП + 5% МЕРО), $c_m = 0,05$, для (100% МЕРО), $c_m = 1$.

З аналізу залежності, представленої на рис.2.2, слідує, що при збільшенні об'ємної частки МЕРО в дизельному паливі ймовірність безвідмовної роботи зменшується за експоненціальним законом. Наприклад, при застосуванні сумішевого палива (90% ДП + 10% МЕРО), ймовірність безвідмовної роботи паливної системи дорівнює 0,695. При застосуванні сумішевого палива (70% ДП + 30% МЕРО), ймовірність безвідмовної роботи паливної системи дорівнює 0,466, а при застосуванні палива (100% МЕРО), ймовірність безвідмовної роботи паливної системи дорівнює 0,115.

Дані таблиць 5.1 - 5.3, а також залежність (5.20), дозволяють розрахувати комплексний показник надійності - коефіцієнт технічного використання паливної системи дизеля вантажного автомобіля в залежності від періодичності проведення ТО за формулою:

$$K_{ms} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{э}}}{\sum_{i=1}^n t_{\text{э}} + \sum_{i=1}^n t_{\text{ТО}}}, \quad (5.21)$$

де n – кількість проведених ТО на агрегатах паливної системи в підконтрольний період експлуатації, $n=1 \dots 8$;

t_3 – час експлуатації в годинах між періодами проведення ТО, година;

t_{TO} – час на проведення технічного обслуговування агрегатів паливної системи, година.

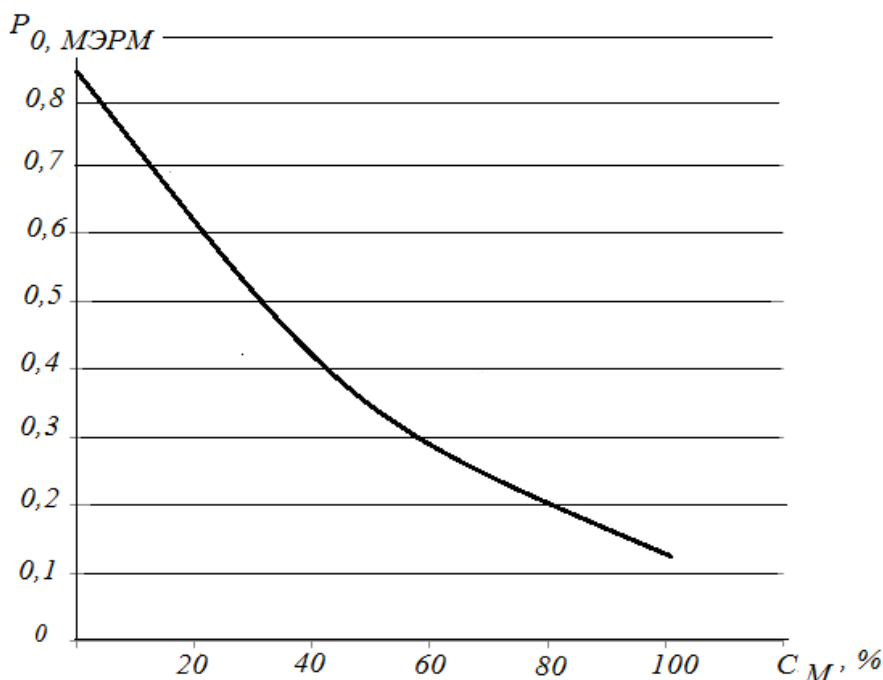


Рис. 5.2 – Залежність зміни ймовірності безвідмовної роботи паливної системи дизеля від змісту об'ємної частки МЕРО в дизельному паливі де $P_{0, МЕРО}$ – ймовірність безвідмовної роботи паливної системи при застосуванні сумішевих палив (ДП + МЕРО);

P_0 – ймовірність безвідмовної роботи паливної системи на дизельному паливі, дорівнює 0,85;

c_m – об'ємна частка біопалива МЕРО в дизельному паливі ДП.

Результати моделювання зміни коефіцієнта технічного використання паливної системи в залежності від застосування різних складів сумішевих палив і пробігу вантажного автомобіля, представлені на рис. 5.5.

Аналіз отриманих залежностей зміни коефіцієнта технічного використання паливної системи дизеля вантажного автомобіля дозволяє зробити висновок, що збільшення об'ємної частки МЕРО в дизельному паливі призводить до швидкого зниження надійності паливної системи. При перевищенні об'ємної частки (30% МЕРО) в дизельному паливі, коефіцієнт технічного використання зменшується до значень 0,53, що потребують додаткових витрат на проведення технічного обслуговування паливної системи.

Отримані результати моделювання зміни ймовірності безвідмовної роботи паливної системи дизеля при застосуванні сумішевих палив різної об'ємної концентрації дозволяють зробити висновок про необхідність обґрунтування раціональних складів для літніх і зимових періодів експлуатації та розробки рекомендацій з технічного обслуговування паливних систем. Наприклад, з залеж-

ностей на рис. 5.3 впливає, що для сумішевих палив, які містять МЕРО не рекомендується перевищувати межу (90% ДП + 10% МЕРО), крива - 3 на рис.5.5.

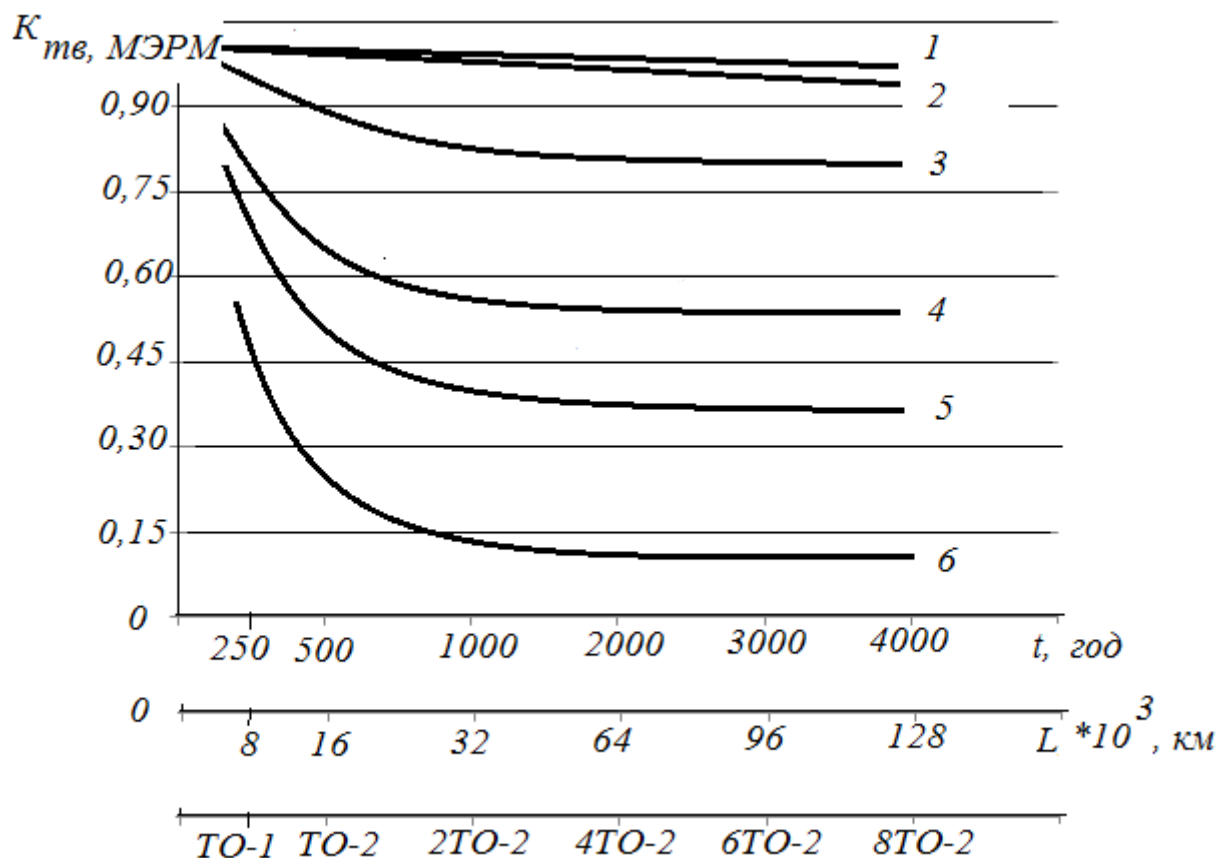


Рис. 5.3 – Залежність зміни ймовірності безвідмовної роботи паливної системи дизеля від змісту об'ємної частки МЕРО в дизельному паливі

Залежності зміни коефіцієнта технічного використання паливної системи дизеля від застосування різних складів сумішевих палив і пробігу вантажного автомобіля: 1- (ДП); 2 - (95% ДП + 5% МЕРО); 3 - (90% ДП + 10% МЕРО); 4 - (70% ДП + 30% МЕРО); 5 - (50% ДП + 50% МЕРО); 6-(100% МЕРО)

Даний факт підтверджується публікаціями західних вчених [12], в яких наводиться один висновок у вигляді рекомендації по використанню сумішевого палива (95% ДП + 5% МЕРО), що і підтверджується результатами проведеного моделювання.

Розроблений математичний апарат оцінки надійності паливної системи засобів транспорту і елементів паливної системи буде застосований для оцінки можливості використання етилових ефірів рослинних олій, як перспективного палива, де замість метанолу використовується етиловий спирт і каталізатор алкілбензолсульфокислоту (АБСК) замість луку, що знижує вміст гліцерину в біопаливі (ЕЕРО) до нуля в процесі виробництва [37]. Це дозволить підвищити надійність елементів паливної системи і розробити рекомендації щодо зміни строків технічного обслуговування елементів паливної системи дизеля.

Збір статистичних даних та дослідження надійності елементів паливної системи дизелів на сумішевих паливі (95% ДП + 5% ЕЕРО) здійснювалося в

трьох автогосподарствах м. Харкова при експлуатації автомобілів ЗІЛ 5301 “Бичок” як в літній, так і в зимовий періоди експлуатації. Збір інформації виконували у вигляді анкетного опитування фахівців з експлуатації та ремонту двигунів і паливної апаратури. Результати анкетування проходили статистичну обробку з процедурою визначення випадуючих точок і уточненням результатів анкетування. Результати анкетного опитування фахівців з розрахунком середніх величин часу відмови, а також середньоквадратичного відхилення і коефіцієнта варіації, представлені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 Значення інтенсивності відмови і відновлення елементів паливної системи дизелів Д 242, Д 243, Д 245 при експлуатації на сумішевих паливах (95% ДП + 5% ЕЕРО)

Елементи паливної системи	Середнє значення часу t_0, t_b ; ГОД	Середньо статистичне відхилення $t_i; \sigma$	Коефіцієнт варіації $V, \%$	Інтенсивність відмови λ_{ii}	Інтенсивність відновлення μ_{ii}
Фільтр грубої очистки (відмова)	50	3,5	7	$\lambda_{0,1} = 0,02$	-
Фільтр грубої очистки (відновлення)	0,2	0,014	7	-	$\mu_{1,0} = 0,5$
Фільтр тонкої очистки (відмова)	500	80	16	$\lambda_{0,2} = 0,002$	-
Фільтр тонкої очистки (відновлення)	3	0,18	6	-	$\mu_{2,0} = 0,033$
Розпилювачі форсунок (відмова)	750	135	18	$\lambda_{0,3} = 0,0013$	-
Розпилювачі форсунок (відновлення)	3	0,21	7	-	$\mu_{3,0} = 0,033$
Плунжерні пари (відмова)	4000	15	18	$\lambda_{0,4} = 0,00025$	-
Плунжерні пари (відновлення)	7	0,49	7	-	$\mu_{4,0} = 0,0142$
Конусна голка форсунки (відмова)	4000	640	16	$\lambda_{0,5} = 0,00025$	-
Конусна голка форсунки (відновлення)	7	0,42	6	-	$\mu_{5,0} = 0,0142$
Ущільнювальні матеріали (відмова)	4000	600	15	$\lambda_{0,6} = 0,00025$	-
Ущільнювальні матеріали (відновлення)	7	0,49	7	-	$\mu_{6,0} = 0,0142$

Таблиця 5.5 Результати розрахунку ймовірностей при експлуатації дизелів на дизельному (ДП) і сумішеві паливах (95% ДП + 5% МЕРО) і (95% ДП + 5% ЕЕРО)

Імовірність P_i	Дизельне паливо (ДП)	Сумішеве паливо (95% ДП + 5% МЕРО)	Сумішеве паливо (95% ДП + 5% ЕЕРО)
Імовірність безвідмовної роботи паливної системи, P_0 (формула (5.11))	0,85	0,76	0,8
Імовірність відмови фільтра грубої очистки, P_1 (формула (5.4))	0,04	0,06	0,045
Імовірність відмови фільтра тонкої очистки, P_2 (формула (5.5))	0,025	0,081	0,07
Імовірність відмови розпилювачів форсунок, P_3 (формула (5.6))	0,025	0,039	0,032
Імовірність відмови плунжерних пар насоса високого тиску, P_4 (формула (5.7))	0,02	0,015	0,015
Імовірність відмови конусної голки форсунки, P_5 (формула (5.8))	0,02	0,015	0,015
Імовірність відмови ущільнювачів, P_6 (формула (5.9))	0,02	0,03	0,023

Аналіз даних таблиці 5.5 дозволяє зробити висновок, що при експлуатації на сумішевих паливі (95% ДП + 5% ЕЕРО) ймовірність безвідмовної роботи паливної системи збільшується, в порівнянні з (95% ДП + 5% МЕРО) і стає рівною 0,80, близькою по надійності з експлуатацією на дизельному паливі, рівній 0,85.

Аналіз значень ймовірностей відмови елементів паливної системи, Таблиця 5.5, показує, що на збільшення надійності паливної системи при застосуванні ЕЕРО впливає зменшення ймовірності відмови P_1 фільтра грубої очистки з 0,06 до 0,045 і зменшення ймовірності відмови фільтра тонкої очистки P_2 з 0,081 до 0,07.

Стан фільтрів тонкого очищення під час технічного обслуговування визначили за допомогою модуля засобів контролю і регулювання КІ-28132.02 по параметру перепаду тиску на фільтрі. Для цього перед і після фільтра встановлювалися датчики тиску. Різниця між величиною тиску до і після фільтра створює перепад тиску на фільтрі. При збільшенні перепаду тиску до величини 0,12 ... 0,14 МПа приймалося рішення про заміну фільтру тонкої очистки (відмова фільтра).

Даний факт зниження ймовірності відмови фільтра можна пояснити тим, що при виробництві ЕЕРО не утворюється гліцерин. Отже, гліцерин не скупчується в фільтрах у вигляді відстою і желеподібних з'єднань на поверхні фільтруючих елементів, як це мало місце при експлуатації на (95% ДП + 5% МЕРО). Однак при цьому сумішеве паливо (95% ДП + 5% ЕЕРО) має більш високу кінетичну в'язкість $\nu_{\text{ЕЕРО}} = 3,2-3,8 \text{ мм}^2/\text{с}$, в порівнянні з дизельним паливом $\nu_{\text{ЕЕРО}} = 2,3-2,5 \text{ мм}^2/\text{с}$, що вимагає зменшення термінів заміни фільтра тонкого очищення в два рази, це впливає з таблиці 5.4. Крім того, в ЕЕРО, також, як і в МЕРО, містяться воскоподібні речовини, що знижує терміни заміни фільтрів.

Другим позитивним ефектом застосування ЕЕРО є те, що етанол, який використовується при виробництві палива, не робить агресивного впливу на гумовотехнічні вироби, а отже, знижує ймовірність P_6 відмови манжет, ущільнень, шлангів, з значення 0,03 для (95% ДП + 5% МЕРО) до значення 0,023 при експлуатації на (95% ДП + 5% ЕЕРО).

Третім позитивним ефектом є збільшення змащувальних властивостей дизельного палива при додаванні в нього ЕЕРО, що призводить до збільшення ресурсу плунжерних пар паливного насоса високого тиску і конусної голки форсунок.

З метою підтвердження висунутих припущень про збільшення змащувальних властивостей сумішевого палива (95% ДП + 5% ЕЕРО), були проведені лабораторні дослідження на чотирехкульковій машині тертя згідно ГОСТ 9490-75 "Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине".

В процесі випробувань визначалися наступні характеристики: показники зносу $D_u, \text{мм}$; критичне навантаження $P_k, \text{Н}$; навантаження зварювання $P_z, \text{Н}$. Перші два показники характеризують протизносні властивості мастильних матеріалів, третій - протизадирні. У нашому випадку паливо виступає у вигляді мастильного матеріалу для плунжерних пар і конусної голки форсунки і впливає на процес їх зношування.

Випробуванню підлягали два види палива: дизельне паливо (ДП) і (95% ДП + 5% ЕЕРО). Результати випробувань представлені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 Трибологічні характеристики палив

Показник	Дизельне паливо	Сумішеве паливо (95% ДП+5% ЕЕРО)
Показник зносу $D_u, \text{мм}$	0,95	0,7
Критичне навантаження $P_k, \text{Н}$	480	640
Навантаження зварювання $P_z, \text{Н}$	720	840

Аналіз даних таблиці 2.6 дозволяє стверджувати про збільшення протизносних властивостей сумішевого палива (95% ДП + 5% ЕЕРО) на 26...33% в порівнянні з дизельним паливом.

Протизадирні властивості збільшуються незначно і досягають величини в 16%. Даний факт пояснюється наявністю в сумішевих паливі (95% ДП + 5% ЕЕРО) поверхнево-активних речовин у вигляді олеїнової кислоти, яка входить до складу ріпакової олії, а також воскоподібних речовин, що знижують знос матеріалів.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що застосування сумішевого палива (95% ДП + 5% ЕЕРО) буде збільшувати ресурс плунжерних пар паливного насоса високого тиску і конусної голки форсунок, що і було підтверджено в процесі експлуатації. Дані про збільшення ресурсу наведені в таблиці 5.4, в порівнянні з дизельним паливом, таблиця 5.1.

Контроль стану плунжерних пар паливного насоса 4УТНИ в процесі експлуатації здійснювали на стенді “Моторпал”. Згідно керівництву по експлуатації на вантажні автомобілі ЗІЛ 5301- “Бичок” при проведенні 4 ТО-2, що відповідає 64 тис.км. пробігу або 2000 годин напрацювання, паливний насос підлягає перевірці на стенді з визначенням швидкісної характеристики. Номінальні значення циклової подачі палива по секціях, нерівномірність подачі і тиск на пневмокоректорі, представлені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 Швидкісна характеристика паливного насоса 4УТНИ-Т 1111005-50

Частота обертання валу, хв ⁻¹	Середня циклова подача палива, мм ³ /цикл	Тиск на пневмокоректорі, МПа	Нерівномірність подачі палива по секціях, % не більше
1200±5	87±1,4	0,06...0,065	3
1000±5	89±2,5	0,06...0,065	8
900±5	91±2,5	0,06...0,065	8
800±5	93,5±2,5	0,06...0,065	9
706±5	93,5±2,5	0,06...0,065	10
550±5	90±4	0,06...0,065	14
1250 ⁺²⁵ -10	22,5	0	30
550±5	60...70	0	14
40...50	не менше 140	-	-

Згідно керівництва з експлуатації при зменшенні середньої циклової подачі палива по секціях і збільшенні нерівномірності подачі на 10% паливний насос знімається з експлуатації і підлягає ремонту.

Статистичні дані, зібрані під час експлуатації, показують, що при пробігу автомобіля 64 тис.км. (4 ТО-2) показники швидкісної характеристики паливного насоса відповідають номінальним, як при експлуатації на дизельному паливі так і при експлуатації на різних типах біопалива.

При пробігу 96 тис.км (3000 годин напрацювання) паливні насоси, які працювали на дизельному паливі, знімалися з експлуатації і піддавалися ремон-

ту через зменшення циклової подачі і збільшення нерівномірності подачі по секціях, що пов'язано з зносом плунжерних пар.

При експлуатації автомобілів на сумішевих видах палива (95% ДП + 5% МЕРО) і (95% ДП + 5% ЕЕРО) паливні насоси підлягали ремонту при пробігу 128 тис.км (4000 годин).

Дані результати підтверджують висновок про збільшення ресурсу плунжерних пар, який був зроблений на підставі результатів лабораторних випробувань трібологічних характеристик палива (95% ДП + 5% ЕЕРО). Це знижує ймовірність відмови плунжерних пар P_4 , а отже, збільшує надійність паливної системи P_0 .

Негативним ефектом при застосуванні сумішевого палива (95% ДП + 5% ЕЕРО) є закоксованість розпилювачів форсунок. Згідно керівництву з експлуатації при виконанні 4 ТО-2 (64 тис. км пробігу), паливні форсунки знімалися з дизеля і перевірялися на приладі NS-50 "Моторпал". Контролю підлягали: тиск початку впорскування палива-17,5 ... 18,2 МПа; контроль якості розпилювання палива, яке повинно бути в туманоподібному стані, без помітних окремих крапель і струменів; герметичність запірної конусної голки, за залишком краплі палива на розпилювачі.

Порівнюючи результати експлуатації дизеля на ДП і сумішевому паливі (95% ДП + 5% ЕЕРО) встановлено, що при експлуатації на дизельному паливі погіршення якості розпилу відбувається при 32 тис. км пробігу (1000 годин), що і було виявлено при проведенні 2 ТО -2. При експлуатації на сумішевому паливі (95% ДП + 5% ЕЕРО) погіршення якості розпилу палива відбувається після 24 тис.км пробігу (750 годин). Конус розпилу стає туманоподібним і нерівномірним. Після 32 тис. км пробігу з'являються струменя. Це збільшує ймовірність відмови розпилювачів форсунок P_3 при дотриманні термінів проведення ТО, рекомендованих керівництвом по експлуатації.

Одночасно з оцінкою якості розпилу палива контролювали герметичність запірної конусної голки по появі краплі палива, що не спадає на розпилювачі. При експлуатації на ДП герметичність запірної голки зберігається до 96 тис.км пробігу (3000 годин), а при експлуатації на сумішевому паливі (95% ДП + 5% ЕЕРО) герметичність зберігалася до 128 тис. км пробігу (4000 годин). Пояснюється цей факт зменшенням зносу конуса голки через поліпшення змащувальних властивостей (95% ДП + 5% ЕЕРО). Це сприяє зменшенню ймовірності відмови конусної голки форсунки P_5 , а отже, збільшення надійності паливної системи P_0 .

Результати розрахунку ймовірностей безвідмовної роботи паливної системи при експлуатації дизеля на (ДП) і сумішеві паливі (95% ДП + 5% ЕЕРО), які представлені в таблиці 5.5, дозволили отримати залежність:

$$P_{0, \text{ЕЕРО}} = P_0 \exp(-c_E), \quad (5.22)$$

де $P_{0, \text{ЕЕРО}}$ – ймовірність безвідмовної роботи паливної системи при застосуванні сумішевих палив (ДП + ЕЕРО);

P_0 - ймовірність безвідмовної роботи паливної системи на дизельному паливі, дорівнює 0,85;

c_E – об'ємна частка біопалива ЕЕРО в дизельному паливі ДП.

Для сумішевого палива (95% ДП + 5% ЕЕРО), $c_E = 0,05$, для (100% ЕЕРО), $c_E = 1$.

Залежність (5.22) отримана за результатами моделювання і відображає характер зміни надійності паливної системи дизеля при застосуванні різних складів сумішевих палив (ДП + ЕЕРО), що представлено на рис. 5.4.

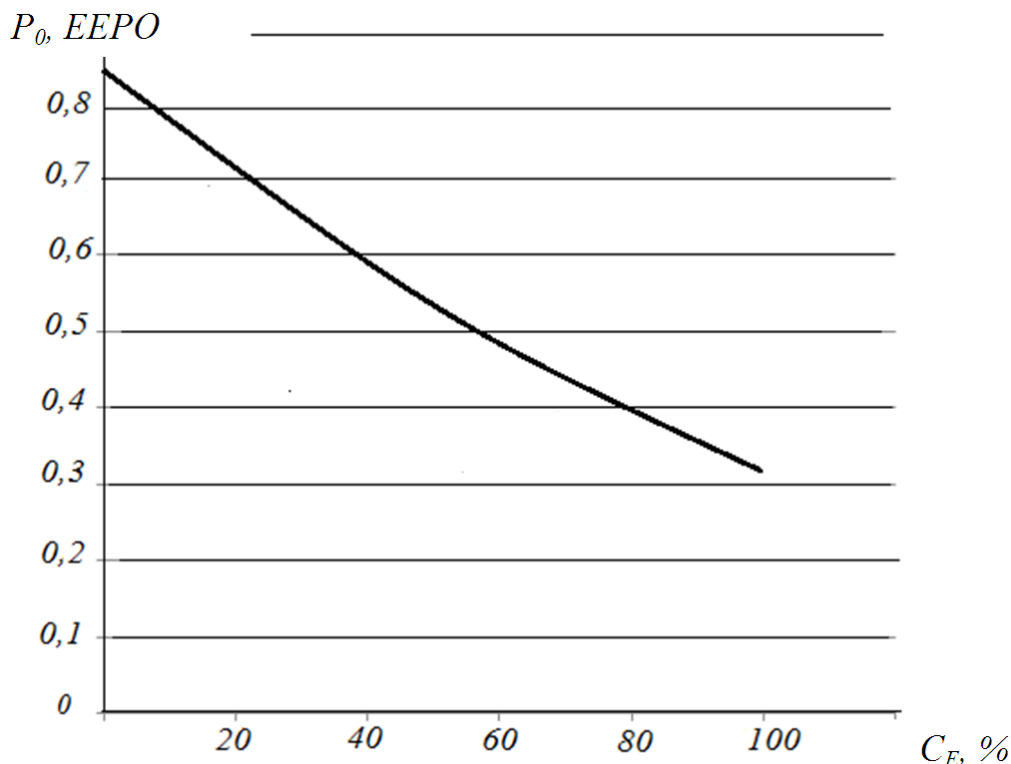


Рис. 5.4 – Залежність зміни ймовірності безвідмовної роботи паливної системи дизеля від змісту об'ємної частки ЕЕРО в дизельному паливі

Залежність зміни ймовірності безвідмовної роботи паливної системи дизеля від змісту об'ємної частки ЕЕРО в дизельному паливі

З аналізу залежності, представленої на рис.2.4, слідує, що при збільшенні об'ємної частки ЕЕРО в дизельному паливі ймовірність безвідмовної роботи також зменшується за експоненціальним законом. При цьому, при застосуванні сумішевого палива (90% ДП + 10% ЕЕРО), ймовірність безвідмовної роботи паливної системи дорівнює 0,78, що вище, ніж при використанні (90% ДП + 10% МЕРО). При застосуванні сумішевого палива (70% ДП + 30% ЕЕРО), ймовірність безвідмовної роботи паливної системи дорівнює 0,72, а при застосуванні палива (100% ЕЕРО), ймовірність безвідмовної роботи паливної системи дорівнює 0,36, що значно перевищує значення ймовірності безвідмовної роботи при використанні палив, що містять МЕРО.

Дані таблиць 5.4 - 5.5, а також залежність (5.22), дозволяють за формулою (5.21) розрахувати комплексний показник надійності - коефіцієнт технічного використання паливної системи дизеля при експлуатації на сумішевих паливах,

що містять ЕЕРО. Результати моделювання зміни коефіцієнта технічного використання представлені на рис. 5.5.

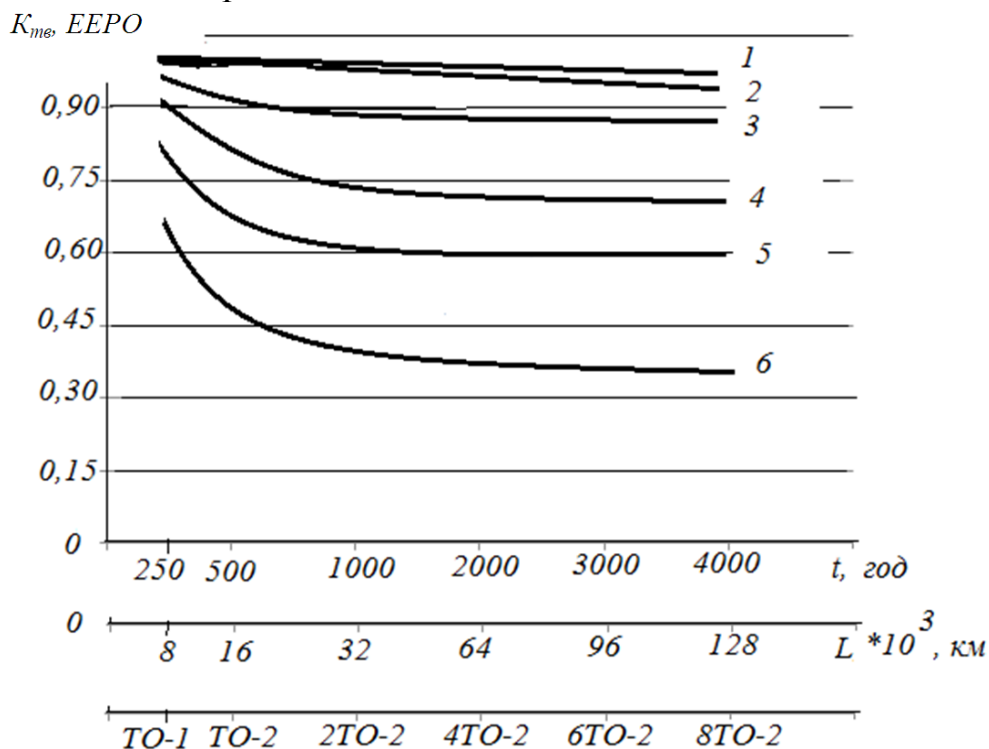


Рис. 5.5 – Залежності зміни коефіцієнта технічного використання паливної системи дизеля від застосування різних складів сумішевих палив і пробігу вантажного автомобіля: 1- (ДП); 2 - (95% ДП + 5% ЕЕРО); 3 - (90% ДП + 10% ЕЕРО); 4 - (70% ДП + 30% ЕЕРО); 5 - (50% ДП + 50% ЕЕРО); 6 - (100% ЕЕРО)

Аналіз отриманих залежностей зміни коефіцієнта технічного використання паливної системи дизеля вантажного автомобіля дозволяє зробити висновок, що збільшення об'ємної частки ЕЕРО в дизельному паливі призводить до більш повільного зниження надійності паливної системи в порівнянні з МЕРО. При перевищенні об'ємної частки (30% ЕЕРО) в дизельному паливі, коефіцієнт технічного використання зменшується до значень 0,72, в порівнянні з значенням 0,53 для (30% МЕРО), рис. 5.5.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що для забезпечення надійної роботи паливної системи дизелів вантажних автомобілів при застосуванні сумішевого складу палива (95% ДП + 5% ЕЕРО) необхідно скорочення термінів технічного обслуговування: фільтрів тонкого очищення - до 16 тис.км пробігу; розпилувачів форсунок - до 24 тис.км пробігу.

Одночасно рекомендується збільшити терміни проведення технічного обслуговування: паливних насосів високого тиску і форсунок - до 128 тис. км пробігу.

Результати моделювання зміни ймовірності безвідмовної роботи паливної системи дизеля і коефіцієнта технічного використання дозволяють зробити висновок, що при використанні сумішевих палив, які містять ЕЕРО можна збільшити об'ємний вміст ЕЕРО до (70% ДП + 30% ЕЕРО), крива - 4, на рис. 5.5. Однак така пропозиція вимагає обґрунтування раціональних складів для літніх і

зимових періодів експлуатації та розробки рекомендацій з технічного обслуговування паливних систем при застосуванні сумішевих палив різної об'ємної концентрації, які містять перспективний вид біопалива - ЕЕРО.

5.3 Проведення експериментальних стендових досліджень

Метою експериментальних стендових випробувань є визначення впливу кількісного вмісту і оптимального складу біодизельного палива в сумішевому складі з дизельним паливом на техніко-економічні, екологічні показники двигуна внутрішнього згоряння та надійність його паливної апаратури.

В якості палива було використано двокомпонентний сумішевий склад з дизельного пального, до якого додавались ефіри ріпакової, соняшnikової та соєвої олії.

Види досліджуваних палив:

- дизельне паливо (ДП);
- B5 (5% етилові ефіри+95% дизельне паливо);
- B10 (10% етилові ефіри+90% дизельне паливо);
- B20 (20% етилові ефіри+80% дизельне паливо);
- B30 (30% етилові ефіри+70% дизельне паливо);
- B50 (50% етилові ефіри+50% дизельне паливо);
- B100 (100% етилові ефіри).

Завдання стендових випробувань:

- визначення доцільності використання біодизельного палива на базі етилових ефірів жирних кислот, що вироблене за запатентованою нами технологією [37], та в порівнянні з біологічним паливом, у виробництві якого використано метанол;
- визначення енергетичних показників (крутного моменту та ефективної потужності), годинної і питомої витрати палива та концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна (оксиду вуглецю, продуктів неповного згоряння вуглеводнів та оксидів азоту) при використанні дизельного палива та його сумішевого складу з етиловими ефірами у відповідному діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів.
- визначення енергетичних, техніко-економічних та екологічних характеристик двигуна при його роботі на оптимальному сумішевому складі.

Програма стендових експериментальних досліджень включає визначення регуляторних та навантажувальних характеристик дизеля на різних швидкісних режимах.

Регуляторні та навантажувальні характеристики визначались відповідно чинного стандарту ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний».

Для експериментального дослідження використовувалися такі види палива:

- штатне паливо – мінеральне дизельне паливо марки “Г” виду “Г” відповідно ДСТУ 4840:2007;
- етилові ефіри ріпакової (ЕЕРО), соняшникової (ЕЕСО) і соєвої олій (ЕЕ-СоО). Фізико-хімічні властивості цього виду палива за відсутності чинного стандарту відповідали вимогам нормативного документу ДСТУ 6081:2009. Оскільки етанол має менш агресивну дію на гумові ущільнення в порівнянні з метанолом, то, на наш погляд, його наявність в кінцевому продукті може бути збільшена до 0,5% у співвідношенні з 0,2%, що регламентується державним стандартом 6081:2009, які наведено в таблиці 5.8. Це не знизить якість палива, однак дозволить спростити технологічний процес виробництва, що забезпечить зниження собівартості біодизеля.

В процесі стендових досліджень розглядався робочий процес автотракторного дизеля Д-243 при використанні бінарного сумішевого палива.

Двигун 4Ч11/12,5 (Д-243) – чотиритактний, чотирьохциліндровий, з вільним впуском повітряного заряду, з рідинною системою охолодження і неподіленою формою камери згоряння (типу ЦНІД), таблиця 5.9.

Порівняльні стендові випробування дизельного двигуна виконувались на електрогальмівному стенді СТЭУ-28 ГОСНІТІ, рис 5.1, що призначений для обкатки двигунів потужністю від 10 до 100 к. с. (7,35 кВт до 73,55 кВт) і числом обертів від 1000 до 3400 хв⁻¹. Живлення здійснюється від трифазної електричної мережі 220/380 В. Електродвигун стенду працює в двох режимах: руховому і генераторному; у руховому режимі - при холодній обкатці, а в генераторному - при гарячій обкатці і випробуванні. Для регулювання числа оборотів двигуна і для завантаження його в режимі генератора в ланцюг ротора включають рідинний реостат з об'ємом резервуару 300 л.

Випробування проводили згідно ГОСТ 18509-88 з визначенням наступних показників.

Крутний момент дизеля визначався за формулою:

$$M_{кр} = L \cdot P_T, \quad (5.23)$$

де L – плече гальма, м ($L=0,716$ м);

P_T – гальмівна сила, Н.

Ефективна потужність дизеля визначалась за формулою:

$$N_e = 0,75 \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot P_T, \quad (5.24)$$

де N_e – ефективна потужність, кВт;

n – частота обертання колінчастого вала дизеля, хв.⁻¹.

Таблиця 5.8 Фізико-хімічні характеристики етилових ефірів

Назва показника	Значення				Метод дослідження
	доп.	фактичне			
1	2	3	4	5	6
		ріпакової	соняшн.	соєвої	
1. Масова частка ефірів, %, не менше	96,5	97,8	97,1	96,6	Згідно з ДСТУ EN 14103 *)
2. Густина за температури 150С, кг/м ³ , у межах	860-900	870	872	871	Згідно з ДСТУ ГОСТ 31072 або ДСТУ ISO 12185 *)
5. Кінематична в'язкість за температури 400С, мм ² /с, у межах	3,5-5,0	3,86	3,74	3,76	Згідно з ДСТУ ГОСТ 33
4. Температура спалаху у закритому тиглі, 0С, не менше	120	127	125	126	Згідно з ГОСТ 6356 або ДСТУ ISO 2719
5. Масова частка сірки, мг/кг, не більше	10	-	-	-	Згідно з ДСТУ ISO 20846 *)
6. Коксованість 10% залишку перегонки, %, не більше	0,30	0,26	0,22	0,27	Згідно з ГОСТ 19932
7. Цетанове число, не менше	51	54	52	53	Згідно з ГОСТ 3122 або ДСТУ ISO 5165 *)
8. Зольність, % мас, не більше	0,02	0,01	0,01	0,01	Згідно з ГОСТ 1461 або ДСТУ ISO 6884 або
9. Масова частка води: мг/кг, не більше	500				Згідно з ДСТУ ISO 8534 або ДСТУ ISO 12937 *)
%, не більше	0,05	0,04	0,04	0,04	Згідно з ГОСТ 2477
10. Вміст механічних домішок: мг/кг, не більше	24				Згідно з
%, не більше	Відс ут.	-	-	-	Згідно з ГОСТ 6370
11. Випробування на мідній пластинці (3 години за температури 50°С)	Витр клас 1	Витр клас 1	Витр клас 1	Витр клас 1	Згідно з ГОСТ 6321
12. Окисна стабільність за температури 110°С, год, не менше	6,0	8,7	7,1	9,5	Згідно з ДСТУ ISO 6886 або ДСТУ EN 14112 *)
15. Кислотне число, мг КОН на г, не більше	0,50	0,39	0,28	0,35	Згідно з ГОСТ 5985 або ДСТУ 4350 або ДСТУ EN 14104 *)
14. Йодне число, г йоду на 100 г, не більше	130	105	120	128	Згідно з ГОСТ 2070 або ДСТУ ISO 3961 або ДСТУ EN 14111 *)
15. Масова частка етилового ефіру ліноленової кислоти, %, не більше	12,0	9,4	-	8,2	Згідно з ДСТУ EN 14103 *)
16. Масова частка етанолу, %, не більше	0,5	0,47	0,38	0,42	Згідно з ДСТУ EN 14110*)
17. Масова частка моногліцеридів, %, не більше	0,80	0,79	0,8	0,78	Згідно з ДСТУ EN 14105 *)

Продовження таблиці 5.8

1	2	3	4	5	6
18. Масова частка дігліцеридів, %, не більше	0,20	0,17	0,15	0,17	Згідно з ДСТУ EN 14105 *)
19. Масова частка тригліцеридів, %, не більше	0,20	0,16	0,1	0,10	Згідно з ДСТУ EN 14105 *)
20. Масова частка вільного гліцерину, %, не більше	0,02	0,01	0,01	0,01	Згідно з ДСТУ EN 14105 *) або ДСТУ EN 14106 *)
1	2	3	4	5	6
21. Масова частка загального гліцерину, %, не більше	0,25	0,22	0,18	0,19	Згідно з або ДСТУ EN 14105 *)
22. Масова частка лужних металів: (Na + K), мг/кг, не більше	5,0	-	-	-	Згідно з ДСТУ EN 14108 *) або ДСТУ EN 14109 *)
(Ca + Mg), мг/кг, не більше	5,0	-	-	-	Згідно з ГОСТ 25784 або [8]
25. Масова частка фосфору, мг/кг, не більше	10	6,1	5,7	7,75	Згідно з ДСТУ EN 14107 *)
*) на розгляді					
**) не визначається до розроблення в Україні нормативного документа					

Таблиця 5.9 Основні технічні характеристики дизеля Д-243

Тип	Чотирьохтактний дизель, без турбонадува	
1	2	3
Спосіб сумішоутворення	Безпосереднє уприскування палива	
Число циліндрів	4	
Порядок роботи циліндрів	1-3-4-2	
Діаметр циліндра	мм	110
Хід поршня	мм	125
Робочий об'єм циліндрів	л	4,75
Допустимий подовжній і поперечний нахил працюючого дизеля, не більше	град.	20
Потужність по ГОСТ 18509-88		
-номінальна	кВт	59,6
-експлуатаційна	кВт	57,4
Допуск на номінальну і експлуатаційну потужність	кВт	+3,7
Номінальна частота обертання	об/хв	2200
Максимальна частота обертання холостого ходу, обмежена регулятором, не більше	об/хв	2380
Мінімальна стійка частота обертання холостого ходу, не більше	об/хв	600
Ступінь стиснення (розрахункова)		
Напрямок обертання колінчастого вала дизеля за ГОСТ 22836-77		Праве (за годинниковою стрілкою)
Максимальний крутний момент (розрахунковий за ГОСТ 18509-88 з урахуванням номінального коефіцієнта запасу крутного моменту)		Н*м
Частота обертання при максимальному значенні крутного моменту, не менш об/хв		1600

Продовження таблиці 5.9

1	2	3
Питома витрата палива на режимі номінальної потужності	г/кВт*год	226
Питома витрата палива на режимі експлуатаційної потужності	г/кВт*год	235
Загальний витрата масла з урахуванням заміни за весь гарантійний термін роботи, не більше	% до витрати палива	1,1
Тиск масла в головній магістралі системи змащення дизеля при температурі 85-95 С		
-при номінальній частоті обертання	МПа	0,25-0,35
-при мінімальній частоті обертання холостого ходу, не менш	МПа	0,08
Маса дизеля сухого з вентилятором, генератором, очищувач повітря, без муфти зчеплення	кг	430/490
Турбокомпресор		Немає
Пусковий пристрій		Немає
Стартер		24.3708 або СТ-142М



Рис. 5.6 – Стенд для випробування дизеля

Годинна витрата палива дизелем визначалась за формулою:

$$G_T = 3,6 \cdot \frac{\Delta G}{\tau}, \quad (5.25)$$

де G_T – годинна витрата палива, кг/год;

ΔG – витрата палива за дослід, г;

τ – час витрати палива, с.

Питома ефективна витрата палива дизелем визначалась за формулою:

$$g_e = \frac{G_T}{N_e}, \quad (5.26)$$

де g_e – питома ефективна витрата палива, г/кВт·год.

Частота обертання колінчастого валу двигуна вимірювалася за допомогою електронно-обчислювального частотоміра Ф 5041 з ціною ділення один оберт, рис. 5.7. До частотоміра поєднувався індуктивний датчик, який був вмонтований навпроти зубчастого вінця маховика.



Рис. 5.7 – Частотомір Ф 5041

Витрата палива визначалася масовим способом з використанням автоматизованого витратоміру, дія якого заснована на вимірі часу витрачання мірної маси палива. До складу витратоміру палива входили: ваги ВЛКТ-500-М; блок управління автоматизованого витратоміру палива; електронний клапан; електронний частотомір-хронометр Ф 5041. Блок управління забезпечував автоматичну фіксацію мірної маси палива і час її витрачання, а також здійснював управління потоками палива для забезпечення роботи силової установки.

Вимірювання атмосферного тиску виконувалось барометром - anerоїдом БАММ-1 з шкалою від 80 до 106 кПа і ціною ділення 1 кПа.

Температура відпрацьованих газів у випускному колекторі вимірювалася термопарою МВТ 5111 та цифровим мультиметром.

Оцінка димності відпрацьованих газів виконувалася за допомогою приладу «ИНА – 109», рис. 5.8, згідно ГОСТ 17.2.2.02-98 та ДСТУ 4276:2004.

Згідно стандарту використовувався натуральний показник ослаблення світлового потоку K, m^{-1} , що є величиною, оберненої товщини шару відпрацьованих газів, проходячи через які потік випромінювання від джерела світла димоміра ослаблюється в e разів. Другим показником був коефіцієнт ослаблення світлового потоку внаслідок поглинання і розсіювання світла відпрацьованими газами під час проходження ними робочої труби димоміра $N, \%$.

Вимірювання вмісту оксиду вуглецю CO у відпрацьованих газах виконувалася за допомогою газоаналізатора ГАИ – 1, рис. 5.9. Аналіз вмісту продуктів неповного згоряння вуглеводнів C_nH_m у вихлопних газах здійснювався за допомогою газоаналізатора ГЛ1121, рис. 5.10.



Рис. 5.8 – Димомір ИНА -109



Рис. 5.9 – Газоанализатор ГАИ-1

Визначення у відпрацьованих газах вмісту оксиду азоту NO_x виконувалась за допомогою газоаналізатора ПЭМ 2М.

При цьому випускна система двигуна внутрішнього згорання була повністю укомплектована, не мала прогарів, механічних пробоїн та нещільностей у з'єднаннях, які призводять до витoku відпрацьованих газів і підсмоктування повітря.

Перед вимірюванням двигун був прогрітий до температури охолоджувальної рідини $85-90^\circ\text{C}$ і температури моторної оливи в системі змащування 80°C , що відповідає діапазону робочих температур за рекомендаціями підприємства-виробника. Похибка вимірювань обладнання і приладів наведено в таблиці 5.10.



Рис. 5.10 – Газоаналізатор ГЛ1121

Таблиця 5.10 Похибка вимірювань обладнання і приладів

Вимірювальна величина	Засоби вимірювання	Розмірність	Похибка
1	2	3	4
Крутний момент	Балансирна машина	Нм	± 0,1%
Частота обертання колінчатого валу	Частотомір Ф 5041	хв. ⁻¹	± 1
Витрата палива			
- час	Секундомір	с	± 0,01
- вага	Ваги ВЛКТ-500-М	г	± 0,5
Тиск повітря	Барометр - анероїд БАММ-1	Па	± 0,5
Температура повітря	Термометр ртутний ТМ-1	°С	± 0,5
Температура ВГ у випускному колекторі	термопарою МВТ 5111	°С	± 2,5
Вміст у ВГ:			
- димність	Димомір ИНА -109	%	± 2,5%
- СО	ГЛ1121	%	± 2,0%
- C _n H _m	ГЛ1121	млн. ⁻¹	± 2,0%
- NO _x	Газоаналізатор ПЭМ2М	млн. ⁻¹	± 2,0%

Робота двигуна характерна періодичною зміною швидкісного і навантажувального режимів і визначається режимом експлуатації транспортного засобу, що може перебувати в умовах міського або магістрального руху.

Найбільш достовірно відтворює експлуатаційні умови автомобіля європейський їздовий цикл, який передбачає роботу на холостому ході, режим розгону, сталий режим і режим гальмування. При цьому імітація двигуном даного руху здійснюється низкою зовнішніх швидкісних, регуляторних, часткових і навантажувальних характеристик.

Враховуючи наявність на автотракторному двигуні Д 243 всережимного регулятора значну інформативність надає його робота в режимі повного навантаження та на регуляторній гілці, оскільки транспортні дизелі більшу частину часу експлуатуються на режимах цієї характеристики і саме на цих режимах підвищені витрата палива і викиди шкідливих речовин в атмосферу.

У зв'язку з незначними відмінностями фізико-хімічних властивостей бінарного і стандартного палива, регульовальні і установчі параметри дизеля залишені незмінними.

У результаті стендових випробувань двигуна при повній подачі палива отримані регуляторні характеристики.

Отримані результати досліджень свідчать, що збільшення в суміші долі етилових ефірів призводить до зниження її теплотворної здатності і, отже, до підвищення питомої витрати палива g_e та зниження ефективної потужності N_e . Динаміка зміни вказаних показників представлена у таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 Динаміка зміни питомої витрати палива і ефективної потужності

Вид палива	ЕЕРО		ЕЕСО		ЕЕСоО	
	g_e збільшення до, %	N_e зменшення до, %	g_e збільшення до, %	N_e зменшення до, %	g_e збільшення до, %	N_e зменшення до, %
В5	1,65	1,12	1,75	1,99	1,9	2,74
В10	3,65	2,91	3,74	4,0	4,2	4,98
В20	5,85	4,7	5,85	5,99	6,33	7,17
В30	7,52	6,32	7,59	7,98	8,11	9,34
В50	8,73	7,31	9,15	9,0	9,83	10,62
В100	10,01	9,12	11,86	11,0	14,3	12,76

З таблиці 5.11 видно, що значення питомої витрати палива при використанні В100 збільшується:

- для етилових ефірів ріпакової олії на 10%;
- для етилових ефірів соняшникової олії на 12%;
- для етилових ефірів соєвої олії на 14%.

При цьому спостерігається зниження потужності:

- для етилових ефірів ріпакової олії на 9%;
- для етилових ефірів соняшникової олії на 11%;
- для етилових ефірів соєвої олії на 13%.

За результатами обробки експериментальних даних побудовані регуляторні характеристики для роботи дизеля на дизельному палеві та різних сумішей етилових ефірів ріпакової, соняшникової та соєвої олій, рис. 5.11 – 5.15.

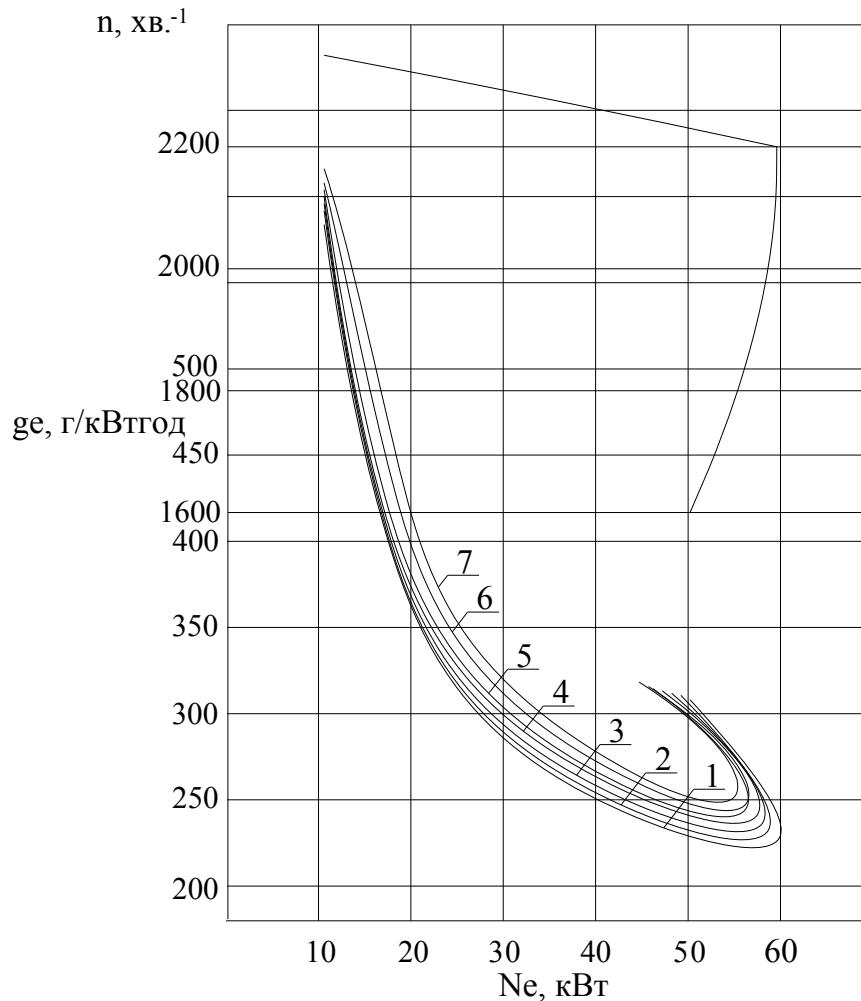


Рис. 5.11 – Регуляторна характеристика дизеля Д-243

1 – ДП; 2 – 95% ДП + 5% ЕЕРО; 3 – 90% ДП + 10% ЕЕРО; 4 – 80% ДП + 20% ЕЕРО; 5 – 70% ДП + 30% ЕЕРО; 6 – 50% ДП + 50% ЕЕРО; 7 – ЕЕРО

Використання сумішевого палива призводить до поліпшення екологічних показників. Так, використання в якості палива В100 призводить до зниження натурального показника ослаблення світлового потоку, який характеризує наявність у відпрацьованих газах твердих частинок (сажи), таблиця 5.12:

- для етилових ефірів ріпакової олії на 20%;
- для етилових ефірів соняшникової олії на 19%;
- для етилових ефірів соєвої олії на 16%.

Залежність натурального показника ослаблення світлового потоку від вмісту в палеві етилових ефірів представлена на рис. 5.14.

Для подальших розрахунків та досліджень будемо використовувати коефіцієнт ослаблення світлового потоку внаслідок поглинання і розсіювання світла відпрацьованими газами під час проходження ними робочої труби димоміра $N, \%$. Використовую дані таблиці 5.5 розрахуємо зниження N у відсотках по відношенню до N у дизельного палива. Результати розрахунків наведено в таблиці 5.15.

Результати зміни вмісту оксиду вуглецю CO та азоту NO_x, незгорілих вуглеводнів C_nH_m у відпрацьованих газах наведені в таблиці 5.14 та на рис. 5.15–5.17.

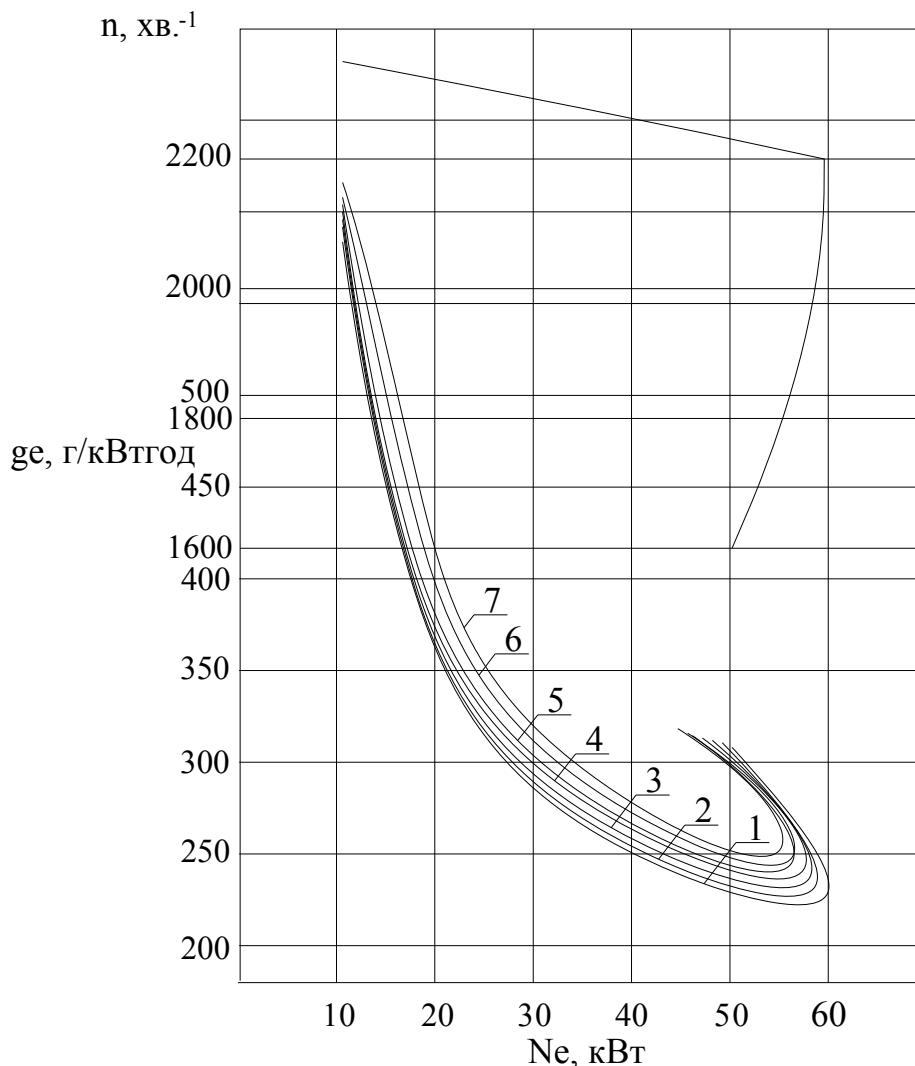


Рис. 5.12 – Регуляторна характеристика дизеля Д-243
 1 – ДП; 2 – 95% ДП + 5% ЕЕСО; 3 – 90% ДП + 10% ЕЕСО; 4 – 80% ДП + 20% ЕЕСО; 5 – 70% ДП + 30% ЕЕСО; 6 – 50% ДП + 50% ЕЕСО; 7 – ЕЕСО

Таблиця 5.12 Динаміка зміни димності

Вид палива	ЕЕРО		ЕЕСО		ЕЕСоО	
	К, м ⁻¹	N, %	К, м ⁻¹	N, %	К, м ⁻¹	N, %
ДП	1,92	56,2	1,92	56,2	1,92	56,2
В5	1,86	54,4	1,87	55,0	1,90	56,0
В10	1,79	52,4	1,81	53,0	1,85	54,5
В20	1,74	50,9	1,76	51,2	1,80	53,0
В30	1,71	50,2	1,72	50,8	1,75	51,5
В50	1,70	49,8	1,71	50,0	1,74	51,0
В100	1,68	49,2	1,69	49,6	1,72	50,2

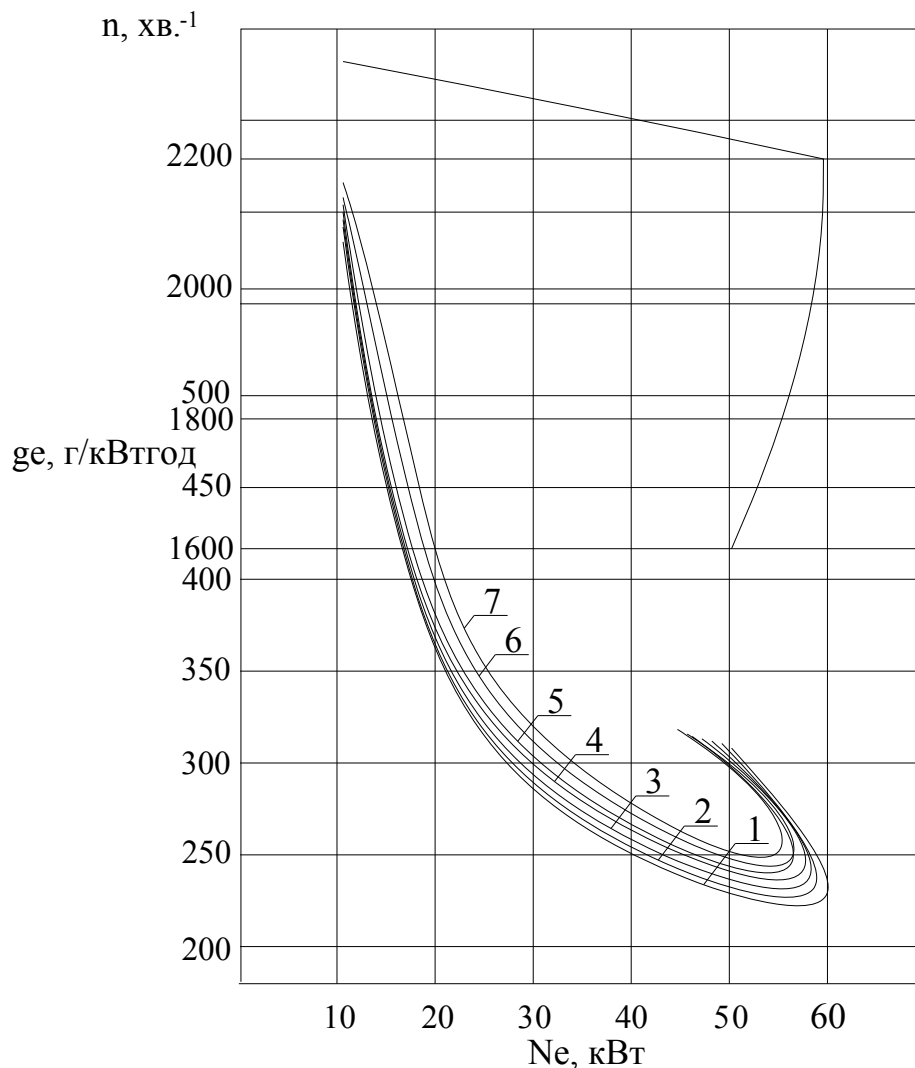


Рис. 5.15 – Регуляторна характеристика дизеля Д-243

1 – ДП; 2 – 95% ДП + 5% ЕЕСоО; 3 – 90% ДП + 10% ЕЕСоО; 4 – 80% ДП + 20% ЕЕСоО; 5 – 70% ДП + 30% ЕЕСоО; 6 – 50% ДП + 50% ЕЕСоО; 7 – ЕЕСоО

Таблиця 5.13 Динаміка зміни коефіцієнта ослаблення світлового потоку для різних типів біопалива по відношенню до дизельного палива

Вид палива	ЕЕРО	ЕЕСО	ЕЕСоО
	% зменшення	% зменшення	% зменшення
ДП	0	0	0
В5	3,2	2,13	0,35
В10	6,76	5,69	3,0
В20	9,43	8,89	5,69
В30	10,6	9,6	8,36
В50	11,38	11,0	9,25
В100	12,4	11,7	10,67

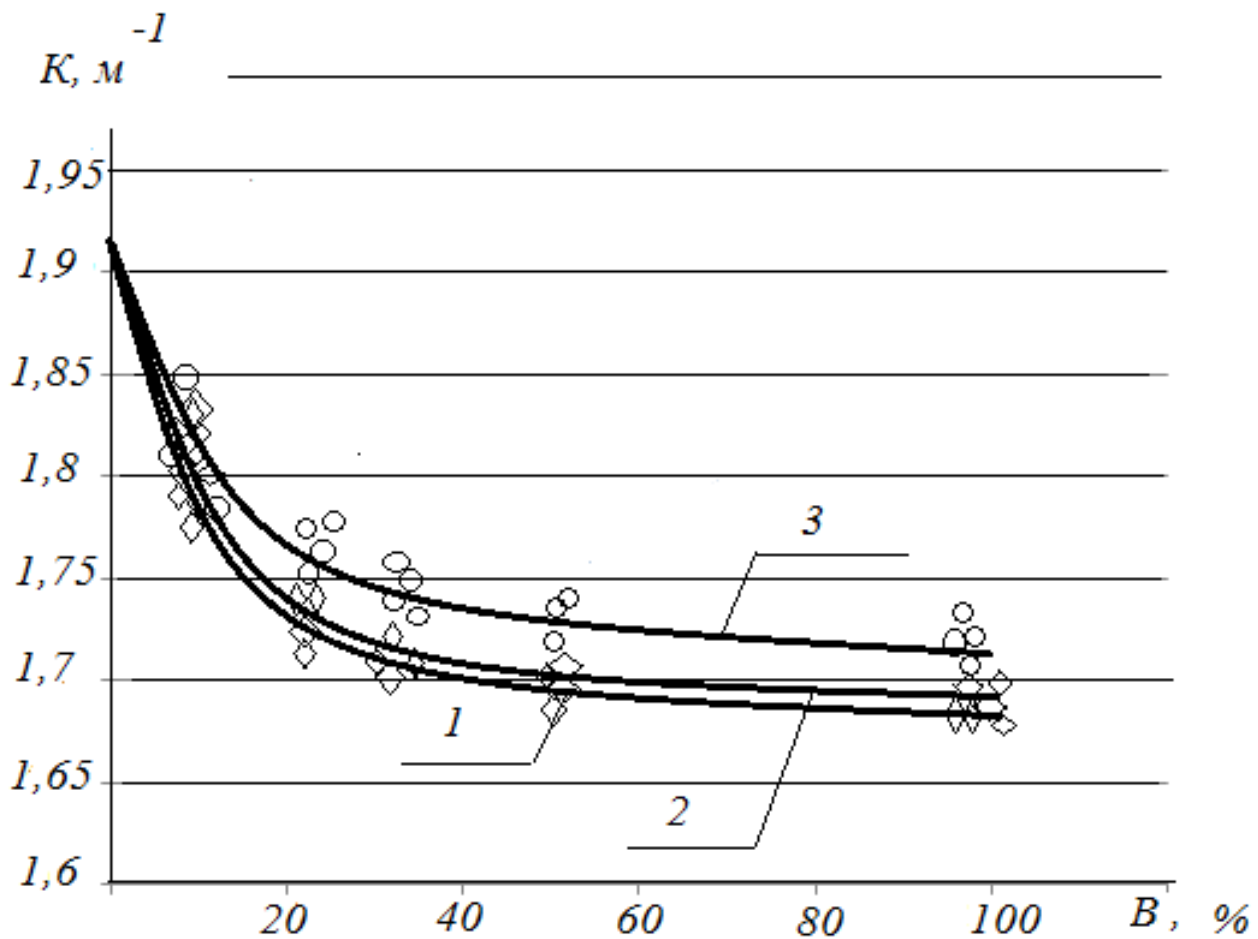


Рис. 5.14 – Динаміка зміни натурального показника ослаблення світлового потоку від вмісту в палеві етилових ефірів
 1 – ЕЕРО; 2 – ЕЕСО; 3 – ЕЕСоО

Таблиця 5.14 Динаміка зміни емісії CO, C_nH_m, NO_x у відпрацьованих газах

Вид палива	ЕЕРО			ЕЕСО			ЕЕСоО		
	CO, % зменшення	C _n H _m , % зменшення	NO _x , % збільшення	CO, % зменшення	C _n H _m , % зменшення	NO _x , % збільшення	CO, % зменшення	C _n H _m , % зменшення	NO _x , % збільшення
В5	9,08	10,08	0,36	8,9	10	0,5	8,66	9,85	0,58
В10	12,18	13,58	1	11,8	13,4	1,15	11,3	13,08	1,2
В20	15,1	16,9	1,22	14,5	16,6	1,26	13,72	16,1	1,3
В30	18,94	21,74	1,461	18,1	21,3	1,51	17,02	20,57	1,7
В50	27,8	25,49	1,91	26,7	24,9	2,0	25,28	23,94	2,1
В100	39,8	28,6	2,1	38,4	27,8	2,12	36,6	26,6	2,2

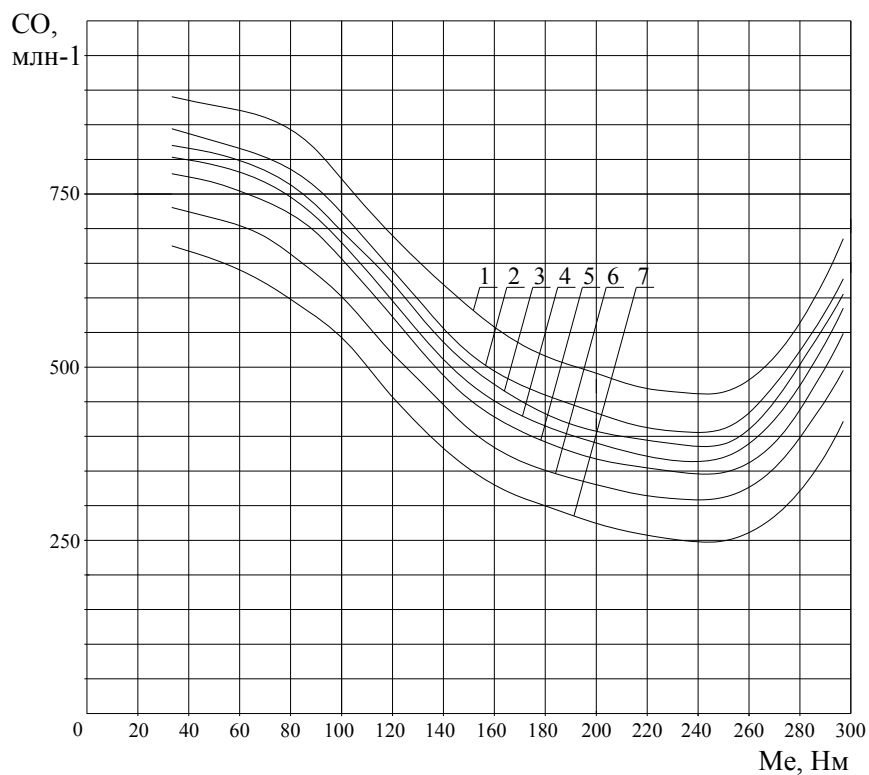


Рис. 5.15 – Залежність викиду оксиду вуглецю від крутного моменту
 1 – Дизельне паливо; 2 – 95% + 5% ЕЕРО; 3 – 90% + 10% ЕЕРО; 4 – 80% + 20% ЕЕРО; 5 – 70% + 30% ЕЕРО; 6 – 50% + 50% ЕЕРО; 7 – ЕЕРО

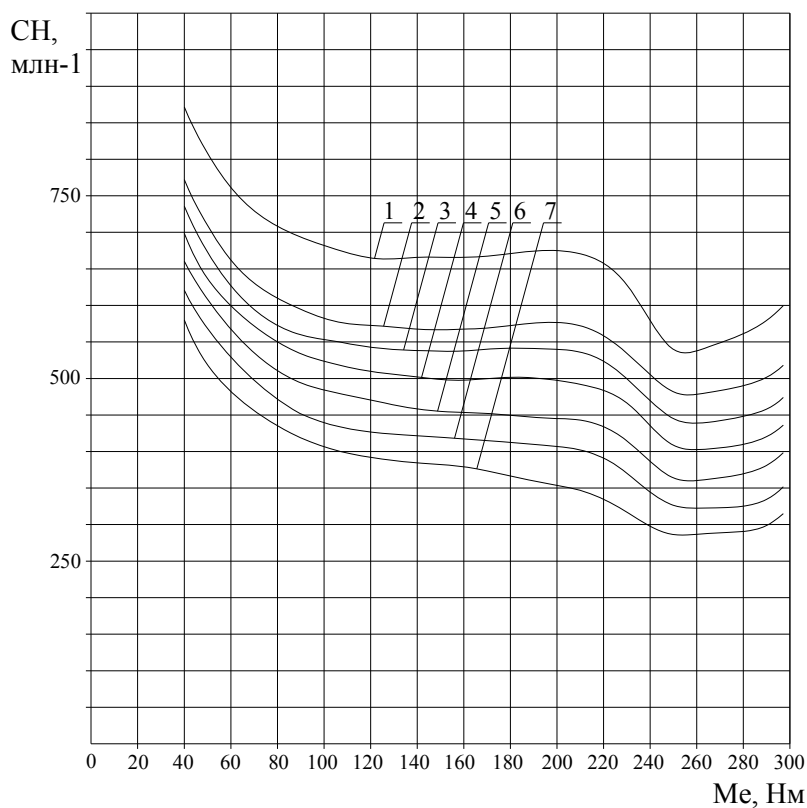


Рис. 5.16 – Залежність викиду незгорілих вуглеводнів від крутного моменту
 1 – Дизельне паливо; 2 – 95% + 5% ЕЕРО; 3 – 90% + 10% ЕЕРО; 4 – 80% + 20% ЕЕРО; 5 – 70% + 30% ЕЕРО; 6 – 50% + 50% ЕЕРО; 7 – ЕЕРО

Аналіз даних свідчить, що збільшення долі етилових ефірів в сумішевому паливі призводить до зниження викидів в навколишнє середовище оксиду вуглецю і незгорілого вуглеводню та незначного збільшення оксиду азоту. Так, при застосуванні В100:

вміст CO зменшився:

- для етилових ефірів ріпакової олії на 38,9%;
- для етилових ефірів соняшникової олії на 38,4%;
- для етилових ефірів соєвої олії на 36,6%;

вміст C_nH_m знизився:

- для етилових ефірів ріпакової олії на 28,6%;
- для етилових ефірів соняшникової олії на 27,8%;
- для етилових ефірів соєвої олії на 26,6%;

натомість вміст NO_x збільшився:

- для етилових ефірів ріпакової олії на 2,1%;
- для етилових ефірів соняшникової олії на 2,12%;
- для етилових ефірів соєвої олії на 2,2%.

Отримані експериментальні дані випробування дизеля на етилових ефірах підтверджують порівнянність показників двигуна при його роботі на метилових ефірах.

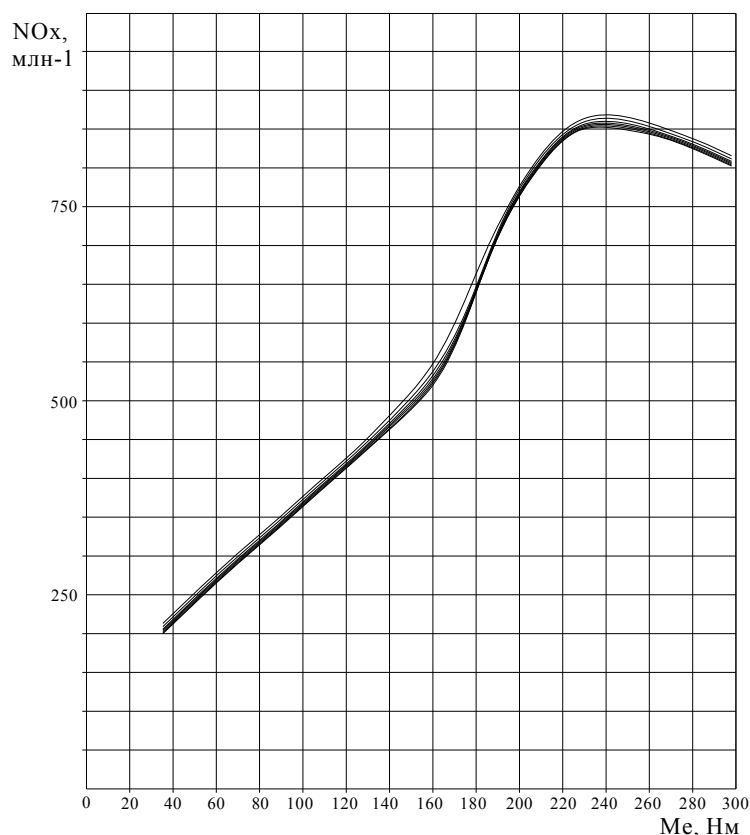


Рис. 5.17 – Залежність викиду оксиду азоту від крутного моменту

Аналіз наведених залежностей на рис. 5.15 і рис. 5.16 дозволяє зробити висновки, що існують раціональні режими навантаження дизеля, де проявля-

ється максимальний ефект зниження викиду шкідливих речовин, а саме вуглекислого газу і продуктів неповного згоряння вуглеводнів. Аналогічний висновок і для твердих частинок у вигляді сажі, рис 5.14 і таблиця 5.15. Однак при цьому, на даних режимах збільшуються викиди оксиду азоту, рис. 5.17. Дану закономірність необхідно враховувати при розрахунку сумарного показника викиду шкідливих речовин при роботі силового агрегату на різних сумішевих видах палива.

Ґрунтуючись на проведених стендових випробуваннях дизельного двигуна, які представлені вище, функцію зміни сумарного викиду шкідливих речовин розраховуємо у вигляді експоненційної залежності, що характерно для залежності, яка представлена на рис. 5.14.

На підставі експериментальних даних сумарний викид шкідливих речовин в атмосферу виразимо наступною залежністю:

$$E = M_v \exp(-Q_{B\%}) \quad (5.27)$$

де E - сумарний викид шкідливих речовин у атмосферу, $г/м^3$;

M_v - сумарний викид шкідливих речовин у атмосферу при роботі двигуна на дизельному, мінеральному паливі, $г/м^3$. Для дизеля Д-243 $M_v = 0,24 г/м^3$;

$Q_{B\%}$ - безрозмірний параметр, який враховує зниження викиду шкідливих речовин в залежності від відсоткового вмісту етилових ефірів у дизельному паливі.

Ґрунтуючись на роботах, аналіз яких проведено в першому розділі даної роботи, запишемо вираз для розрахунку показника ступеня $Q_{B\%}$:

$$Q_{B\%} = CO_{B\%} \cdot m_{CO} + C_n H_m \cdot m_{C_n H_m} + TЧ_{B\%} \cdot m_{TЧ} - NO_{x_{B\%}} \cdot m_{NO_x} \quad (5.28)$$

де $CO_{B\%}$ - величина зниження викиду CO при певному відсотковому вмісті етилових ефірів у сумішевих складі. Безрозмірна величина, яка визначається з таблиці 5.14;

m_{CO} - ваговий коефіцієнт, що враховує “вагу” (значимість) в загальному обсязі шкідливих речовин у відпрацьованих газах;

$C_n H_m$ - величина зниження викиду $C_n H_m$ при певному відсотковому вмісті етилових ефірів у паливі. Безрозмірна величина, яка визначається з таблиці 5.14;

$m_{C_n H_m}$ - ваговий коефіцієнт, що враховує “вагу” (значимість) $C_n H_m$ в загальному обсязі шкідливих речовин у відпрацьованих газах;

$TЧ_{B\%}$ - величина зниження викиду твердих частинок при певному відсотковому вмісті етилових ефірів у паливі. Безрозмірна величина, яка визначається з таблиці 5.13;

$m_{TЧ}$ - ваговий коефіцієнт, що враховує “вагу” (значимість) твердих частинок у загальному обсязі шкідливих речовин у відпрацьованих газах;

$NO_{x_{B\%}}$ - величина збільшення викиду при певному відсотковому вмісті етилових ефірів у паливі. Безрозмірна величина, яка визначається з таблиці 5.14;

m_{NO_x} - ваговий коефіцієнт, що враховує “вагу” (значимість) в загальному обсязі шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

На підставі масиву експериментальних даних, які отримані нами при випробуванні дизеля на стенді за допомогою методу найменших квадратів, були отримані наступні значення вагових коефіцієнтів: $m_{CO}=0,017$; $m_{C_nH_m}=0,0178$; $m_{TЧ}=0,0535$; $m_{NO_x}=0,65$.

Вагові коефіцієнти не залежать від процентного вмісту етилових ефірів у дизельному паливі і є безрозмірною величиною, яка визначає “вагу” забруднювача в загальному обсязі викиду шкідливих речовин. Як впливає з наведених значень на першому місці по “вазі” стоїть NO_x , потім, в значно меншій мірі, тверді частинки (сажа), та в меншій мірі CO і C_nH_m , “вага” яких практично однакова.

Використовуючи формулу (5.6), а так же значення таблиці 5.13 і 5.14, розраховуємо величину показника ступеня вираз (5.5) для сумішевого палива з вмістом 10% ЕЕРО:

$$Q_{B\%} = 12,8 \cdot 0,017 + 13,58 \cdot 0,0178 + 6,76 \cdot 0,0535 - 1 \cdot 0,63 = 0,172$$

Аналогічним шляхом отримуємо для $B30$, $Q_{B30} = 0,354$ і для $B50$, $Q_{B50} = 0,385$.

Використовуючи розрахункові значення показника ступеня $Q_{B\%}$ і підставляючи його в вираз (5.27) шляхом моделювання, отримуємо залежності сумарного викиду шкідливих речовин у атмосферу при роботі дизеля Д-243 на різних сумішевих паливах, що містять етилові ефіри. Залежності представлені на рис. 5.18.

Аналіз представлених залежностей дозволяє зробити висновок, що інтенсивне зниження викидів шкідливих речовин у атмосферу характерно для сумішевих палив $B10 - B30$. Подальше збільшення етилових ефірів у дизельному паливі значного ефекту не створює. На наш погляд, це пов'язано з протиріччям одночасного зниження CO , C_nH_m , $TЧ$ і збільшення NO_x . У зв'язку з тим, що ваговий коефіцієнт у показника NO_x досить високий, відбувається втрата ефекту сумарного зниження викиду шкідливих речовин E , розмірність $г/м^3$.

Даний параметр E буде так само надалі враховуватися при виборі раціональних сумішевих палив для зимового і літнього періоду експлуатації засобів транспорту.

У зв'язку з тим, що на етилові ефіри рослинних олій на даний час не існує розроблених і діючих стандартів в Україні, країнах Західної Європи та США, метою даного дослідження було експериментальним шляхом, в лабораторних умовах, визначити кінематичну в'язкість етилових ефірів при різних температурах.

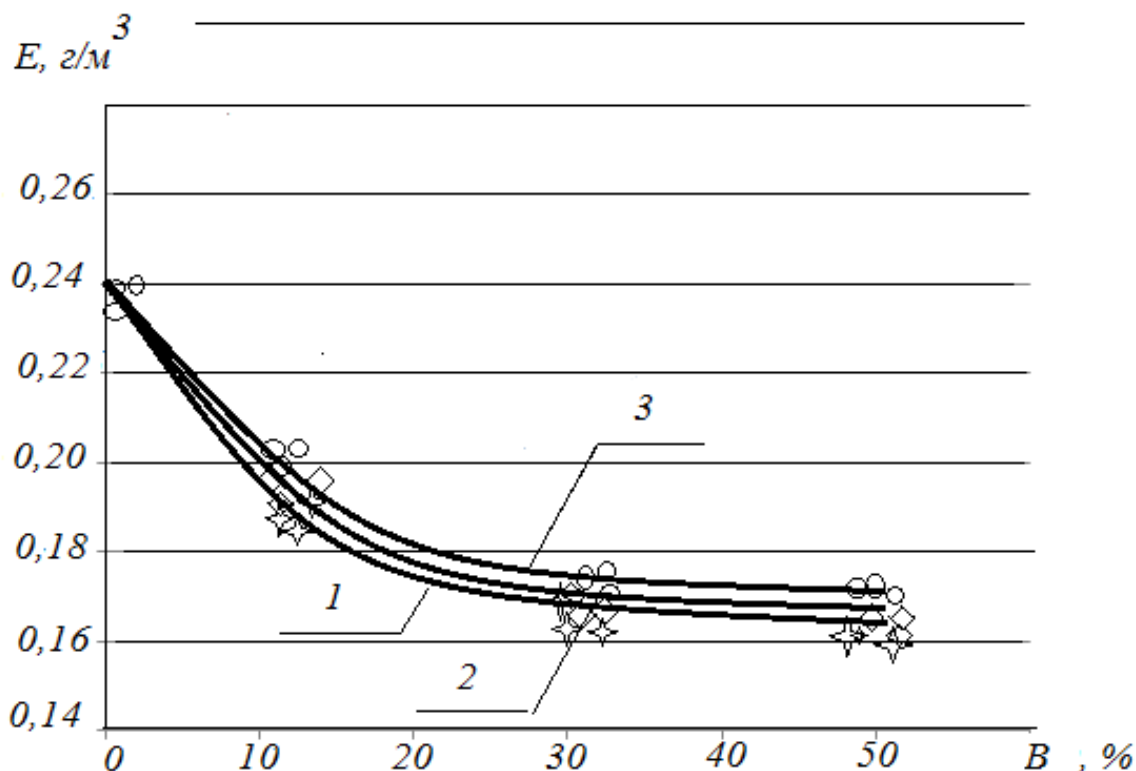


Рис. 5.18 – Залежності зміни сумарного викиду шкідливих речовин
 1 - етилові ефіри ріпакової олії (ЕЕРО); 2 - етилові ефіри соняшникової олії (ЕЕСО);
 3 - етилові ефіри соєвої олії (ЕЕСоО)

Значення кінематичної в'язкості сумішевих палив будемо використовувати при обґрунтуванні раціональних складів етилових ефірів у дизельному паливі для періодів зимової та літньої експлуатації засобів транспорту.

Лабораторні дослідження кінематичної в'язкості проводилися за міжнародним стандартом “ГОСТ 33-2000 (ISO 3104-99). Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості”.

Стандарт встановлює метод визначення кінематичної в'язкості рідких нафтопродуктів виміром часу витікання певного об'єму рідини під дією сили тяжіння через калібрований скляний капілярний віскозиметр.

При випробуванні використовувалися два типи віскозиметрів: ВНЖ 0,61 з діаметром капіляра 0,61 мм і діапазоном вимірювання від 2 до 10 $\text{мм}^2/\text{с}$, і ВНЖ 0,8 з діаметром капіляра 0,8 мм і діапазоном вимірювання від 6 до 30 $\text{мм}^2/\text{с}$.

Віскозиметр ВНЖ 0,61 використовувався в температурному діапазоні палива 10 ... 40 $^{\circ}\text{C}$, віскозиметр ВНЖ 0,8 при температурі палива 0 $^{\circ}\text{C}$.

На першому етапі визначалася кінематична в'язкість етилових ефірів ріпакової, соняшникової та соєвої олій при температурах від 10 до 40 $^{\circ}\text{C}$ з кроком 10 $^{\circ}\text{C}$.

Результати випробувань представлені на рис.5.19. Для порівняння на графіку нанесена в'язкісно-температурна характеристика для дизельного палива.

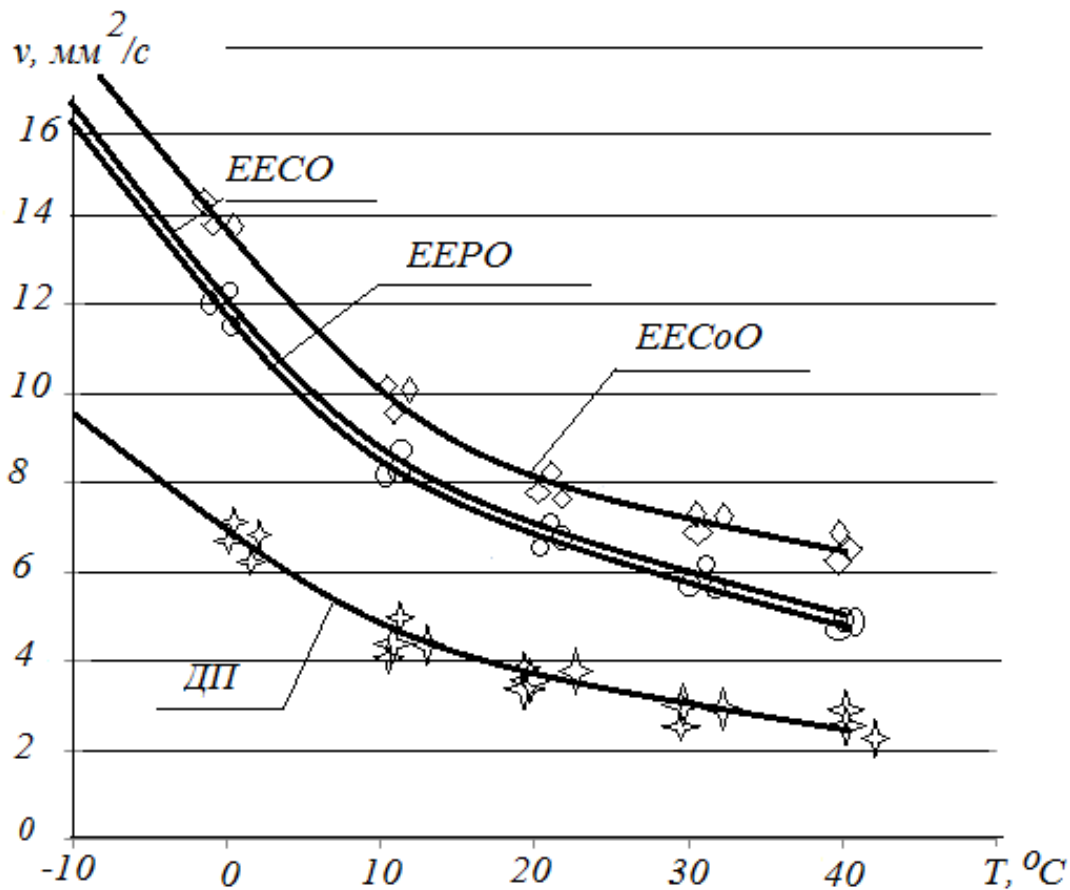


Рис. 5.19 – В'язкостно-температурні характеристики дизельного палива ДП і етилових ефірів ріпакової (ЕЕРО), соняшникової (ЕЕСО) і соєвої (ЕЕСоО) олії

На другому етапі визначалася кінематична в'язкість етилових ефірів рослинних олій при температурі 0°C.

Застосовуючи метод найменших квадратів нами були отримані регресійні рівняння, які адекватно описують характер зміни кінематичної в'язкості різних типів етилових ефірів при зміні температурного діапазону.

Залежність зміни кінематичної в'язкості, мм²/с від зміни температури, T °C для етилових ефірів ріпакової олії:

$$v_{\text{ЕЕРО}} = 12,65 \exp(-0,0245 \cdot T), \text{ мм}^2 / \text{с}; \quad (5.29)$$

для етилових ефірів соняшникової олії:

$$v_{\text{ЕЕСО}} = 12,82 \exp(-0,0245 \cdot T), \text{ мм}^2 / \text{с}; \quad (5.30)$$

для етилових ефірів соєвої олії:

$$v_{\text{ЕЕСоО}} = 13,2 \exp(-0,0245 \cdot T), \text{ мм}^2 / \text{с}; \quad (5.31)$$

для мінерального дизельного палива:

$$v_{\text{ДП}} = 7,2 \cdot \exp(-0,028 \cdot T), \text{ мм}^2 / \text{с}; \quad (5.32)$$

Отримані вирази (5.29) - (5.32) були перевірені на за критерієм Фішера з довірчою ймовірністю 0,9 і дозволяють розрахунковим шляхом визначити кі-

нематичну в'язкість етилових ефірів різних рослинних олій при температурах літнього та зимового періоду експлуатації.

Аналіз в'язкісно-температурних характеристик різних типів етилових ефірів (рис 5.19) дозволяє зробити висновок, що етилові ефіри соєвої олії (ЕЕ-СоО) мають найвищі значення кінематичної в'язкості і при $T = 0^{\circ}\text{C}$ становить $\nu_{\text{ЕЕСоО}} = 14,32 \text{ мм}^2/\text{с}$, а при $T = -10^{\circ}\text{C}$ становить $\nu_{\text{ЕЕСоО}} = 17,75 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Виходячи з даних значень, можна припустити, що серед усіх наявних ефірів саме ЕЕСоО будуть в значній мірі знижувати надійність паливної системи в період зимової експлуатації і можуть бути рекомендовані для літнього періоду експлуатації у вигляді сумішевих палив.

Кінематичну в'язкість сумішевих палив різних об'ємних концентрацій можна визначити згідно Американського національного Стандарту ASTM D7152-11 "Стандартна практика для розрахунку в'язкості нафтопродуктів".

Метод визначення в'язкості суміші компонентів згідно ASTM дозволяє розрахувати кінематичну в'язкість за відомими значеннями в'язкості компонентів при однаковій температурі з урахуванням їх об'ємної частки в сумішевому складі. Отже, використовуючи залежності (5.29) - (5.32) і приймаючи температуру фіксованою, можна отримати в'язкісно-температурну характеристику для палив різного сумішевого складу.

На рис 5.20 представлена в'язкісно-температурна характеристика для різних сумішевих палив на основі ЕЕРО. Дані залежності є теоретичними, так як отримані шляхом моделювання за вказаними вище формулами і методу ASTM і призначені для обліку фактора в'язкості сумішевих палив при виборі оптимальних об'ємних концентрацій етилових ефірів у дизельному паливі для зимового і літнього періодів експлуатації.

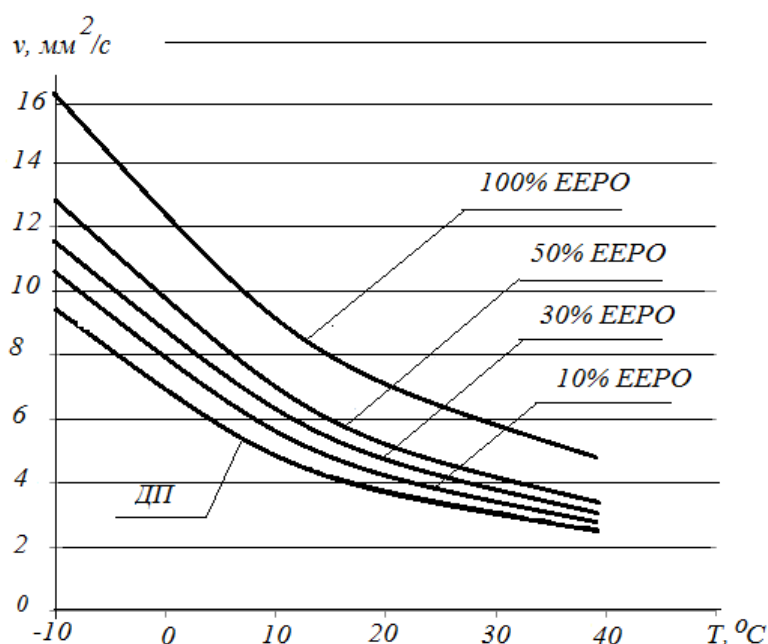


Рис. 5.20 – В'язкісно-температурні характеристики дизельного палива (ДП) і різних об'ємних концентрацій етилових ефірів ріпакової олії (ЕЕРО)

Для порівняння на рис 5.21 представлена в'язкісно-температурна характеристика для різних об'ємних концентрацій сумішевих палив на базі етилових ефірів соєвої олії. Порівняння залежностей (рис. 5.20; 5.21) дозволяє зробити висновок, що сумішеві палива, що містять ЕЕСоО, мають більш високу в'язкість, особливо при низьких температурах. Це підтверджує рані зроблений висновок про те, що сумішеві палива ЕЕСоО придатні тільки для літнього періоду експлуатації.

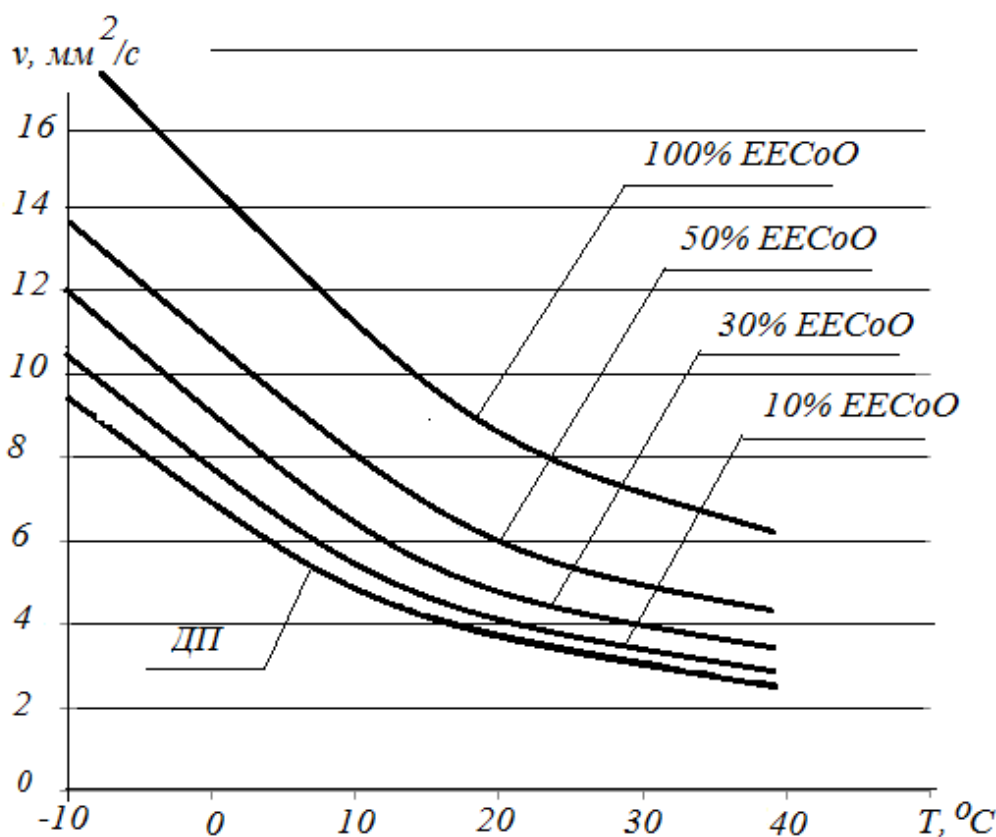


Рис. 5.21 – В'язкісно-температурні характеристики дизельного палива (ДП) і різних об'ємних концентрацій етилових ефірів соєвої олії (ЕЕСоО)

5.4 Обґрунтування критерію оптимізації та вибір сумішевого складу палива для експлуатації засобів транспорту при розширенні паливної бази

Досвід експлуатації дизельних двигунів вантажних автомобілів і тракторів на метилових ефірах ріпакової олії встановив доцільність застосування бінарних сумішевих складів, а саме суміш дизельного палива (ДП) і метилових ефірів ріпакової олії (МЕРО). Як зазначалося в першому розділі даної роботи, це пов'язано в першу чергу з труднощами запуску дизеля при низьких температурах, поганою прокачуваністю і фільтрованістю біопалива через фільтри тонкої очистки, а також закоксованістю отворів розпилювачів форсунок.

Для усунення перерахованих недоліків чимало дослідників пропонують для експлуатації в літній та зимовий період застосовувати сумішеві склади дизельного палива та МЕРО.

У даній роботі, з метою усунення ряду недоліків МЕРО, таких як агресивний вплив на гумові вироби, а також на фільтри тонкої очистки, пропонується використовувати новий вид біопалива - етилові ефіру рослинних олій, наприклад ріпакової (ЕЕРО).

Для визначення оптимального складу сумішевого палива (ДП + ЕЕРО) необхідно обґрунтувати і отримати комплексний критерій оптимізації. При досягненні максимального значення даного критерію буде досягатися максимальний крутний момент на валу дизеля $M_{кр}$ при мінімальній об'ємній витраті палива G_V . При цьому досягається мінімізація викиду шкідливих речовин у навколишнє середовище E і зниження в'язкості палива ν_{EE} , яка впливає на прокачуваність через фільтр тонкого очищення, а отже і на надійність паливної системи.

Відповідно до другої теореми подібності і моделювання (π -теорема), всяке рівняння фізичного процесу, записане в певній системі одиниць виміру, може бути представлено у вигляді функціональної залежності між критеріями [157].

Згідно роботи [157] вирази для критеріїв можуть бути отримані різними способами: методом подібності, методом аналізу розмірностей або загальних фізичних міркувань. У даній роботі використовується метод аналізу розмірностей, який дозволяє зберегти фізичний сенс досліджуваних процесів.

Відповідно до правил отримання критеріїв подібності методом аналізу розмірностей, враховуючи фізичний процес що досліджується, в якості одиниці вимірювання обрані: довжина L , м; маса m , кг; час t , с.

Незалежними змінними в цій системі одиниць вимірювання будуть використовуватися такі фізичні параметри процесу:

- об'ємна витрата палива дизеля G_V , m^3/c ;
- кількість шкідливих речовин викинутих у атмосферу E , $кг/m^3$;
- кінематична в'язкість палива ν_{EE} , m^2/c .

В якості базисного вихідного параметра буде використовуватися крутний момент, що розвивається дизелем $M_{кр}$, $H \cdot m = кг \cdot m^2/c^2$.

Для отримання критерію подібності необхідно перевірити відсутність кореляційного зв'язку між базисними змінними: G_V , E , ν .

Про незалежність обраних змінних свідчить нерівність нулю небазисного визначника, складеного з ступенів розмірностей зазначених величин:

$$D_0 = \begin{vmatrix} G_V & L & m & t \\ E & 3 & 0 & -1 \\ \nu & -3 & 1 & 0 \\ & 2 & 0 & -1 \end{vmatrix} = -1.$$

З базисними параметрами пов'язують параметр, що залишився $M_{кр}$, який входить в опис процесу, отримавши безрозмірний параметр подібності. Крите-

рій подібності записується у вигляді добутку всіх базисних параметрів, які мають свою ступінь. Для визначення величини ступенів всіх базисних змінних параметрів необхідно знати значення наступних визначників [157]:

$$D_{G_V} = \begin{matrix} M_{кр} \\ E \\ v_{EE} \end{matrix} \begin{vmatrix} L & m & t \\ 2 & 1 & -2 \\ -3 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & -1 \end{vmatrix} = -1,$$

$$D_E = \begin{matrix} G_V \\ M_{кр} \\ v_{EE} \end{matrix} \begin{vmatrix} L & m & t \\ 3 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & -2 \\ 2 & 0 & -1 \end{vmatrix} = -1,$$

$$D_v = \begin{matrix} G_V \\ E \\ M_{кр} \end{matrix} \begin{vmatrix} L & m & t \\ 3 & 0 & -1 \\ -3 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & -2 \end{vmatrix} = -1.$$

Величини показують, що базисні параметри входять в формулу в ступені -1 , а параметр $M_{кр}$, першого ступеня.

За правилами запису формул, отримуємо:

$$K_{opt} = M_{кр} \cdot G_V^{-1} \cdot E^{-1} \cdot v_{EE}^{-1} = \frac{M_{кр}}{G_V \cdot E \cdot v_{EE}}. \quad (5.33)$$

З метою первинної перевірки правильності отримання критерію проведемо перевірку розмірності. Підставивши в критерій замість фізичних величин їх розмірність, отримуємо, що критерій K_{opt} безрозмірний.

Другим етапом перевірки є визначення фізичного сенсу критерію. Максимальне значення критерій K_{opt} буде приймати за умови наявності максимального крутного моменту на валу дизеля при одночасних мінімальних значеннях об'ємної витрати палива, викиду шкідливих речовин в атмосферу і мінімальної в'язкості палива, що не викликає труднощів в прокачуваності палива через паливну систему.

Мінімальне значення критерій K_{opt} приймає при малому значенні крутного моменту, високому значенні об'ємної витрати палива, одночасно великих викидах шкідливих речовин в атмосферу з відпрацьованими газами і більшої в'язкості палива, яка призводить до скорочення термінів заміни фільтрів грубої і тонкої очистки.

Як впливає з наведених міркувань, отриманий критерій K_{opt} відповідає фізичному сенсу досліджуваного процесу і може виступати в якості кількісної величини (міри), як критерій оптимізації при виборі сумішевих видів палива

для експлуатації транспортних засобів, а також при виборі видів палива при розширенні паливної бази.

Обґрунтування раціональних об'ємних концентрацій етилових ефірів у дизельному паливі для зимової та літньої експлуатації виконаємо за допомогою безрозмірного критерію оптимізації (4.1), який отриманий за допомогою аналізу розмірностей.

Виконаємо диференційовану оцінку ступеня впливу факторів, які входять у вираз (5.33).

Залежності зміни крутного моменту та об'ємної витрати палива при зміні об'ємної частки змісту етилових ефірів в дизельному паливі представлені на рис. 5.22. Залежності отримані експериментально, при випробуванні дизеля Д-243 на стенді.

Як випливає з представлених залежностей, зі збільшенням вмісту етилових ефірів у дизельному паливі крутний момент зменшується, наприклад при В50 знижується на 7,7...8,4%. При цьому зниження на 7,7% відноситься до ЕЕРО, а 8,4% до ЕЕСоО.

Об'ємна подача палива секціями паливного насоса не змінюється і залишається постійною для всіх сумішевих складів палива.

Залежність зміни викиду шкідливих речовин в атмосферу і кінематичної в'язкості сумішевих палив при зміні об'ємної частки змісту етилових ефірів у дизельному паливі представлені на рис. 5.25.

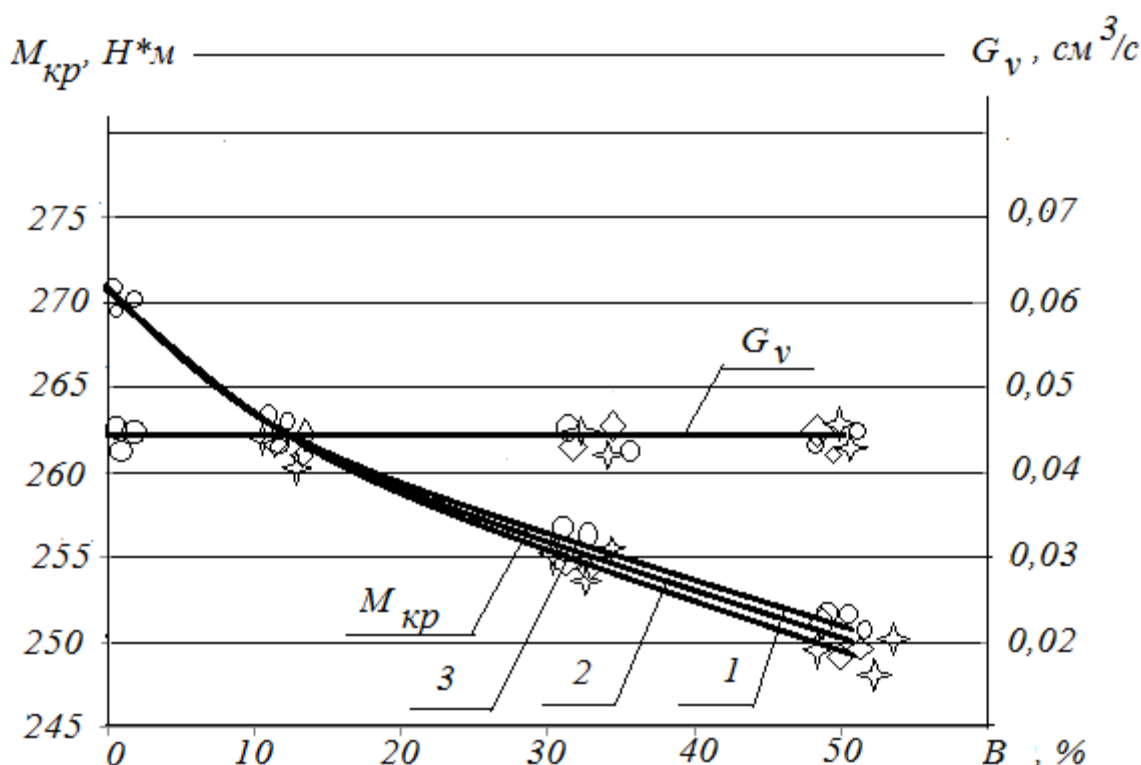


Рис. 5.22 – Залежності зміни крутного моменту та об'ємної витрати палива від вмісту етилових ефірів в дизельному паливі

1 – ЕЕРО; 2 – ЕЕСО; 3 – ЕЕСоО

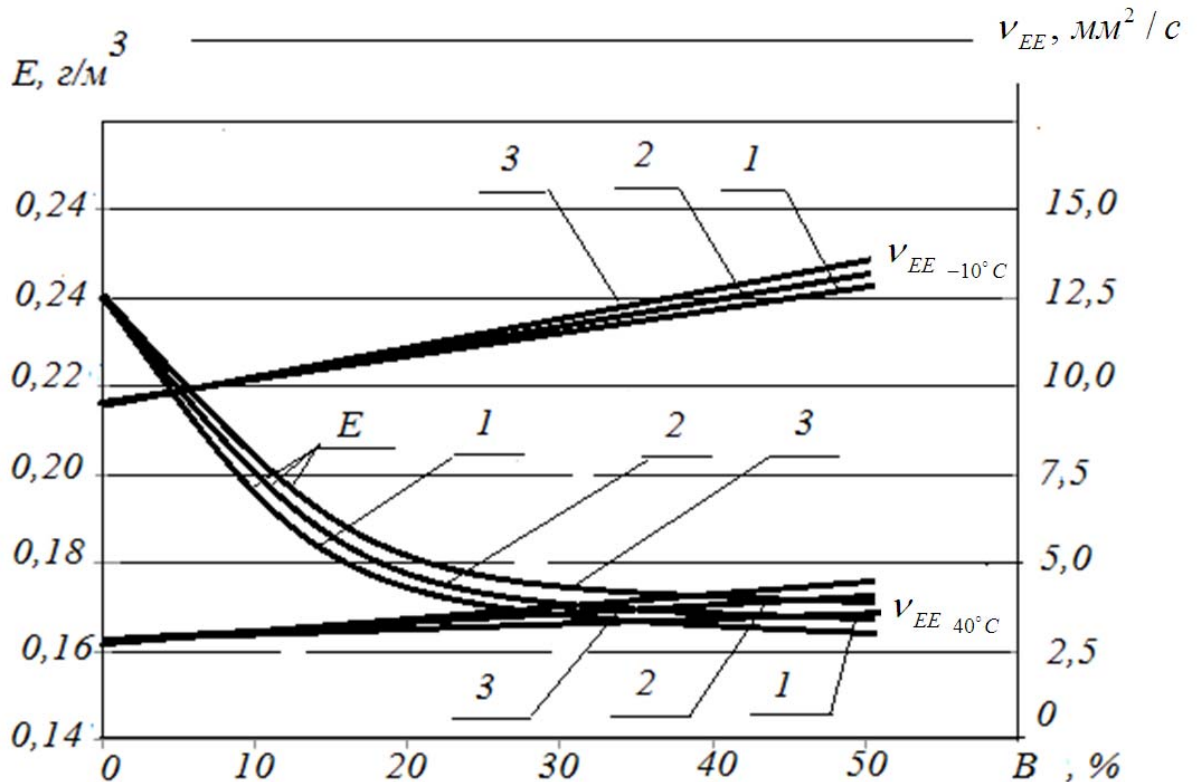


Рис. 5.25 – Залежності зміни сумарного викиду шкідливих речовин та кінематичної в'язкості від вмісту етилових ефірів в дизельному паливі
1 – ЕЕРО; 2 – ЕЕСО; 3 – ЕЕСоО

Залежності зміни викиду шкідливих речовин в атмосферу для різних сумішевих палив В10-В50 були отримані експериментально, рис. 5.14 і відображені на рис. 5.23 без експериментальних точок.

Залежності зміни кінематичної в'язкості сумішевих палив отримані теоретично, по рівняннях (5.29) - (5.32) і представлені для двох температур, для періоду літньої експлуатації $T = +40^{\circ}\text{C}$ та періоду зимової експлуатації $T = -10^{\circ}\text{C}$.

З аналізу представлених залежностей на рис. 5.22 і рис.5.23 можна зробити висновки, що узагальнена крива критерію оптимізації, який представлений залежністю (5.33), буде мати два оптимуми.

Розрахункові залежності зміни критерію оптимізації K_{opt} для різних сумішевих палив В10-В50 представлені на рис. 5.24.

Аналізуючи представлені залежності, можна зробити висновок, що критерій оптимізації має оптимум. Для періоду літньої експлуатації, коли в'язкість сумішевого палива знаходиться в межах $\nu = 2,62 - 3,48 \text{ мм}^2 / \text{с}$, максимальне значення $K_{opt} = 11861$ і відповідає сумішевому складу В30. Для В10 $K_{opt} = 11238$, а для В50 $K_{opt} = 9724$.

Для періоду зимової експлуатації, коли в'язкість сумішевого палива знаходиться в межах $\nu = 9,52 - 12,72 \text{ мм}^2 / \text{с}$, максимальне значення $K_{opt} = 2966$

відповідає значенню В10. При цьому, для сумішевого палива В30 $K_{opt} = 2866$, а для В50 $K_{opt} = 2690$.

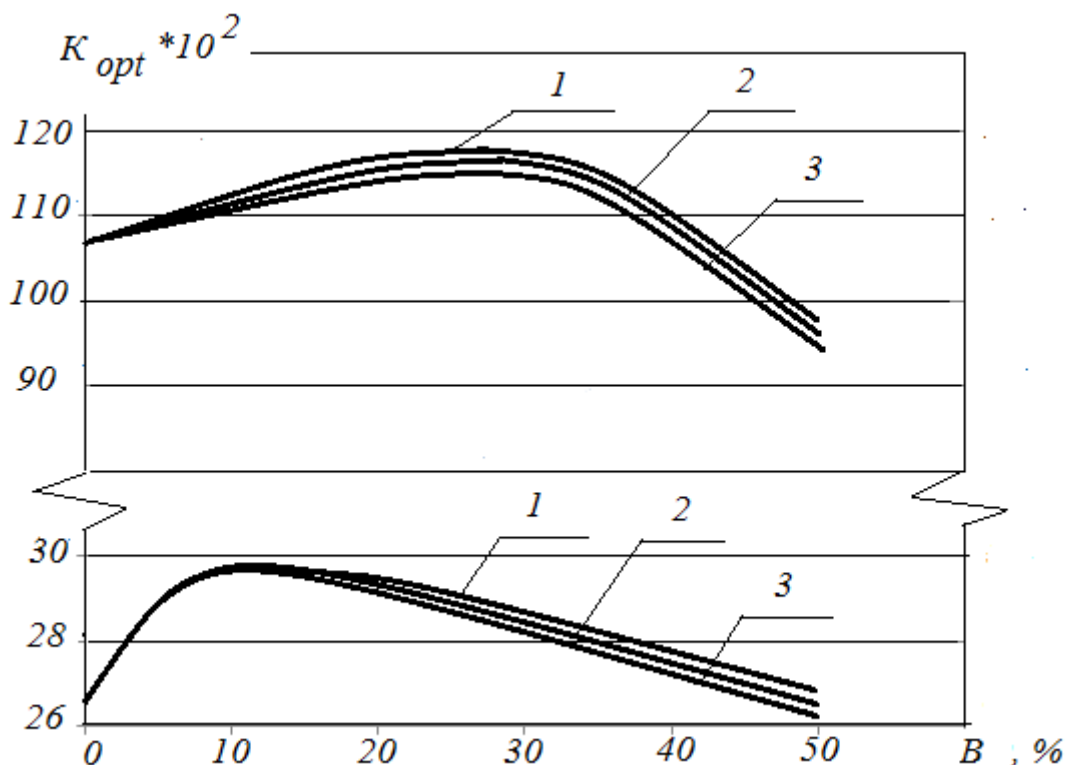


Рис. 5.24 – Залежності зміни критерію оптимізації від вмісту етилових ефірів в дизельному паливі
1 – EERO; 2 – EECO; 3 - EESoo

Велика різниця в значеннях K_{opt} , рівна 3,99, пояснюється відмінністю кінематичної в'язкості при температурах $T = -10^{\circ}\text{C}$ і $T = +40^{\circ}\text{C}$. Високі значення в'язкості знижуватимуть фільтрованість палива через фільтри тонкої очистки, що буде експериментально доведено в 5 розділі даної роботи.

Аналізуючи залежності, представлені на рис. 5.24, можна стверджувати:

- для літнього періоду експлуатації необхідно застосовувати сумішеві палива не більше 30% етилових ефірів рослинних олій;
- для зимового періоду експлуатації необхідно застосовувати сумішеві палива, що містять не більше 10% етилових ефірів рослинних олій.
- Керівним документом, який визначає порядок випробувань автотранспортних засобів на паливну економічність, є ГОСТ 20306-90. Даний стандарт встановлює такі показники паливної економічності автотранспортних засобів:
 - контрольний витрата палива;
 - витрата палива в магістральному циклі на дорозі;
 - витрата палива в міському циклі на дорозі.

Визначення зазначених вище показників регламентується відповідною програмою випробувань – їздовими циклами.

Згідно ГОСТ 20306-90 для вантажних автомобілів повною масою понад 3,5 т в якості програми випробувань застосовується магістральний їздовий цикл на дорозі. Номери операцій при виконанні такого циклу, послідовність операцій і відмітка шляху в метрах представлено на рис. 5.25.

Послідовність операцій і їх номери, а так само позначка шляху початку і завершення операцій міського циклу на дорозі для автотранспортних засобів масою понад 3,5 т представлена на рис. 5.26.

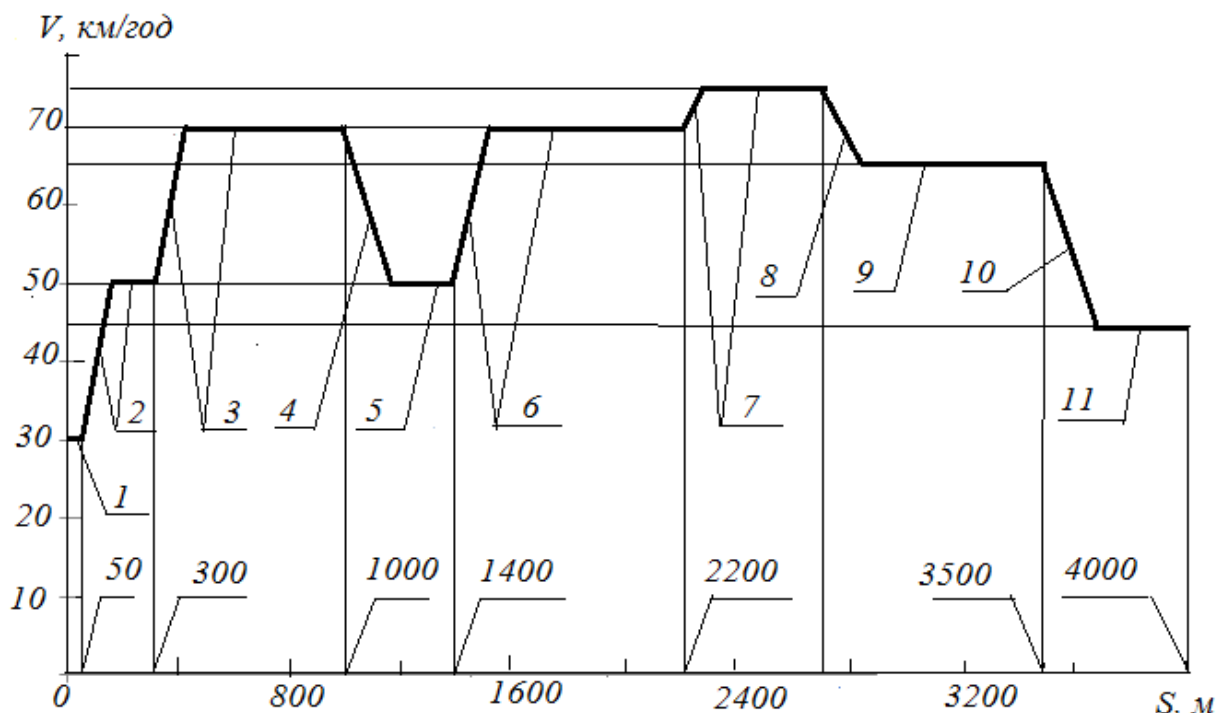


Рис. 5.25 – Схема магістрального циклу на дорозі для вантажних автомобілів повною масою понад 3,5 т:

1 - рух зі швидкістю 30 км/год; 2 - розгін до швидкості 50 км/год і рух з цією швидкістю; 3 - розгін до швидкості 70 км/год і рух з цією швидкістю; 4 - уповільнення двигуном до швидкості 50 км/год; 5 - рух зі швидкістю 50 км/год; 6 - розгін до швидкості 70 км/год і рух з цією швидкістю; 7 - розгін до швидкості 75 км/год і рух з цією швидкістю; 8 - уповільнення двигуном до швидкості 65 км/год; 9 - рух зі швидкістю 65 км/год; 10 - уповільнення двигуном до швидкості 45 км/год; 11 - рух зі швидкістю 45 км/ч.

Випробувальні заїзди проводилися на кільцевій дорозі в одному напрямку і для підвищення точності вимірювань повторювалися не менше трьох разів, що відповідає вимогам стандарту ГОСТ 20306-90.

Відстань кільцевої дороги завдовжки в 4000 м вибиралося без ухилів і поворотів і попередньо розмічалась пропорційно з номером початку операції, що виключало помилки водія-випробувача при виконанні їздового циклу.

Розгін, уповільнення при гальмуванні двигуном або службове гальмування при включеній передачі із застосуванням робочих гальм (для тих операцій міського циклу, де передбачена повна зупинка і робота на холостому ході протягом 15 с), здійснювалася відповідно до вимог зазначеного вище стандарту.

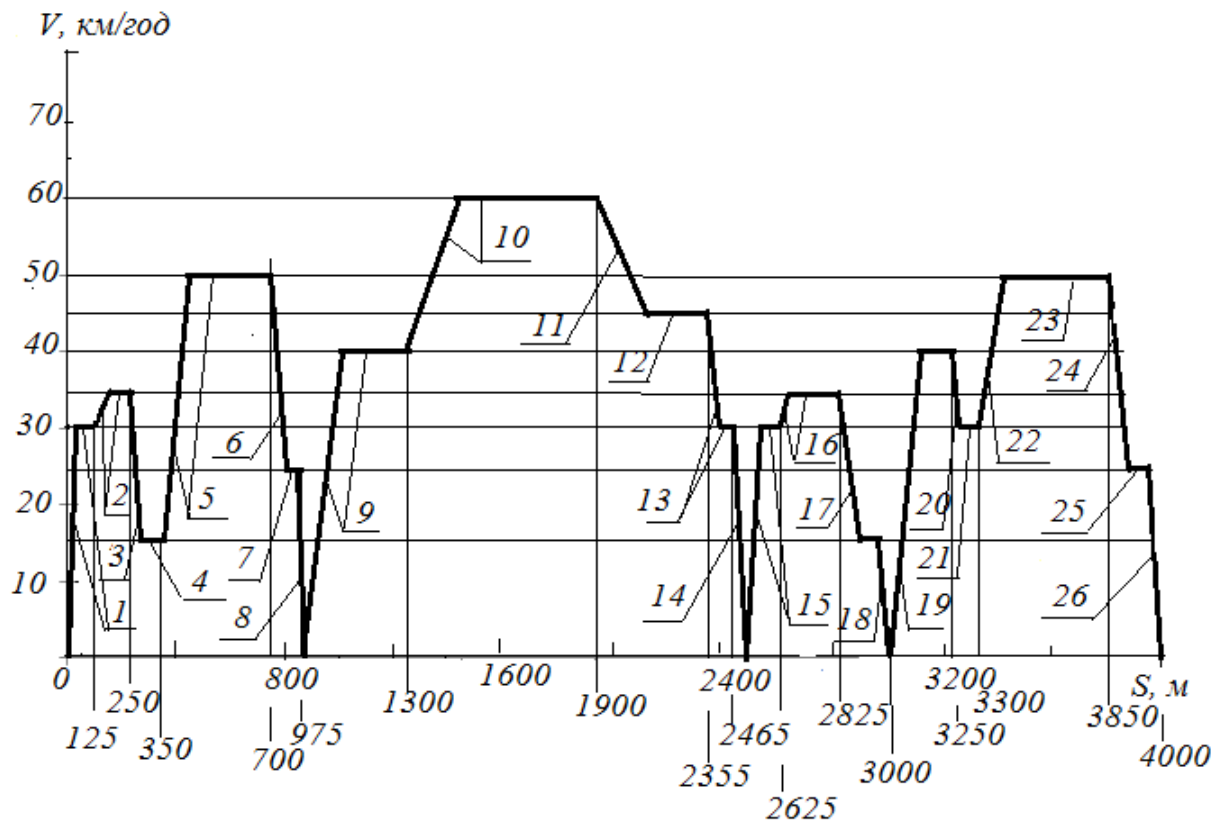


Рис. 5.26 – Схема міського циклу на дорозі для вантажних автомобілів повною масою понад 3,5 т:

1 - розгін до швидкості 30 км/год і рух до позначки 125 м; 2 - розгін до швидкості 35 км/год і рух до позначки 250 м; 3 - гальмування до швидкості 15 км/год; 4 - рух з постійною швидкістю 15 км/год до позначки 350 м; 5 - розгін до швидкості 50 км/год і рух до позначки 700 м; 6 - уповільнення двигуном до швидкості 25 км/год; 7 - рух зі швидкістю 25 км/год до позначки 975 м; 8 - гальмування до повної зупинки, робота на холостому ходу 15 с; 9 - розгін до швидкості 40 км/год і рух до позначки 1300 м; 10 - розгін до швидкості 60 км/год і рух до позначки 1900 м; 11 - уповільнення двигуном до швидкості 45 км/год; 12 - рух зі швидкістю 45 км/год до позначки 2355 м; 13 - гальмування до швидкості 30 км/год до позначки 2465 м; 14 - гальмування до повної зупинки, робота на холостому ходу 15 с; 15 - розгін до швидкості 30 км/год і рух до позначки 2625 м; 16 - розгін до швидкості 35 км/год і рух до позначки 2825 м; 17 - уповільнення двигуном до швидкості 15 км/год; 18 - гальмування до повної зупинки, робота на холостому ходу 15 с; 19 - розгін до швидкості 40 км/год і рух до позначки 3250 м; 20 - гальмування до швидкості 30 км/год; 21 - рух зі швидкістю 30 км/год до позначки 3300 м; 22 - розгін до швидкості 50 км/год; 23 - рух зі швидкістю 50 км/год до позначки 3850 м; 24 - гальмування до швидкості 25 км/год; 25 - рух зі швидкістю 25 км/год до позначки 3975 м; 26 - гальмування до повної зупинки на позначці 4000 м.

У момент перетину позначки “нуль” (для магістрального циклу) і при рушанні з місця біля позначки “нуль” (при міському циклі), включалися реєструючі прилади, які вимірювали час руху з точністю 0,1 с і об’ємний витрата палива з точністю 1,0 см³

Для виміру витрати палива в умовах їздових циклів використаний наступний пристрій, що представляє собою витратомір палива ИП-179, який був модифікований для проведення досліджень.

Модифікований пристрій, рис. 5.27, складається з трьох блоків. Датчик витрати палива 1, який встановлюється поруч з паливним баком, електронного блока комутації 2, блока індикації та керування 3. Датчик витрати палива встановлюється в магістраль подачі палива перед фільтром-відстойником, як показано на рис. 5.28.

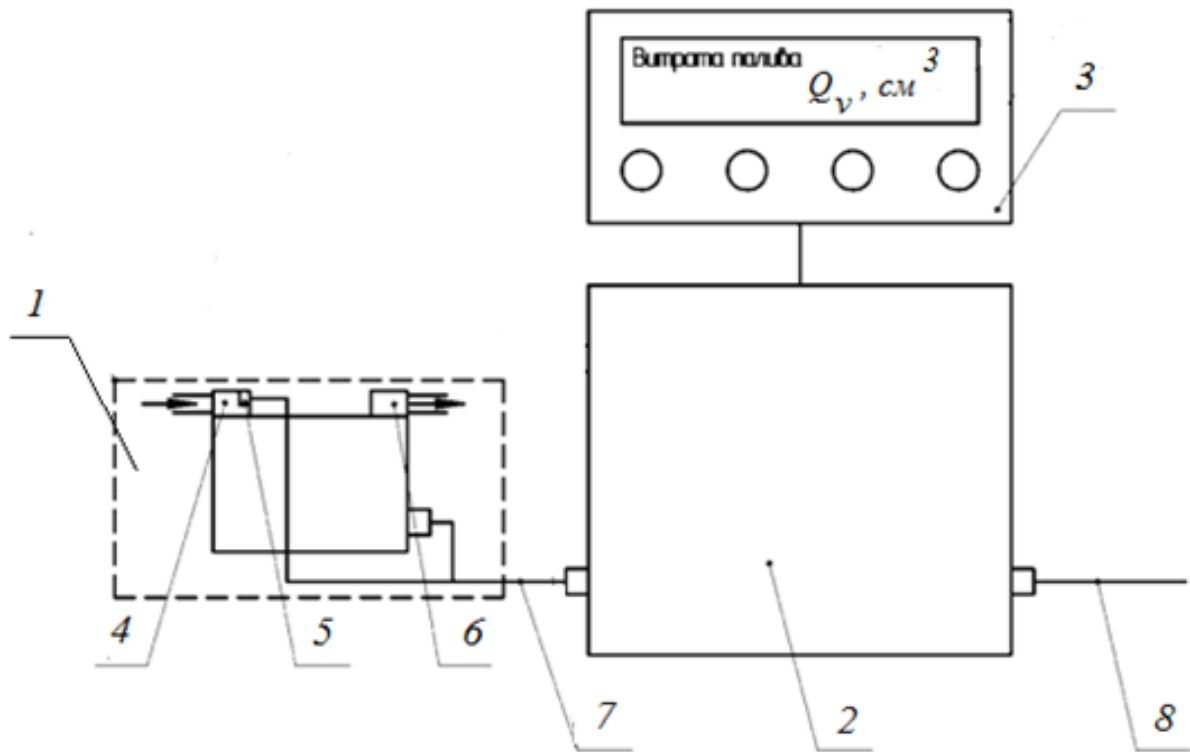


Рис. 5.27 – Схема пристрою для визначення витрати палива:

1 – датчик витрати палива; 2 – електронний блок комутації; 3 – блок індикації та керування; 4 – впускний отвір; 5 – датчик температури; 6 – випускний отвір; 7 – з'єднувальні шнури; 8 – шнур живлення

Паливо подається до впускного отвору 4 датчика 1, в якому знаходиться датчик температури 5, рис. 4.6. Паливо виходить з датчика через випускний отвір 6. Датчик витратоміра за допомогою шнура 7 з'єднаний з електронним блоком комутації 2. На блоці індикації та керування 3 відображається витрата палива. Живиться пристрій від напруги 12 В через шнур 8.

Датчик витрати палива функціонує як об'ємний витратомір і реєструє об'єм палива см^3 , який пройшов через нього.

З інтервалом в 0,5 с пристрій фіксує температуру палива з датчика температури 5. Використовується датчик температури DS18B20 з похибкою вимірювання $\pm 0,5^\circ$.

Комплект обладнання, який застосовувався для виконання їздових циклів наведено на рис. 5.29. Як блок індикації і управління використовувався персональний комп'ютер зі спеціально написаною програмою обробки інформації.

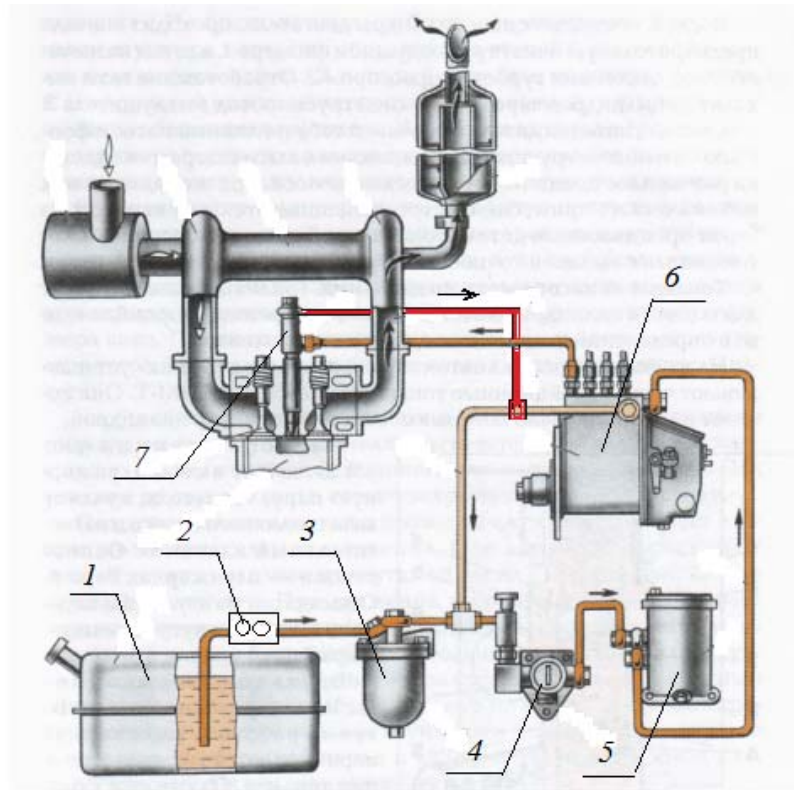


Рис.5.28 – Схема паливної системи автомобіля ЗіЛ 5301 “Бичок” [34]:
1 - паливний бак; 2- датчик витрати палива; 3 – фільтр-відстойник; 4 – насос підкачки;
5 – фільтр тонкої очистки; 6 – паливний насос високого тиску; 7 – форсунка



Рис. 5.29 – Зовнішній вигляд вимірювального комплексу для визначення витрати палива:
1 – датчик витрати палива; 2 – електронний блок комутації; 3 – блок індикації та керування; 4 – впускний отвір; 5 – випускний отвір

За вимірними значеннями часу проходження циклів t, c та об'ємної витрати палива $Q_V, cм^3$, згідно ГОСТ 20306-90 розраховувалися наступні показники:

- середня швидкість руху автотранспортного засобу:

$$V_{cp} = \frac{3,6 \cdot S}{t_{cp}}; \quad (5.34)$$

- середня витрата палива:

$$Q_{cp} = \frac{1000 \cdot Q_{Vcp}}{S}, \quad л/100км. \quad (5.35)$$

де S - довжина вимірювальної ділянки, рівна 4000 м;

t_{cp} - середній час, витрачений на проїзд вимірювальної ділянки, с;

Q_{Vcp} - середня об'ємна витрата палива, яка вимірюється витратоміром за випробувальним циклом, $cм^3$.

Випробування по магістральному циклу проводилися на вантажному автомобілі ЗІЛ-5301 "Бичок", який мав загальний пробіг від початку експлуатації 14 тис. км. На автомобілі встановлений дизельний двигун Д 245.12 з турбонаддувом потужністю 73 кВт і питомою витратою палива $q = 245 г/кВт \cdot год$.

Випробування проводилися на кільцевій дорозі з прямолінійним ділянкою. При цьому швидкість вітру не перевищувала $3 м/с$, спостерігалася відсутність опадів, атмосферний тиск не перевищувало $910 гПа$ ($683 мм рт.ст.$), відносна вологість не більше 95%.

Перед початком випробувань в паливний бак автомобіля заправляли 30 л дизельного палива і прогрівали всі агрегати автомобіля пробігом по кільцевій дорозі не менше 50 км при швидкості $2/3$ від максимальної.

Програма випробувань по магістральному їздовому циклу представлена на рис. 5.25.

Контрольні заїзди починалися на дизельному паливі і повторювалися тричі. При цьому реєстрували час виконання заїзду за допомогою вбудованого таймера в вимірювальний комплекс і об'ємну витрату палива, за допомогою витратоміра в $cм^3$.

Після завершення трьох заїздів на дизельному паливі залишок палива зливався, і паливний бак заправлявся 25 л сумішевого палива. Після зміни палива автомобіль виконував пробіг по кільцевій дорозі не менше 30 км. За цей час відбувалася повне вироблення дизельного палива з паливної системи і заповнення всіх фільтрів і трубопроводів новим типом палива.

Після виконання трьох контрольних заїздів на новому типі сумішевого палива і реєстрації часу заїзду та об'ємної витрати палива, залишок палива зливали і заправляли новим типом сумішевого палива з повторенням всіх вище зазначених процедур.

Результати випробувань по магістральному циклу при температурі навколишнього повітря $+20^{\circ}C$ (літній період експлуатації) представлені в таблиці 5.35. В процесі випробувань застосовувалося чотири типи палива:

- дизельне паливо (літнє) - ДП (Л);
- 70% ДП (Л) + 30% ЕЕРО;
- 70% ДП (Л) + 30% ЕЕСО;
- 70% ДП (Л) + 30% ЕЕСоО.

У таблиці 5.33 наведені середні значення часу випробувань t_{cp} за трьома заїздами, об'ємної витрати палива Q_{Vcp} за результатами вимірювання витратоміром, а також розрахункові значення середньої швидкості руху, формула (5.34), витрати палива, формула (5.5).

Середньоквадратичне відхилення величини витрати палива визначали за формулою:

$$S_Q = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Q_i - Q_{cp})^2}{n-1}}, \quad (5.36)$$

де S_Q - середньоквадратичне відхилення величини витрати палива;

n - кількість повторів, $n = 3$;

Q_i - витрата палива при кожному заїзді, л/100км;

Q_{cp} - середня витрата палива за трьома заїздами, л/100км.

Коефіцієнт варіації величини витрати палива визначали за виразом:

$$v_Q = \frac{S_Q}{Q_{cp}}. \quad (5.37)$$

Відсоток збільшення витрати палива при застосуванні різних типів сумішевих палив у порівнянні з дизельним паливом визначався виразом:

$$\varepsilon = \frac{Q_{см} - Q_{ДП}}{Q_{ДП}}, \% \quad (5.38)$$

де $Q_{см}$ - витрата сумішевого палива, л/100км;

$Q_{ДП}$ - витрата дизельного палива, л/100км.

З аналізу результатів, наведених у таблиці 5.15, можна зробити наступні висновки.

Застосування сумішевого палива 70% ДП (Л) + 30% ЕЕРО збільшує витрату палива автомобіля на 7,05 ... 7,1%. При цьому величина 7,05% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m = 0$), а величини 7,1% – пробігу з вантажем ($m = 3000$ кг).

Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав $v_Q = 0,04$... 0,046. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірів знаходиться в межах 4,0 ... 4,6%.

Отриманий результат збільшення витрати палива, рівний 7,1% збігається з результатами стендових випробувань, які проведені в третьому розділі даної роботи (таблиця 5.15), де збільшення питомої витрати палива при застосуванні 70% ДП (Л) + 30% ЕЕРО відповідає 7,52 %.

При застосуванні сумішевого палива 70% ДП (Л) + 30% ЕЕСО, таблиця 5.15, відсоток збільшення витрати палива складає 7,05 ... 7,65%. Стендові випробування (таблиця 5.15) показали збільшення питомої витрати палива на 7,59%.

Таблиця 5.15 Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі навколишнього повітря +20 °С.

Маса вантажу m , кг	Час ви-про-бу-ван-ня t_{cp} , с	Об’ємна витрата палива Q_{cp}	Середня швидкість руху V_{cp} км/год	Витрата палива Q_{cp} , л/100км	Середньо квадратичне відхилення S_Q	Коефіцієнт варіації ν_Q	Відсоток збільшення ε , %
Дизельне паливо ДП (Л)							
0	241,1	680	59,72	17,0	0,61	0,036	-
1500	246,4	735	58,41	18,3	0,73	0,04	-
3000	252,6	784	57,0	19,6	0,85	0,043	-
70% ДП (Л) + 30% ЕЕРО							
0	246,3	728	58,46	18,2	0,73	0,04	7,05
1500	251,1	784	57,34	19,6	0,85	0,043	7,1
3000	256,8	840	56,07	21,0	0,97	0,046	7,1
70% ДП (Л) + 30% ЕЕСО							
0	247,5	728	58,18	18,2	0,75	0,041	7,05
1500	252,7	788	56,9	19,7	0,88	0,044	7,65
3000	257,9	844	55,8	21,1	0,99	0,046	7,65
70% ДП (Л) + 30% ЕЕСоО							
0	249,4	736	57,33	18,4	0,78	0,042	8,23
1500	254,6	792	56,55	19,8	0,90	0,045	8,19
3000	259,8	852	55,42	21,3	1,0	0,046	8,67

При застосуванні сумішевого палива 70% ДП (Л) + 30% ЕЕСоО, таблиця 5.15, відсоток збільшення вище і відповідає 8,23 ... 8,67%. Однак дана величина збігається зі значеннями, отриманими під час стендових випробувань (таблиця 5.9), які склали 8,11%.

Однозначно, збільшення маси перевезеного вантажу призводить до збільшення витрати сумішевого палива і збільшення похибки визначення, при цьому коефіцієнт варіації не перевищує значення 0,046.

Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі повітря -5 °С, зимовий період експлуатації, представлені в таблиці 5.16.

Перед початком випробувань були виконані всі вимоги стандарту ГОСТ 20306-90, які були викладені вище. Система опалення кабіни водія була включена.

Як впливає з представлених результатів, відсоток збільшення витрати палива Q_{cp} , л/100 км для різних типів сумішевих палив, в порівнянні з дизельним паливом ДП (З), становить:

- 90% ДП (З) + 10% ЕЕРО, $\varepsilon = 3,31...3,86\%$;
- 90% ДП (З) + 10% ЕЕСО, $\varepsilon = 3,31...3,86\%$;
- 90% ДП (З) + 10% ЕЕСоО, $\varepsilon = 3,86...4,34\%$.

При цьому коефіцієнт варіації знаходиться в межах 0,038 ... 0,049. Велика величина відповідає сумішевому паливу, яке містить етилові ефіри соєвої олії.

Таблиця 5.16 Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі навколишнього повітря $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Маса вантажу m , кг	Час ви-про-бу-ван-ня t_{cp} , с	Об’ємна витрата палива Q_{cp}	Середня швидкість руху V_{cp} км/год	Витрата палива Q_{cp} , л/100км	Середньо квадратичне відхилення S_Q	Коефіцієнт варіації ν_Q	Відсоток збільшення ε , %
Дизельне паливо ДП (З)							
0	243,2	724	59,21	18,1	0,71	0,039	-
1500	248,6	776	57,92	19,4	0,83	0,042	-
3000	254,8	828	56,51	20,7	0,91	0,043	-
90% ДП (З) + 10% ЕЕРО							
0	244,2	748	58,96	18,7	0,72	0,038	3,31
1500	249,3	804	57,76	20,1	0,9	0,044	3,60
3000	255,6	860	56,33	21,5	1,05	0,048	3,86
90% ДП (З) + 10% ЕЕСО							
0	245,3	748	58,7	18,7	0,72	0,038	3,31
1500	250,2	804	57,55	20,1	0,9	0,044	3,60
3000	256,4	860	56,16	21,5	1,05	0,048	3,86
90% ДП (З) + 10% ЕЕСоО							
0	247,4	752	58,20	18,8	0,76	0,04	3,86
1500	252,1	808	57,12	20,2	0,94	0,046	4,12
3000	258,8	864	55,64	21,6	1,06	0,049	4,34

Отримані результати збігаються з результатами стендових випробувань, які наведені в третьому розділі даної роботи. Згідно таблиці 5.9 відсоток збільшення питомої витрати палива при застосуванні 10% етилових ефірів різних олій становить 3,65 ... 4,2%, що збігається з отриманими результатами в процесі виконання їздових циклів.

Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за міським циклом на дорозі при температурі повітря $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (літній період експлуатації), представлені в таблиці 5.17.

Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за міським циклом на дорозі в зимовий період експлуатації при температурі навколишнього повітря $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ представлені в таблиці 5.18.

Аналіз отриманих результатів у таблиці 5.18 дозволяє зробити висновок, що застосування сумішевих палив, в порівнянні з дизельним паливом, збільшує витрату палива:

- 90% ДП (З) + 10% ЕЕРО, $\varepsilon = 3,6...3,96\%$;
- 90% ДП (З) + 10% ЕЕСО, $\varepsilon = 3,6...3,96\%$;
- 90% ДП (З) + 10% ЕЕСоО, $\varepsilon = 4,1...4,45\%$.

При цьому коефіцієнт варіації величини Q_{cp} знаходиться в межах 0,044...0,048.

Таблиця 5.17 Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за міським циклом на дорозі при температурі навколишнього повітря +20 °С.

Маса вантажу m , кг	Час випробування t_{cp} , с	Об’ємна витрата палива Q_{cp}	Середня швидкість руху V_{cp} км/год	Витрата палива Q_{cp} , л/100км	Середньо квадратичне відхилення S_Q	Коефіцієнт варіації ν_Q	Відсоток збільшення ε , %
Дизельне паливо ДП (Л)							
0	468,3	724	30,74	18,1	0,72	0,039	-
1500	477,2	776	30,17	19,4	0,84	0,043	-
3000	491,4	828	29,30	20,7	0,91	0,043	-
70% ДП (Л) + 30% ЕЕРО							
0	470,2	776	30,62	19,4	0,84	0,043	7,1
1500	479,8	832	30,01	20,8	0,92	0,044	7,2
3000	493,6	888	29,17	22,2	1,08	0,048	7,24
70% ДП (Л) + 30% ЕЕСО							
0	470,9	780	30,57	19,5	0,88	0,045	7,1
1500	480,3	836	29,98	20,9	0,96	0,045	7,73
3000	495,7	892	29,04	22,3	1,08	0,048	7,73
70% ДП (Л) + 30% ЕЕСоО							
0	472,3	784	30,48	19,6	0,89	0,045	8,28
1500	481,4	844	29,91	21,1	0,95	0,045	8,76
3000	495,5	900	29,06	22,5	1,09	0,048	8,69

Таблиця 5.18 Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за міським циклом на дорозі в зимовий період експлуатації при температурі навколишнього повітря -5 °С.

Маса вантажу m , кг	Час випробування t_{cp} , с	Об’ємна витрата палива Q_{cp}	Середня швидкість руху V_{cp} км/год	Витрата палива Q_{cp} , л/100км	Середньо квадратичне відхилення S_Q	Коефіцієнт варіації ν_Q	Відсоток збільшення ε , %
1	2	3	4	5	6	7	8
Дизельне паливо ДП (З)							
0	471,2	776	30,56	19,4	0,83	0,042	-
1500	480,3	808	29,98	20,2	0,91	0,045	-
3000	494,5	852	29,12	21,3	1,02	0,047	-
90% ДП (З) + 10% ЕЕРО							
0	474,3	804	30,36	20,1	0,9	0,044	3,6

Продовження таблиці 5.18

1	2	3	4	5	6	7	8
1500	484,5	840	29,72	21,0	1,0	0,047	3,96
3000	498,3	884	28,89	22,1	1,05	0,047	3,75
90% ДП (З) + 10% ЕЕСО							
0	475,5	804	30,28	20,1	0,9	0,044	3,6
1500	485,6	840	29,65	21,0	1,0	0,047	3,96
3000	499,4	884	28,83	22,1	1,05	0,047	3,75
90% ДП (З) + 10% ЕЕСоО							
0	477,3	808	30,16	20,2	0,95	0,047	4,1
1500	487,2	844	29,55	21,1	1,02	0,048	4,45
3000	500,2	888	28,78	22,2	1,08	0,048	4,22

Представлені вище значення збільшення витрати палива, як для літнього, так і для зимового періоду експлуатації співвідносяться з отриманими значеннями питомої витрати палива, які отримані під час стендових випробувань (таблиця 5.9).

Порівнюючи результати випробувань за магістральним циклом (таблиця 5.16) і міським циклом (таблиця 5.18) в зимовий період експлуатації, необхідно відзначити, що при масі вантажу $m = 3000$ кг, витрата палива збільшується до значення 21,1 л/100 км при застосуванні 10% ЕЕРО і до значень 22,2 л/100 км при застосуванні 10% ЕЕСоО.

На підставі отриманих результатів середньої витрати палива за магістральним і міським циклом на дорозі в літній і зимовий періоди експлуатації, були побудовані закономірності зміни витрати палива Q_{cp} , л/100 км в залежності від маси вантажу, що перевозиться, і типу сумішевих палив.

Залежності для літнього періоду експлуатації представлені на рис. 5.30 і рис. 5.31, а для зимового періоду експлуатації на рис. 5.32 і рис. 5.35.

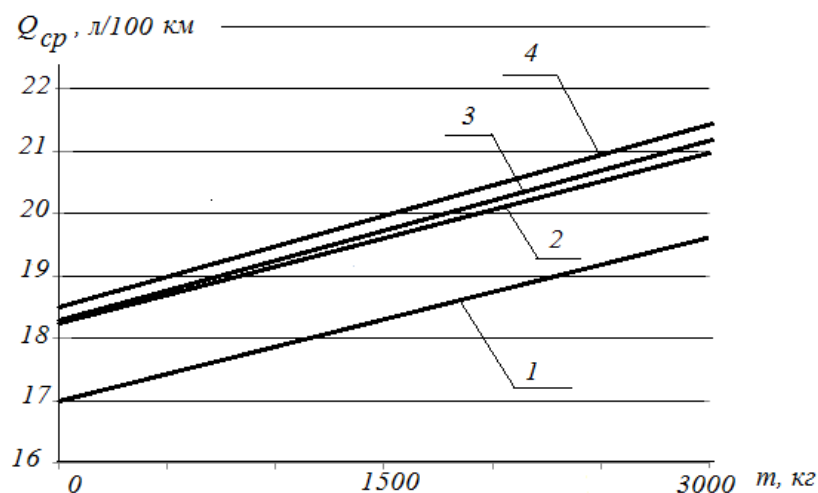


Рис. 5.30 – Залежності зміни середньої витрати палива на магістральному циклі в літній період експлуатації від маси вантажу та типу палива:

1 – ДП (Л); 2 – 70%ДП (Л) + 30%ЕЕРО; 3 – 70%ДП (Л) + 30%ЕЕСО; 4 – 70%ДП (Л) + 30%ЕЕСоО.

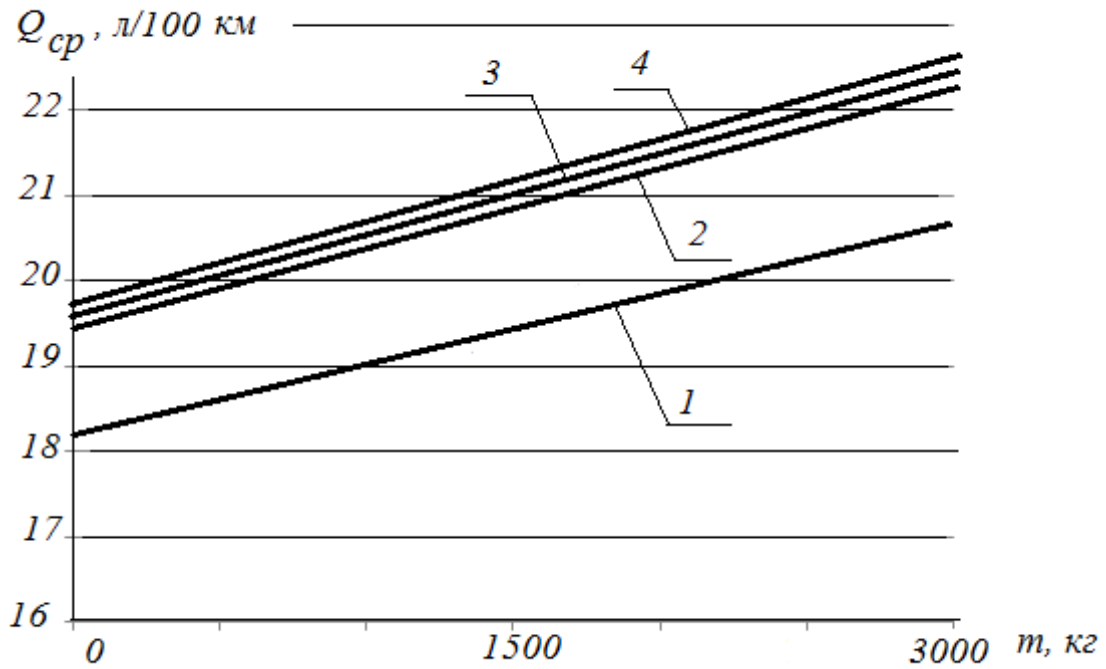


Рис. 5.31 – Залежності зміни середньої витрати палива в міському циклі в літній період експлуатації від маси вантажу та типу палива:
 1 – ДП (Л); 2 – 70%ДП (Л) + 30%ЕЕРО; 3 - 70%ДП (Л) + 30%ЕЕСО; 4 - 70%ДП (Л) + 30%ЕЕСoO

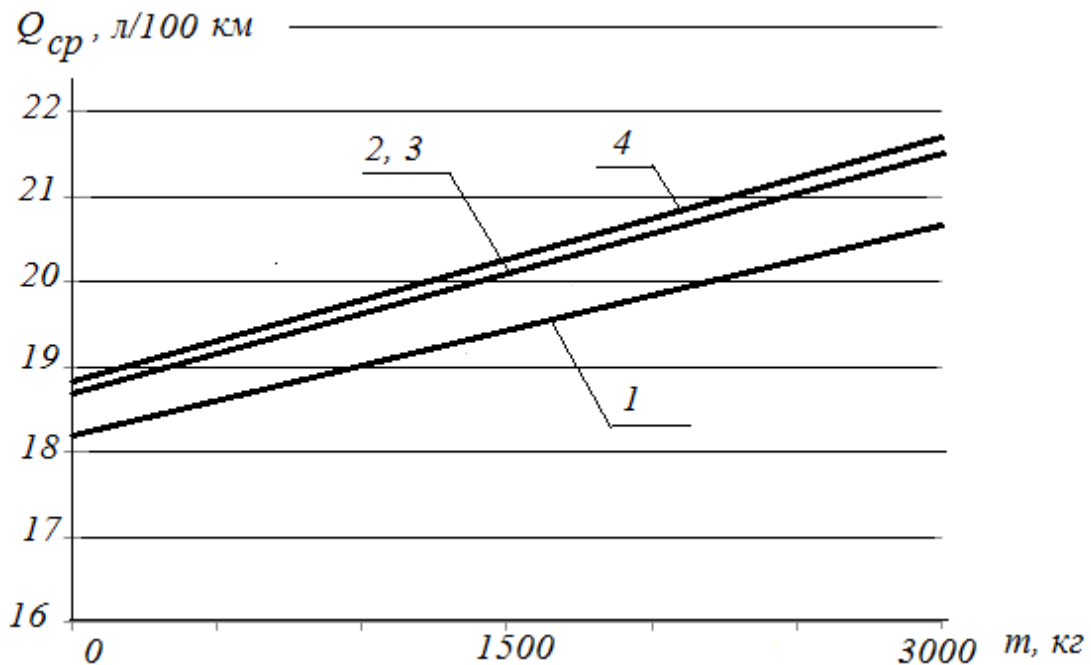


Рис. 5.32 – Залежності зміни середньої витрати палива на магістральному циклі в зимній період експлуатації від маси вантажу та типу палива:
 1 – ДП (З); 2 – 70%ДП (З) + 30%ЕЕРО; 3 - 70%ДП (З) + 30%ЕЕСО; 4 - 70%ДП (З) + 30%ЕЕСoO

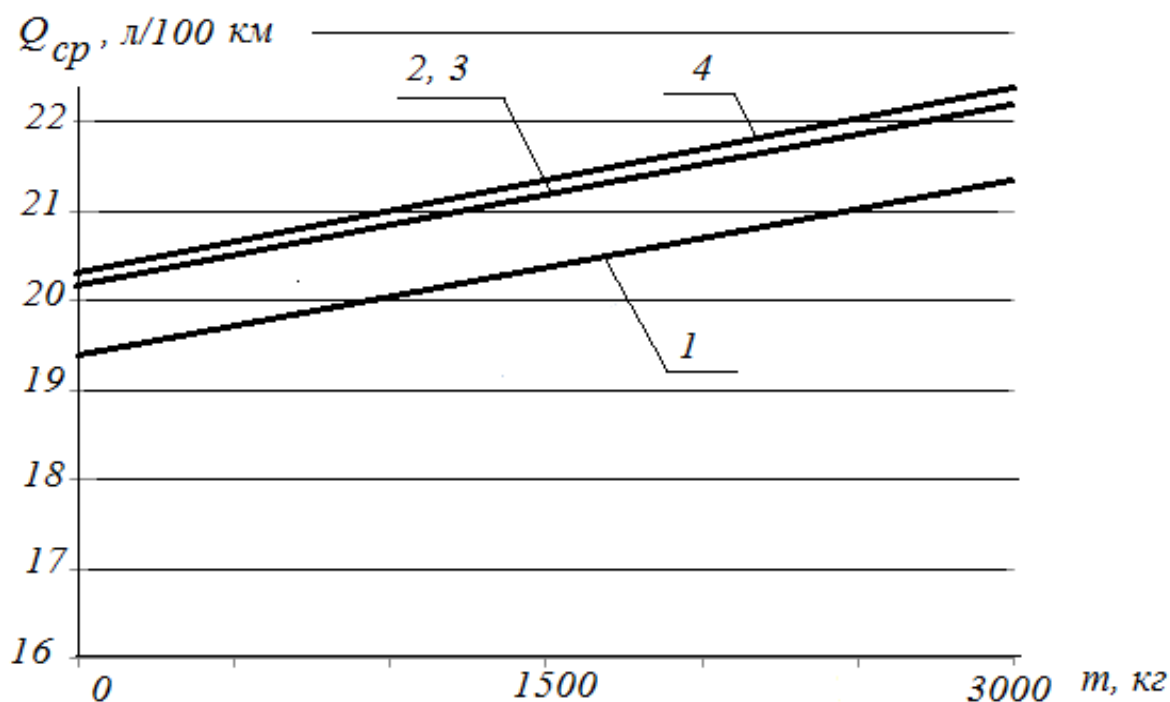


Рис. 5.35 – Залежності зміни середньої витрати палива в міському циклі в зимній період експлуатації від маси вантажу та типу палива:
 1 – ДП (З); 2 – 70%ДП (З) + 30%ЕЕРО; 3 - 70%ДП (З) + 30%ЕЕСО; 4 - 70%ДП (З) + 30%ЕЕСоО

Залежності отримані за експериментальними даними за допомогою методу найменших квадратів та представлені в таблиці 5.15-5.18. Загальне рівняння, яке характерно для всіх типів палива і періодів експлуатації (зимовий і літній), а також умов експлуатації (магістральний або міський цикл), має вигляд:

$$Q_{cp} = a + 9,35 \cdot 10^{-4} \cdot m, \text{ л/100 км} \quad (5.39)$$

де a - безрозмірний коефіцієнт, який залежить від типу палива, періоду і умов експлуатації;

m - маса вантажу, що перевозиться, кг.

Рівняння (5.39) було перевірено на адекватність за критерієм Фішера і відповідає експериментальним даним з довірчою ймовірністю 0,95.

Для визначення витрати палива під час експлуатації, згідно рівняння (5.39), з метою розробки нормативних умов, необхідно знати значення безрозмірних коефіцієнтів a . Фізичний сенс коефіцієнта a - це витрата палива транспортним засобом при поїздки без вантажу, тобто $m = 0$.

У таблиці 5.19 наведені значення коефіцієнта a , які отримані експериментально.

Застосування регресійного рівняння (5.39) сумісно з таблицею 5.19 дозволяє зробити прогноз по витраті палива автомобілем ЗІЛ-5301 “Бичок” в залежності від різних умов експлуатації. Даний механізм розрахунку дозволить планувати і нормувати витрата палива в автопідприємствах при застосуванні сумішевих палив на базі етилових ефірів рослинних олій.

Таблиця 5.19 Значення регресійних коефіцієнтів a для різних умов експлуатації

Тип палива	Значення коефіцієнта a			
	Магістральний цикл (літо)	Магістральний цикл (зима)	Міський цикл (літо)	Міський цикл (зима)
ДП	17,0	18,1	18,1	19,4
ДП+ЕЕРО	18,2	18,7	19,4	20,1
ДП+ЕЕСО	18,2	18,7	19,5	20,1
ДП+ЕЕСоО	18,4	18,8	19,6	20,2

5.5 Розробка рекомендацій щодо забезпечення надійності паливної системи дизелів засобів транспорту при розширенні паливної бази і оцінка економічного ефекту

З 1 березня 2010 року в Україні введено національний стандарт ДСТУ 6081: 2009 “Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги.” Даний стандарт відповідає Європейському стандарту EN14214: 2003 “Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods (паливо для двигунів внутрішнього згорання. Метилові ефіри жирних кислот. Технічні вимоги та методи випробовування)”. Згідно ДСТУ 6081 і EN14214: 2003 біопаливо відрізняється від нафтового дизельного палива (ДСТУ 7688 до: 2015) за такими показниками:

1. Кінематична в’язкість біопалива в два рази більше ніж у дизельного палива.

2. Наявність води (ДСТУ 3868) в дизельному паливі не допускається, в той час як для біопалива допустимо 500 мг / кг або 0,05%. Пов’язано це з тим, що в процесі реакції жирних кислот зі спиртом виділяється вода, яка важко відділяється в процесі виробництва.

5. Відповідно до ДСТУ 3868 вміст механічних домішок в дизельному паливі не допускається. Для біопалива цей показник не повинен перевищувати 24 мг / кг. Пов’язано це з тим, що при виробництві біопалива до механічних домішок відносяться не жирові домішки, а також віск і воскоподібних речовини.

У біопаливі (ДСТУ 6081) загальний гліцерину не повинен перевищувати 0,25%.

Зазначені вище стандарти ДСТУ 6081 і EN14214: 2003 встановлюють технічні вимоги до метилових ефірів рослинних олій. Розглянуті в даній роботі етилові ефіри рослинних олій виключають ряд перерахованих недоліків, наприклад, присутність гліцерину в паливі. Однак присутність в паливі механічних домішок у вигляді воскоподібних речовин залишається, тому що дані речовини входять до складу рослинних олій.

Зазначені недоліки будуть впливати на процес фільтрування палива через фільтри тонкої очистки, який можна оцінити коефіцієнтом фільтрації. Даний коефіцієнт визначається по ГОСТ 19006 як:

$$K_{\phi} = \frac{t_2}{t_1} \quad (5.40)$$

де t_2 - час фільтрування останніх 2 см³ палива, с;

t_1 - час фільтрування перших 2 см³ палива, с.

Згідно ГОСТ 19006 при дослідженні вибирається один і той же обсяг палива, що дорівнює 45 см⁵.

Дослідженню підлягали наступні види палива:

- дизельне паливо (ДП);
- сумішеве паливо (90% ДП + 10% ЕЕРО);
- сумішеве паливо (70% ДП + 30% ЕЕРО);
- сумішеве паливо (50% ДП + 50% ЕЕРО);
- етилові ефіри ріпакової олії (100% ЕЕРО).

Результати досліджень та розрахункові значення коефіцієнта фільтрування представлені в таблиці 5.19.

Аналіз отриманих величин дозволяє зробити висновок, що ДП + ЕЕРО та ЕЕРО мають високі значення K_{ϕ} . Згідно ГОСТ 305-82 значення K_{ϕ} не повинно перевищувати 5. Автор роботи [71] стверджує, що при збільшенні до 6, термін служби фільтрів тонкої очистки необхідно зменшити в три рази.

Для зменшення значень K_{ϕ} при експлуатації на (70% ДП + 30% ЕЕРО) нами були розроблені практичні рекомендації щодо відстоювання палива після процедури змішування з подальшим фільтруванням перед заправкою в баки. Для цього необхідно було визначити час відстоювання сумішевого палива. Після кожних 24 годин відстоювання відбирали пробу палива і визначали K_{ϕ} . Результати дослідження представлені в таблиці 5.20.

Таблиця 5.19 Значення коефіцієнта фільтрування для дизельного палива ДП і сумішевих палив різних об'ємних концентрацій

Вид палива	t_1	t_2	K_{ϕ}
ДП	99	180	1,81
(90% ДП+10% ЕЕРО)	112	1030	9,2
(70% ДП+30% ЕЕРО)	192	2842	14,8
(50% ДП+50% ЕЕРО)	282	6909	24,5
(100% ЕЕРО)	580	23316	40,2

Таблиця 5.20 Значення коефіцієнта фільтрування від часу відстоювання

Паливо	Час відстоювання, години						
	24	48	72	96	120	144	168
(90%ДП+10%ЕЕРО) K_{ϕ}	7,2	5,8	2,6	2,5	2,4	2,4	2,4
(70%ДП+30%ЕЕРО) K_{ϕ}	10,2	6,8	3,7	2,6	2,4	2,4	2,4

Аналіз змін значень K_{ϕ} в залежності від часу відстоювання палив дозволяє зробити висновок, що для палива (90% ДП + 10% ЕЕРО) після 72 годин, значення K_{ϕ} стає менше 3, а для палива (70% ДП + 30% ЕЕРО), після 96 годин. Отже, для таких сумішевих палив будуть забезпечуватися добрі умови фільтрування через паперові фільтри тонкої очистки. Як видно з таблиці 5.2 подальше збільшення часу відстоювання ефекту не дає, K_{ϕ} залишається на рівні 2,4.

Проведені дослідження дозволяють розробити практичні рекомендації з підготовки сумішевих палив перед заправкою в паливний бак засобів транспорту.

1. Після змішування дизельного палива з етиловим ефірами рослинних олій для періоду зимової експлуатації (90% ДП + 10% ЕЕРО), та для періоду літньої експлуатації (70% ДП + 30% ЕЕРО), паливо необхідно відстоювати протягом 72 ± 5 годин і 96 ± 5 годин відповідно.

2. Після відстоювання жовтий осад, що утворився у вигляді фосфоліпідів і воскоподібних з'єднань і домішок, злити.

5. Отримане паливо профільтрувати через штатний фільтр заправної колонки.

Експлуатація дизелів засобів транспорту на сумішевих видах палива буде викликати зміну циклової подачі палива насосними секціями паливних насосів високого тиску.

Пов'язане це з тим, що густина біопалива та сумішевих видів палива вище, ніж дизельного палива. В таблиці 5.21 наведено дані щодо густини дизельного палива та сумішевих видів палив.

Тому актуальним є питання, як буде змінюватися циклова подача секціями ПНВТ як новими (без наробку), так і з граничним наробітком 3000 мотогодин, або 96 тис. км. пробігу.

Таблиця 5.21 Густина різних типів палива при 15°C

Вид палива	ДП	(90% ДП +10%ЕЕРО)	(70% ДП +30%ЕЕРО)	(50% ДП +50%ЕЕРО)	(100%ЕЕРО)
Густина ρ , кг/м ³	860	864	870	880	890

Основним технічним засобом при реалізації досліджень обрано стенд КИ-22205, призначений для випробування і регулювання автотракторних ПНВТ при частоті обертання кулачкового вала 120..1400 хв⁻¹.

Стенд КИ-22205 відповідає вимогам ГОСТ 10578-95. Стенд обладнаний еталонними трубопроводами високого тиску, а також усіма необхідними для проведення випробувань приладами і пристосуваннями (тахометр, манометр, термометр, лічильник циклів, пристрій для вимірювання подачі палива і т.п.). Загальний вигляд стенду представлено на рис 5.1.



Рис.5.34 – Загальний вигляд стенду

Допустима похибка приладів становить:

- приладів для вимірювання температури і тиску палива – до 2,5 %;
- приладів для вимірювання частоти обертання – до ± 5 об/хв;
- лічильника циклів – до +1 циклу.
- сумарна похибка пристроїв для вимірювання подачі палива не більше 1%.

Порядок проведення еталонування трубопроводів високого тиску визначений РТМ 70.0001.044-85.

В якості паливного насосу високого тиску використовувалися насоси типу 4УТНІ-Т 1111005-50 дизелів Д-240 – Д-245.

Насос №1 було обладнано секціями високого тиску, параметри якої повністю відповідають вимогам НТД. Насос №2 було взято з рядової експлуатації з секціями високого тиску з граничним наробітком 3000 мотогодин, або 96 тис. км. пробігу.

Висновки щодо технічного стану секцій зроблено на підставі попереднього випробування насосів у стандартних умовах. У якості визначального параметру прийнято циклову подачу палива на режимі холостого ходу ($n=300$ хв⁻¹).

Після проведення технічної експертизи секцій високого тиску насоси було відрегульовано по параметрах двигуна Д-240.

Експериментальні стендові дослідження впливу вмісту етилового ефіру ріпакової олії в суміші з дизельним паливом виконувалося з застосуванням різних розпилювачів форсунок:

- контрольний розпилювач №1;
- новий (без наробітку) розпилювач №2;
- розпилювач з експлуатації з наробітком 250 мотогодин №4;
- розпилювач з експлуатації з наробітком 500 мотогодин №5;
- розпилювач з експлуатації з наробітком 1000 мотогодин №5.

Випробування проводили на наступних типах палива: ДП; (90% ДП+10% ЕЕРО); (70% ДП+30% ЕЕРО); (50% ДП+50% ЕЕРО); (100% ЕЕРО). Суміш (50% ДП+50% ЕЕРО) було додатково введено в дослідження з метою більш точної побудови кривої залежності відносної циклової подачі від вмісту ЕЕРО в дизельному паливі.

Після проведення випробувань насоса виконується розрахунок його основних параметрів у такій послідовності.

Середня подача палива по штуцерах секцій паливного насоса визначається за формулою:

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (5.41)$$

де Q – середня подача палива по штуцерах секцій паливного насоса, см^3 ;
 Q_i – подача палива у i -му досліді, см^3 ;
 n – кількість вимірів (не менше трьох).

Циклова подача палива визначається за формулою:

$$g_{\text{ц}} = Q / (n_{\text{ц}} \cdot 1000), \quad (5.42)$$

де $g_{\text{ц}}$ – циклова подача палива, $\text{мм}^3/\text{цикл}$;
 $n_{\text{ц}}$ – кількість циклів при випробуванні.

5. Відносна подача палива визначається за формулою:

$$\Delta = \frac{g_{\text{ці}}}{g_{\text{ці.дп}}}, \quad (5.43)$$

де Δ – відносна подача палива;

$g_{\text{ці}}$ – циклова подача палива на відповідному режимі на досліджуваному паливі, $\text{мм}^3/\text{цикл}$;

$g_{\text{ці.дп}}$ – циклова подача палива на відповідному режимі на дизельному паливі, $\text{мм}^3/\text{цикл}$.

Графічну інтерпретацію результатів експериментального дослідження наведено на рис. 5.35 – 5.40.

За результатами випробувань можна зробити такі висновки:

1. Підвищення вмісту етилового ефіру ріпакової олії в дизельному паливі в усіх випадках приводить до збільшення циклової подачі в усіх точках регуляторної характеристики, що є результатом підвищення густини і в'язкості палива.

2. Для насосів з граничним технічним станом плунжерних пар спостерігається зменшення витоків проміжком плунжер-втулки при використанні більш в'язкого палива.

5. Паливні насоси високого тиску не потребують переобладнання при переході на роботу на біопаливі з вмістом ЕЕРО від 10 до 30%.

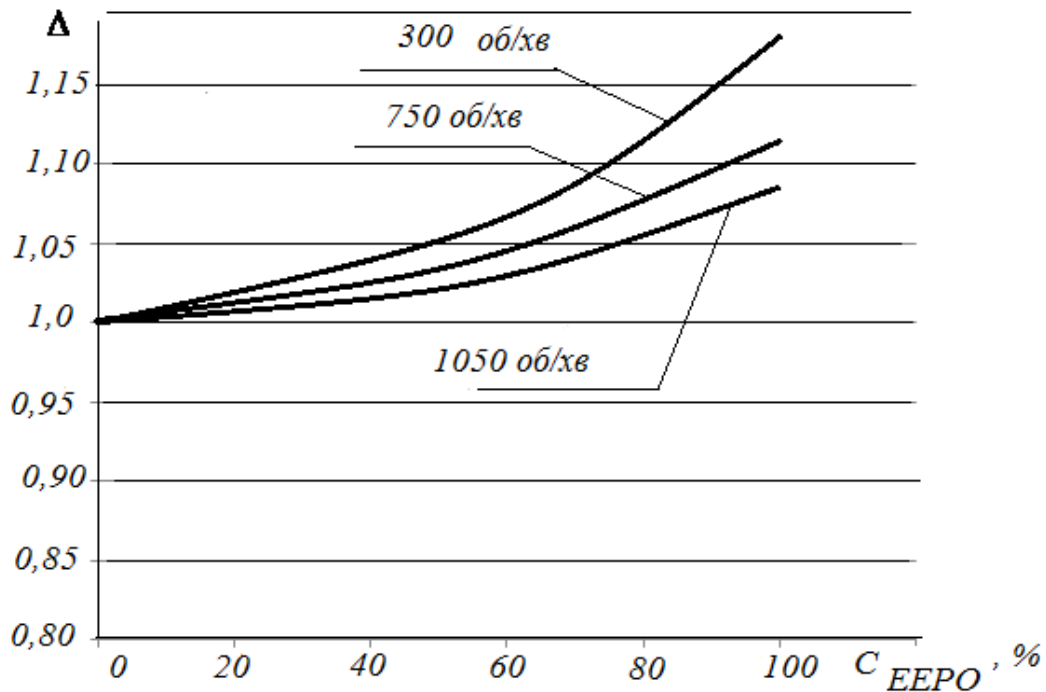


Рис. 5.35 – Залежність подачі насоса з новими секціями від вмісту ЕЕРО (контрольний розпилювач)

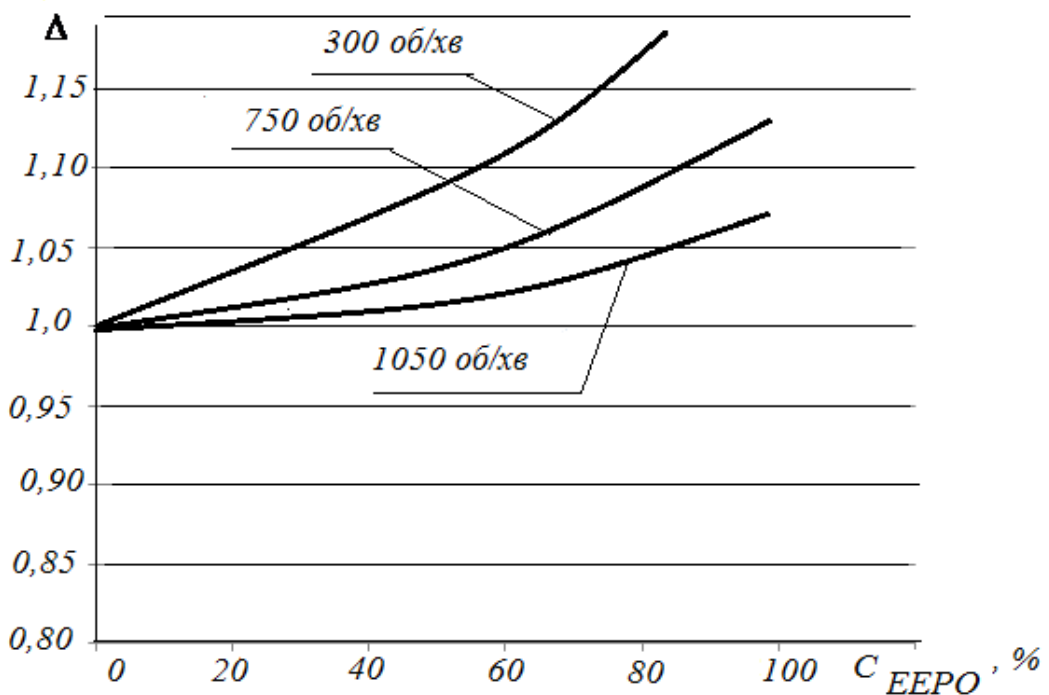


Рис. 5.36 – Залежність подачі насоса з новими секціями від вмісту ЕЕРО (новий розпилювач)

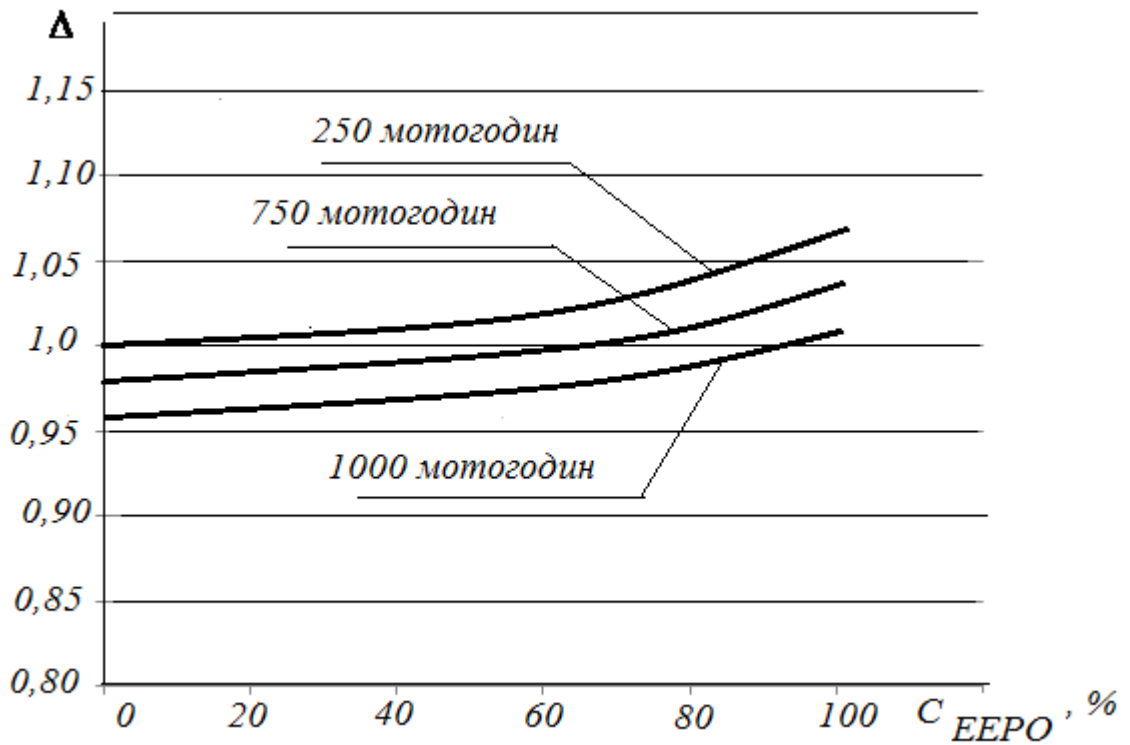


Рис. 5.37 – Залежність подачі насоса з новими секціями від вмісту ЕЕРО, $n = 750$ об/хв, (розпилювачі з експлуатації)

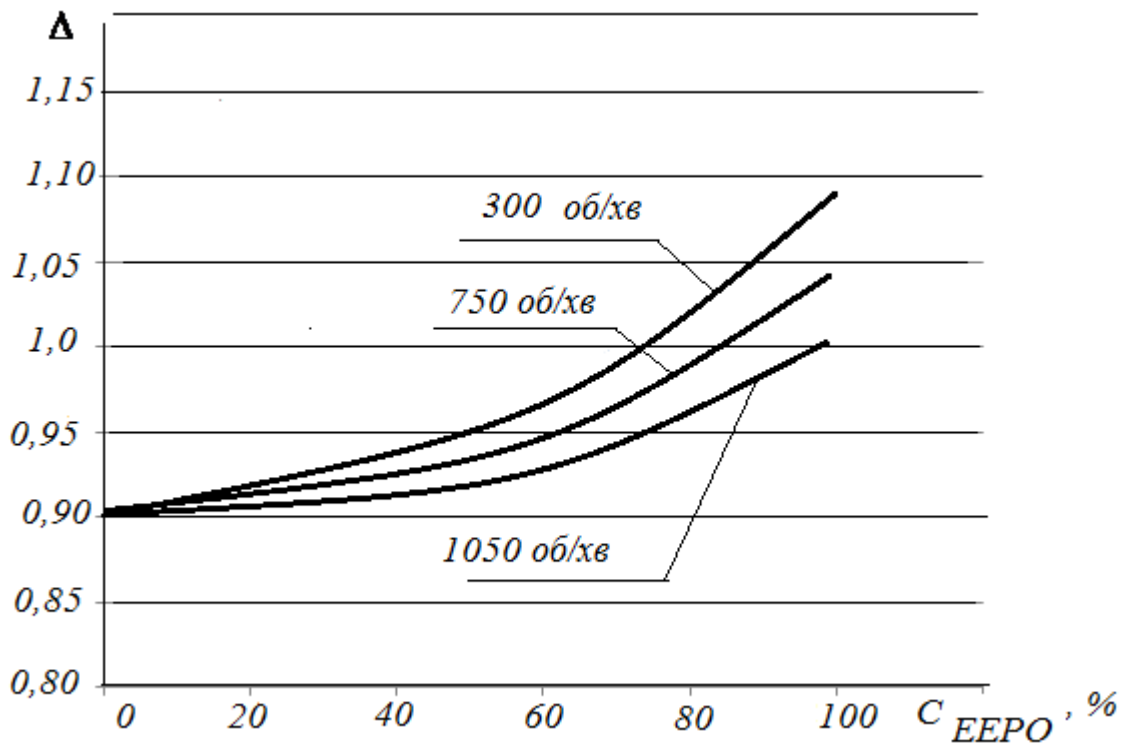


Рис. 5.38 – Залежність подачі насоса з секціями граничного зносу від вмісту ЕЕРО (контрольний розпилювач)

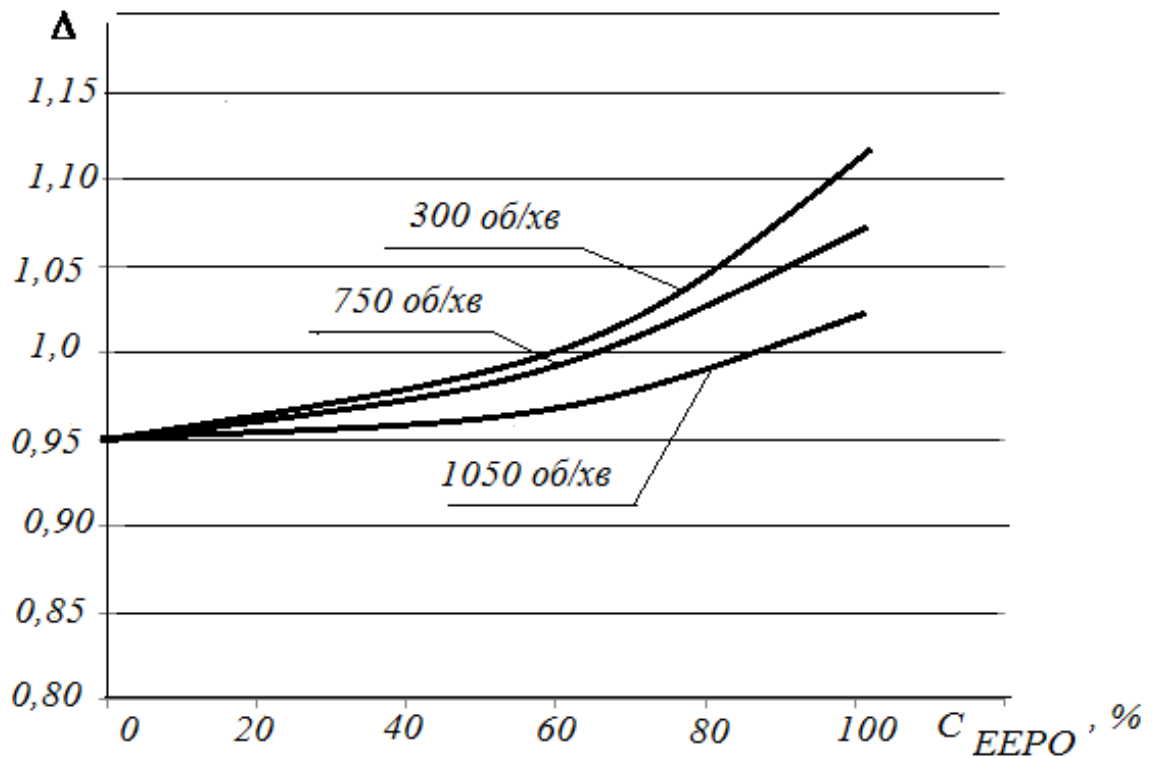


Рис. 5.39 – Залежність подачі насоса з секціями граничного зносу від вмісту ЕЕРО (новий розпилювач)

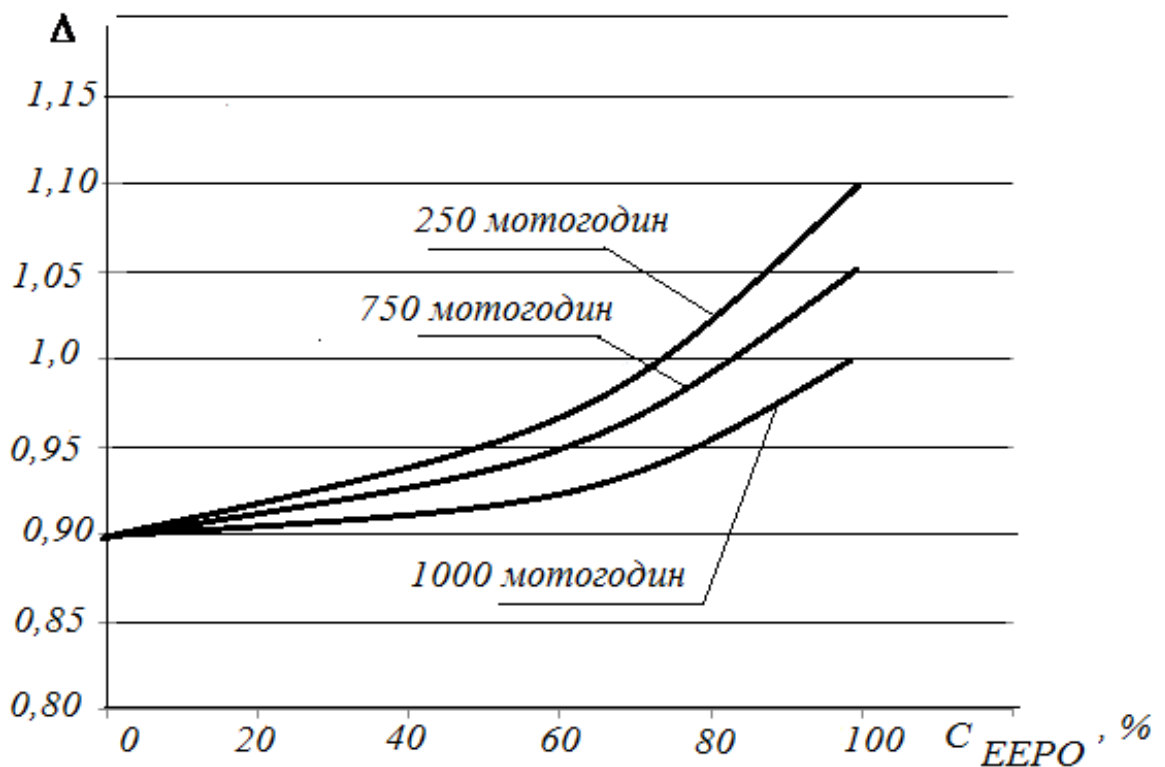


Рис. 5.40 – Залежність подачі насоса з секціями граничного зносу від вмісту ЕЕРО, $n = 750$ об/хв, (розпилювачі з експлуатації)

Експлуатаційними дослідженнями в автогосподарствах було встановлено більш швидке закоксування отворів розпилювачів форсунок при їхній роботі на сумішевих паливах.

Дослідниками розроблено різноманітні теорії, які використовувались для пояснення причини коксування соплових отворів. Слід відзначити, що і сьогодні немає остаточного висновку щодо механізму цього процесу. Більшість теорій пов'язує коксування з заключною фазою процесу витікання палива з соплових отворів після завершення впорскування.

При використанні біопалива, в якому кількість легких фракцій у порівнянні з дизельним паливом незначна, відбуватиметься більш інтенсивне коксування.

Процес коксування, на думку авторів роботи [71], відбувається таким чином. У заключній фазі впорскування колодязь розпилювача заповнюється гарячими газами, у складі яких є кисень. Паливо під дією температур частково випаровується, причому в першу чергу легкі фракції, а важкі (смолисті) залишаються. Плівка палива під дією високих температур поверхні розпилювача прогрівається і в ній відбуваються процеси окислювання та полімеризації молекул з виділенням лакової плівки.

В умовах експлуатації такі явища призведуть до зниження ефективної потужності, погіршення пускових властивостей та екологічних показників. З метою виключення вказаних вище недоліків виникла необхідність у розробленні обґрунтованої стратегії технічного обслуговування розпилювачів форсунок за параметрами їхнього фактичного технічного стану при роботі на сумішевих видах палива.

Відповідно до ДСТУ ГОСТ 10578:2003 "Насосы топливные дизелей. Общие технические условия (ГОСТ 10578-96, IDT)" технічний стан форсунок оцінюють за такими параметрами: гідрощільність, ефективний сумарний перетин, тиск початку впорскування, відхилення струменів палива із отворів розпилювача, герметичність за запірним конусом і рухливість голки. Перші чотири показники є кількісними, тобто їх можна визначити шляхом вимірювання за допомогою відомих приладів, два останніх – якісні, що повинні задовольняти при перевірці критеріям "так-ні".

Проведений аналіз технічного стану розпилювачів форсунок, які відпрацювали на сумішевому паливі протягом 500, 1000 та 1500 мотогодин, дав змогу встановити, що при роботі на (70% ДП+30% ЕЕРО), у зв'язку з підвищеним коксуванням соплових отворів, у першу чергу необхідно контролювати ефективний сумарний перетин.

Відповідно до п.2.6 ДСТУ ГОСТ 10578:2003, відхилення значень ефективного перетину або пропускної спроможності розпилювачів від номінального значення повинно бути не більше ніж $\pm 6\%$ при перевірці на стенді постійного тиску, або не більше ніж $\pm 1,5\%$ при прокручуванні від секції паливного насоса високого тиску.

Експериментальне визначення пропускної спроможності здійснювалося згідно з п. 4.6 ДСТУ ГОСТ 10578:2003, на стенді постійного тиску, рис. 5.41, проливанням палива (70% ДП+30% ЕЕРО) через розпилювачі. Параметри но-

вих розпилювачів форсунок, які використовувалися в дослідженнях, наведено в таблиці 5.22.

Розпилювач, що досліджувався, встановлювався в стендовій форсунці 1, рис. 5.41. На носку розпилювача закріплювався паливоприймач 9. Запускався насос стенда, і за допомогою дросель-витратоміра 2 установлювався тиск проливання ΔP , який контролювався за манометром 5. При цьому паливо, яке проходило через розпилювач, надходило в паливоприймач 9 і далі скеровувалося електромагнітним перекидним клапаном 4 до баку стенда.

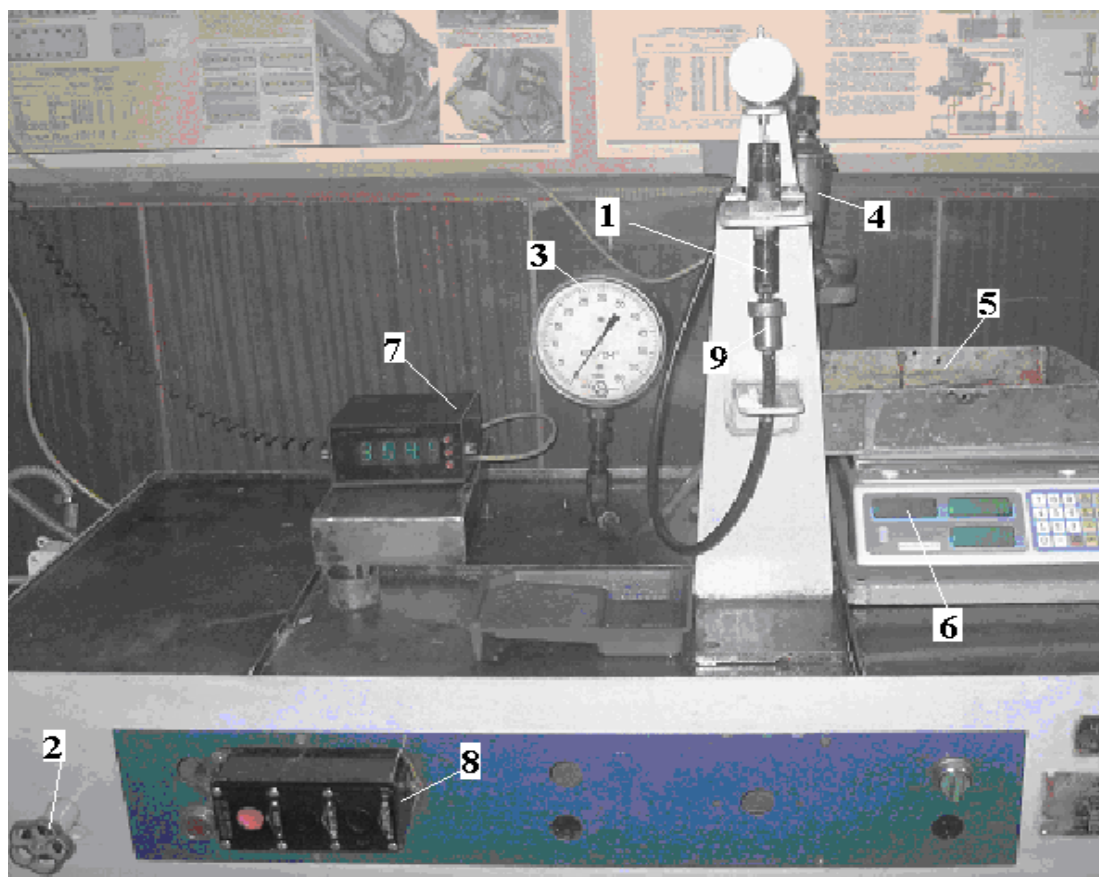


Рис. 5.41 – Стенд для проливання розпилювачів:

1 – досліджуваний розпилювач; 2 – дросель-витратомір; 3 – манометр; 4 – перекидний клапан; 5 – ємність для палива; 6 – ваги; 7 – електронний секундомір; 8 – двокнопкова станція; 9 – паливоприймач

Таблиця 5.22 Параметри нових розпилювачів форсунок для випробувань

Позначення розпилювача	Кількість отворів та їх діаметр	μf , mm^2 згідно нормативної документації	Марка двигуна
6A1-20c2-50	5 x 0,35	0,280–0,315	Д-240
6A1-20c2-50.01	5 x 0,35	0,280–0,315	Д-242Л
6A1-20c2-50.01	5 x 0,35	0,280–0,315	Д-243
6A1-20c2-50.01	5 x 0,35	0,280–0,315	Д-245.2

Маса палива, яка пройшла через розпилювач, визначалася за показаннями електронних ваг, точність вимірювання 0,5 г. Точність вимірювання часу – 0,01 с.

Вимірювання витрати палива для всіх розпилювачів проводилися при перепаді тиску $\Delta P = 5,0$ МПа.

Почергово дослідження проводилися на нових розпилювачах згідно таблиці 5.22, та однотипних розпилювачах, що відпрацювали певний час в експлуатації на однотипних двигунах на сумішевому паливі (70% ДП+30% ЕЕРО):

- з напрацюванням 500 мотогодин, (16 тис. км пробігу);
- з напрацюванням 1000 мотогодин, (32 тис. км пробігу);
- з напрацюванням 1500 мотогодин (48 тис. км пробігу).

За результатами дослідження розраховували ефективний прохідний перетин розпилювачів μf за формулою:

$$\mu f = \frac{G}{t \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta P}}, \text{ мм}^2, \quad (5.44)$$

де G – витрата палива, г;

t – тривалість дослідження, с;

ρ – густина палива, кг/м³;

ΔP – перепад тиску при проливанні, МПа.

Результати досліджень з розрахунком μf за формулою (5.44) представлено в таблиці 5.5.

На основі даних, наведених в таблиці 5.23 можна розрахувати відсоток зменшення прохідного перетину μf розпилювачів в залежності від напрацювання в двигунах, залежність представлена на рис. 5.42.

Як видно з рис. 5.42 при напрацюванні розпилювачів в різних марках двигунів середньостатистична величина в відсотках зменшення прохідного перетину μf при 1000 мотогодин має значення 10%. Відповідно до п.2.6 ДСТУ ГОСТ 10578:2003 відхилення значень не повинно бути більш 6%.

У зв'язку з особливостями експлуатації паливної апаратури на сумішевих видах палива необхідне коригування нормативів напрацювання.

Таблиця 5.5 Результати дослідження прохідного перетину розпилювачів

Позначення розпилювача	Умовне позначення	μf , мм ² згідно нормативної документації	Марка двигуна	μf , мм ² наробок 500 мотогодин	μf , мм ² наробок 1000 мотогодин	μf , мм ² наробок 1500 мотогодин
6A1-20c2-50	5 x 0,35	0,280–0,315	Д-240	0,260	0,254	0,235
6A1-20c2-50.01	5 x 0,35	0,280–0,315	Д-242Л	0,270	0,256	0,220
6A1-20c2-50.01	5 x 0,35	0,280–0,315	Д-243	0,265	0,245	0,220
6A1-20c2-50.01	5 x 0,35	0,280–0,315	Д-245.2	0,275	0,244	0,225

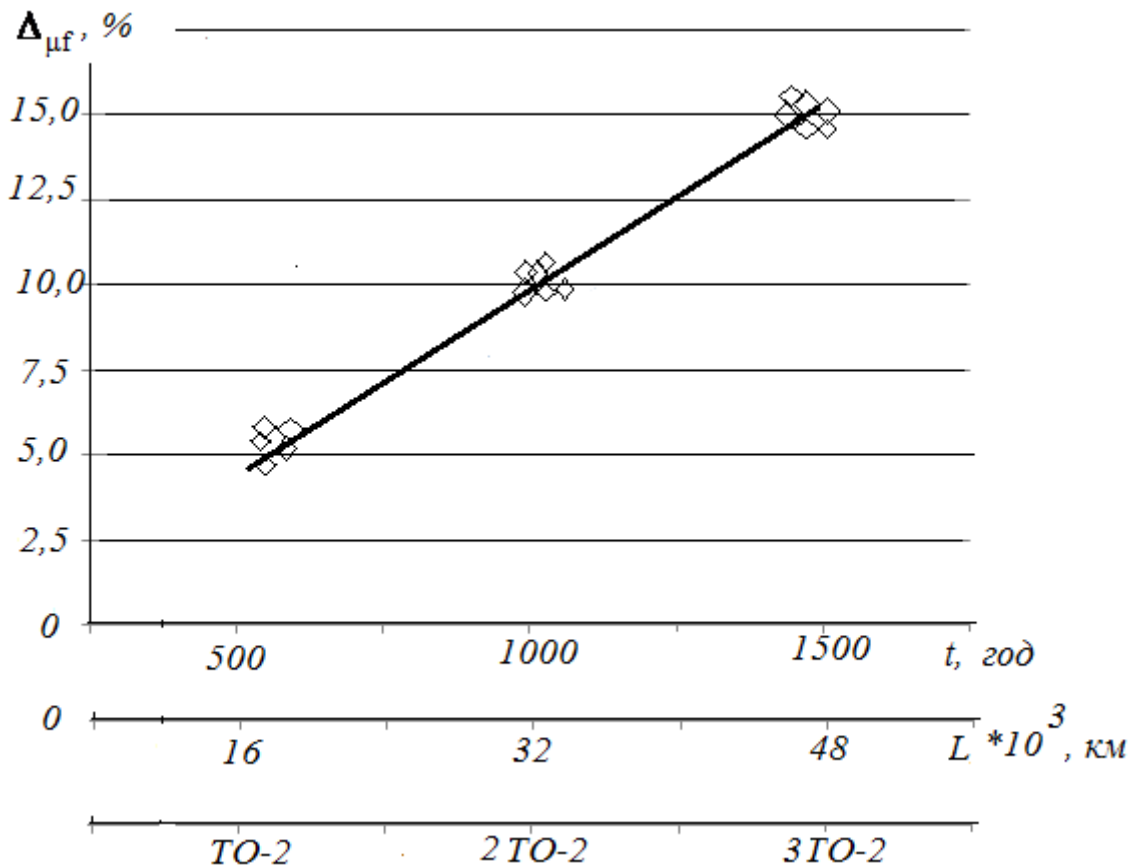


Рис. 5.42 – Залежність зменшення прохідного перетину μ_f у відсотках від напрацювання в двигунах

В першому наближенні таке корегування («приведене напрацювання») може бути отримано діленням числа мотогодин T_m , відпрацьованих двигуном до 2ТО-2, на коригуючий коефіцієнт K_k , що враховує особливості сумішевих палив (90% ДП+10% ЕЕРО) та (70% ДП+30% ЕЕРО):

$$H = \frac{T_m}{K_k}, \text{ мотогодини,} \quad (5.45)$$

де, H – приведені напрацювання, мотогодини;

K_k – коригуючий коефіцієнт, що визначається за формулою:

$$K_k = 1 + \left(\frac{k_B}{100} \right)^p, \quad (5.46)$$

де k_B – вміст ЕЕРО у дизельному паливі, %;

p – емпіричний показник ступеня.

Згідно залежності, рис. 5.42, можна стверджувати, що показник ступеня p дорівнює 1. Тому термін проведення технічного обслуговування розпилювачів форсунок згідно формул (5.45) та (5.46) при умовах, що 2ТО-2 для вище вказаних двигунів проводити по напрацюванню 1000 мотогодин (32 тис. км пробігу), складає:

– для палива (90% ДП+10% ЕЕРО):

$$H = \frac{1000}{1 + \frac{10}{100}} = 909 \text{ мотогодин, (28 тис. км пробігу);}$$

– для палива (70% ДП+30% ЕЕРО):

$$H = \frac{1000}{1 + \frac{30}{100}} = 769 \text{ мотогодин, (24 тис. км пробігу);}$$

– для палива (100% ЕЕРО):

$$H = \frac{1000}{1 + \frac{100}{100}} = 500 \text{ мотогодин, (16 тис. км пробігу).}$$

Отримані дані дозволяють скоригувати строки проведення технічного обслуговування паливної системи двигунів.

Знання «приведеного напрацювання» форсунок при збільшенні концентрації ЕЕРО може дозволити по-новому підійти до питань планування технічного обслуговування форсунок дизелів, прогнозування залишкового ресурсу і розробки заходів для відновлення працездатності (подовження) ресурсу.

Співвідношення «приведеного і нормативного напрацювань» може служити узагальненою характеристикою умов експлуатації агрегатів паливної апаратури при роботі на паливах з різним вмістом ЕЕРО для оцінки раціонального завантаження засобів транспорту.

Термін подовження експлуатації моторної оливи у залежності від типу палива можливо отримати розрахунковим шляхом, використовуючи методичний підхід та формули, які наведено в роботах [142-144]:

$$t = \frac{1}{3600} \cdot \left(\frac{G_M^{3/4} \cdot G_D^{3/4}}{N_L^{3/4} \cdot S} \cdot \left[\frac{\ln \left(\frac{\pi_{M_0}}{\pi_{M_{гр}}} \right)}{a} \right] \right)^{4/9}, \quad (5.47)$$

де t – термін експлуатації моторної оливи в мотогодинах;

G_M – об'єм моторної оливи в системі мащення двигуна, м³;

G_D – маса доливання моторної оливи на чад, кг.

π_{M_0} – критерій, який характеризує початкове значення якості товарної моторної оливи (протизносні та протизадирні властивості, вміст лужної присадки, кінематична в'язкість та схильність утворювати лаки та відкладення).

Згідно робіт [142-144] для моторної оливи М-10Г_{2к} $\pi_{M_0} = 7,28$.

$\pi_{M_{гр}}$ – критерій, який характеризує граничне значення якості моторної оливи при досягненні якого олива знімається з експлуатації. Згідно робіт [142-144] для моторної оливи М-10Г_{2к} $\pi_{M_{гр}} = 2,91$.

N_L – питома потужність двигуна, відношення потужності до сумарного об'єму циліндрів, Вт/м³;

S – вміст сірки в паливі, маса сірки в грамах на один кг палива, г/кг:

- для дизельного палива з вмістом $S=0,2\%$ вміст сірки складає $0,002$ г/кг;
- для (90% ДП+10% ЕЕРО) вміст $S=0,18\% = 0,0018$ г/кг;
- для (70% ДП+30% ЕЕРО) вміст $S=0,14\% = 0,0014$ г/кг;

a – коефіцієнт, який враховує швидкість зменшення лужної присадки в оливі.

Згідно [142-144] для моторної оливи М-10Г₂к, АРІ (СС):

- для дизельного палива з вмістом сірки $0,2\%$, $a=1,7 \cdot 10^{-18}$;
- для суміші (90% ДП+10% ЕЕРО) з вмістом сірки $0,18\%$, $a=1,32 \cdot 10^{-18}$;
- для суміші (70% ДП+30% ЕЕРО) з вмістом сірки $0,14\%$, $a=0,58 \cdot 10^{-18}$.

Проведемо розрахунки подовження терміну зміни моторних олив при експлуатації дизелів Д-242, Д-243, Д-245 на таких типах палив: ДП, (90% ДП+10% ЕЕРО), (70% ДП+30% ЕЕРО), (100% ЕЕРО).

Вихідні дані для розрахунку за формулою (5.47) наведені в таблиці 5.24.

Таблиця 5.24 Вихідні дані для розрахунку

Параметр згідно формули (5.2)	Д-242	Д-243	Д-245
Об'єм системи мащення $G_M, \text{м}^3$	0,011	0,011	0,011
Маса доливання під час експлуатації $G_D, \text{кг}$	2,0	2,5	3,0
Питома потужність $N_L, \text{Вт/м}^3$	9600000	12547368	16210526

Двигун Д-242:

- при експлуатації на дизельному паливі:

$$t = \frac{1}{3600} \cdot \left(\frac{0,011^{3/4} \cdot 2^{3/4}}{9600000^{3/4} \cdot 0,002} \cdot \left[\frac{\ln\left(\frac{7,28}{2,91}\right)}{1,7 \cdot 10^{-18}} \right] \right)^{4/9} = 375 \text{ мотогодин ;}$$

- при експлуатації на паливі (90% ДП+10% ЕЕРО):

$$t = \frac{1}{3600} \cdot \left(\frac{0,011^{3/4} \cdot 2^{3/4}}{9600000^{3/4} \cdot 0,0018} \cdot \left[\frac{\ln\left(\frac{7,28}{2,91}\right)}{1,32 \cdot 10^{-18}} \right] \right)^{4/9} = 439 \text{ мотогодин ;}$$

- при експлуатації на паливі (70% ДП+30% ЕЕРО):

$$t = \frac{1}{3600} \cdot \left(\frac{0,011^{3/4} \cdot 2^{3/4}}{9600000^{3/4} \cdot 0,0014} \cdot \left[\frac{\ln\left(\frac{7,28}{2,91}\right)}{0,58 \cdot 10^{-18}} \right] \right)^{4/9} = 705 \text{ мотогодин.}$$

Аналогічні розрахунки були виконані для двигунів Д-243 та Д-245. Результати розрахунків наведено в таблиці 5.25.

Таблиця 5.25 Розрахункові дані терміну експлуатації моторних олив на різних типах палив в мотогодинах (км. пробіга)

Тип палива	Д – 242	Д – 243	Д – 245
ДП	375 мотогодин 12 тис.км	343 мотогодин 11 тис.км	315 мотогодин 10 тис.км
(90% ДП+10% ЕЕ-РО)	439 мотогодин 14 тис.км	402 мотогодин 13 тис.км	369 мотогодин 12 тис.км
(70% ДП+30% ЕЕ-РО)	705 мотогодин 22 тис.км	643 мотогодин 21 тис.км	591 мотогодин 19 тис.км

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки.

1. При експлуатації дизелів засобів транспорту Д-242, Д-243 та Д-245 на сумішевих видах палива (дизельне паливо та ЕЕРО) термін заміни моторної оливи М-10Г₂к (SAE 30, API CC) при використанні різних видів палива збільшуватиметься. Чим більший відсоток ЕЕРО в дизельному паливі, тим більший термін заміни моторної оливи.

Термін експлуатації моторної оливи можливо встановити лише за умови контролю в'язкості оливи через кожні 250 мотогодин, або 8 тис. км пробігу, при проведенні ТО-1. Зниження в'язкості призведе до втрати гідродинамічного режиму мащення у трибосистемах дизеля, в першу чергу, на деталях кривошипно-шатунного механізму, та швидкому зносу вкладишів.

При зниженні в'язкості більш ніж на 10% моторну оливу необхідно замінити.

2. У попередніх розділах зроблено наголос про недоцільність експлуатації дизелів на 100% ЕЕРО. Це пов'язано з суттєвим зменшенням ефективної потужності, збільшенням питомої витрати палива, погіршенням процесу фільтрування, більш швидкому закоксуванню отворів розпилювачів форсунок. Крім того, гірше випаровування ЕЕРО викликатиме труднощі в запуску дизеля в зимовий період з неповним згорянням палива, що призведе до зниження в'язкості моторної оливи.

Основним висновком сказаного вище є те, що експлуатацію дизелів необхідно проводити на сумішевих видах палива. В зимовий період використовувати не більш 10% етилових ефірів ріпакової або соняшникової олій, решта дизельне паливо.

5. Ефіри на базі соєвої олії створюють труднощі у фільтруванні та прокачуванні палива по паливопроводах.

4. У літній період експлуатації припустимо використання не більш 30% біопалива з усіх типів рослинних, решта – дизельне паливо.

Для забезпечення надійної роботи паливної системи на рівні $P_0=0,85$ необхідно внести зміни в керівництво з експлуатації, в розділ “ Терміни виконання ТО ”.

Таблиця 5.26 Технологічні операції і терміни їх проведення при технічному обслуговуванні паливної системи дизелів засобів транспорту

Технологічна операція	Д – 242	Д – 243	Д – 245
1	2	3	4
Виконати відстоювання сумішевого палива і його фільтрування перед заправкою в баки транспортних засобів			
Зимовий період (90% ДП+10% ЕЕРО)	72+5 годин	72+5 годин	72+5 годин
Літній період (70% ДП+30% ЕЕРО)	96+5 годин	96+5 годин	96+5 годин
Злив відстою з фільтрів грубої очистки			
Зимовий період (90% ДП+10% ЕЕРО)	0,5ТО-1 4 тис.км	0,5ТО-1 4 тис.км	0,5ТО-1 4 тис.км
Літній період (70% ДП+30% ЕЕРО)	0,5ТО-1 4 тис.км	0,5ТО-1 4 тис.км	0,5ТО-1 4 тис.км
Заміна фільтрів тонкої очистки			
Зимовий період (90% ДП+10% ЕЕРО)	ТО-2 16 тис.км	ТО-2 16 тис.км	ТО-2 16 тис.км
Літній період (70% ДП+30% ЕЕРО)	ТО-2 16 тис.км	ТО-2 16 тис.км	ТО-2 16 тис.км
Промивання й очищення розпилювачів форсунок			
Зимовий період (90% ДП+10% ЕЕРО)	1,75ТО-2 28 тис.км	1,75ТО-2 28 тис.км	1,75ТО-2 28 тис.км
Літній період (70% ДП+30% ЕЕРО)	1,5ТО-2 24 тис.км	1,5ТО-2 24 тис.км	1,5ТО-2 24 тис.км

Продовження таблиці 5.26

1	2	3	4
Контроль паливного насоса високого тиску на стенді			
Зимовий період (90% ДП+10% ЕЕРО)	6ТО-2 96 тис.км	6ТО-2 96 тис.км	6ТО-2 96 тис.км
Літній період (70% ДП+30% ЕЕРО)	8ТО-2 128 тис.км	8ТО-2 128 тис.км	8ТО-2 128 тис.км
Заміна моторної оливи М-10Г _{2к} , АРІ СС			
Зимовий період (90% ДП+10% ЕЕРО)	0,8ТО-2 14 тис.км	0,8ТО-2 13 тис.км	0,75ТО-2 12 тис.км
Літній період (70% ДП+30% ЕЕРО)	1,4ТО-2 22 тис.км	1,3ТО-2 21 тис.км	1,2ТО-2 19 тис.км

Виконаємо оцінку показників надійності паливної системи з математичної моделі, яка розроблена в другому розділі даної роботи, з урахуванням розроблених заходів з технічного обслуговування, представлених у таблиці 5.35.

Імовірність безвідмовної роботи паливної системи дизелів при застосуванні зазначених вище сумішевих палив для зимового і літнього періоду експлуатації, яка розраховується за формулою (5.33) становить величину 0,84, для дизельного палива ця величина дорівнює 0,85.

Коефіцієнт технічного використання, який розраховується за формулою (5.43), для сумішевих палив (90% ДП + 10% ЕЕРО) і (70% ДП + 30% ЕЕРО) становить величину 0,96-0,94, для дизельного палива коефіцієнт технічного використання паливної системи дорівнює 0,98.

Наведені результати розрахунків показників надійності паливної системи дозволяють зробити висновки, що виконання розроблених рекомендацій щодо термінів проведення ТО дозволить забезпечити надійність на рівні, яка забезпечується при експлуатації на дизельному паливі.

Одним з напрямків по розширенню паливної бази засобів транспорту є отримання біологічних видів палива з відновлювальних ресурсів рослинного походження, до яких відносяться етилові ефіри рослинних олій. Застосування ЕЕРО знижує викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище разом з відпрацьованими газами, що було показано в третьому розділі даної роботи.

Визначальним фактором, що впливає на виробництво і використання ЕЕРО є: порівняльність цін на мінеральне нафтове паливо; впровадження нових інноваційних агротехнологій вирощування олійних культур з максимальною врожайністю і мінімальними витратами; вдосконалення технологій виробництва ЕЕРО.

Особливу увагу заслуговує питання обґрунтування вибору сировини олійних культур і його врожайності, які будуть впливати на собівартість ЕЕРО. Основою для виробництва біопалива в Україні є ріпакова олія (84%), а так само соняшникова (13%) і соєве (2%).

Виконаємо оцінку економічного ефекту від застосування ЕЕРО як паливної бази за двома напрямками.

1. Потенційне використання того чи іншого джерела сировини визначається місцевими природно-кліматичними умовами його вирощування, співвідношенням ціна на сільськогосподарську продукцію, витратами на вирощування, збирання, переробку врожаю олійних культур, а також отримання ЕЕРО з урахуванням витрат відповідної технології, викладеної в патенті. (Заявка на винахід (корисну модель). Спосіб одержання біодизельного палива у вигляді етилових ефірів олій та жирів. Додаток Б)

Це дозволить розрахувати собівартість 1 т етилових ефірів рослинних олій з різних видів сировини (ріпак, соняшник, соя) з урахуванням їх урожайності і порівняти з ціною на мінеральне нафтове паливо. Такий розрахунок виконується на підставі технологічних карт на вирощування олійних культур, отримання олії і отримання етилових ефірів згідно розробленого патенту.

2. Другим важливим напрямом є зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище шляхом зменшення викиду шкідливих речовин у атмосферу разом з відпрацьованими газами. Вплив шкідливих речовин можна оцінити величиною збитку в грн., який необхідно витратити на відновлення навколишнього середовища.

З урахуванням зазначених вище видів сировини рослинного походження ріпакової, соняшникової та соєвої олії, виконаємо розрахунок собівартості виробництва біопалива відповідно до технологічних карт на вирощування і збирання культур, отримання рослинних олій з урахуванням олійності (відсотка виходу олії) і виробництва етилових ефірів рослинних олій. Розрахунки проводилися для різної врожайності культур.

Технологічні карти собівартості вирощування ріпаку, отримання рослинного масла і етилового ефіру.

Аналіз результатів розрахунків собівартості отримання етилових ефірів з різної сировини [31] показує, що при середній врожайності собівартість виробництва етилових ефірів, особливо з ріпаку та соняшнику, є конкурентним порівняно з дизельним паливом і може бути використано для розширення паливної бази засобів транспорту. При цьому мається резерв по зниженню собівартості етилових ефірів, який пов'язаний зі збільшенням врожайності перерахованих культур.

Тому, застосування етилових ефірів ріпакової олії, як перспективного палива для транспортних засобів, є економічно обґрунтованим.

Виконаємо аналіз зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище за рахунок викиду шкідливих речовин у атмосферу при застосуванні сумішевого палива (90% ДП + 10% ЕЕРО) і (70% ДП + 30% ЕЕРО) в порівнянні з дизельним паливом.

Аналіз виконаємо для одного автомобіля ЗІЛ 5301 “Бичок” з дизелем Д-245 і річним пробігом 64 тис. км пробігу (2000 години напрацювання).

Основою для розрахунку виберемо методику “Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря”, яка введена в дію наказом Міністерства охорони навколишнього середовища України №639 від 10.12.2008 р.

Згідно з методикою розмір збитком розраховується за формулою:

$$Z = \sum_{i=1}^n m_i \cdot 1,1 \cdot P \cdot A_i \cdot k_m \cdot k_3 \quad (5.48)$$

де Z - розмір збитку в грн;

$\sum_{i=1}^n m_i$ - сумарна маса забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу, т;

P - розмір мінімальної заробітної плати на момент викиду шкідливих речовин в атмосферу, грн;

A_i - безрозмірний показник відносної небезпечності забруднюючої речовини;

k_m - коефіцієнт, який враховує тип населеного пункту;

k_3 - коефіцієнт, який враховує забрудненість повітря в населеному пункті.

Сумарна маса забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу за весь період роботи (1 рік) відповідно до методики розраховується за формулою:

$$\sum_{i=1}^n m_i = \frac{1}{1000} \cdot \left(\sum_{i=1}^n G_e + \sum_{i=1}^n G_m \right) \cdot T, \text{ т} \quad (5.49)$$

де n - кількість двигунів, в даному випадку розрахунок проводиться на один двигун;

$\sum_{i=1}^n G_e$ - сумарна маса повітря, що викидається в атмосферу двигуном за одну годину роботи, кг/год;

$\sum_{i=1}^n G_m$ - годинна витрата палива, кг/год;

T - час роботи двигуна, год.

Сумарна маса повітря, викинута дизелем за одну годину роботи:

$$G_e = 30 \cdot i \cdot V \cdot n \cdot \rho, \text{ кг / год} \quad (5.50)$$

де i - кількість циліндрів, для Д-245 $i = 4$;

V - об'єм циліндра, м^3 . Для Д-245 $V = 1,18 \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3$;

n - номінальна частота обертання, об / хв. Для Д-245 $n = 2400$ об/хв;

ρ - щільність повітря, $\rho = 1 \text{ кг / м}^3$.

Сумарна маса палива за одну годину роботи двигуна, тобто годинна витрата палива визначається за формулою:

$$G_m = \frac{g_e \cdot N_e}{1000}, \text{ кг/год} \quad (5.51)$$

де g_e - питома ефективна витрата палива, $г/кВт \cdot ч$. Для Д-245 $g_e = 245 г/кВт \cdot ч$;

N_e - номінальна потужність дизеля, $кВт$. Для дизеля Д-245 $N_e = 80 кВт$.

Порівняльні результати розрахунку сумарної маси забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу дизелем автомобіля ЗІЛ 5301 при річному пробігу 64 тис.км (2000 годин) при експлуатації на ДП, (90% ДП + 10% ЕЕРО) і (70% ДП + 30% ЕЕРО), представлені в таблиці 5.27.

Таблиця 5.27 Сумарна маса забруднюючих речовин, викинутих в атмосферу дизелем Д-245 за один рік експлуатації (64 тис.км пробігу)

Вид палива	Час роботи, год.	n , об/хв	g_e , $г/кВт \cdot ч$	N_e , $кВт$	G_e , $кг/г$	G_m , $кг/г$	$\sum_{i=1}^n m_i$, Т
ДТ	2000	2400	245	80	339,8	19,6	718,8
(90% ДП+10% ЕЕРО)	2000	2400	250	78	339,8	19,57	718,74
(70% ДП+30% ЕЕРО)	2000	2400	261	75	339,8	19,57	718,74

Для розрахунку розміру збитків, завданих навколишньому середовищу викидами шкідливих речовин дизелем за формулою (5.9) необхідно визначити наступні вихідні дані.

1. Розмір мінімальної заробітної плати на 01.01.2018 в Україні становить 3200 грн.

2. Безрозмірний відносний показник небезпеки i -го забруднюючої речовини при експлуатації на ДП $A_{дт}=1$. При експлуатації на сумішевих паливах даний показник зміниться. Відповідно до вимірів, які виконані в третьому розділі даної роботи, склад вихлопних газів змінюється:

- димність відпрацьованих газів зменшується на 6,76 -10,6%;
- викиди вуглекислого газу зменшуються на 8,4 -18,94%;
- викиди незгорілих вуглеводнів знижуються на 12 -21,74%;
- викиди оксиду азоту збільшуються на 1,0 -1,46%.

З урахуванням формули (5.6), яка представлена в третьому розділі даної роботи, розрахуємо середнє значення зменшення шкідливих речовин у відпрацьованих газах при експлуатації на (90% ДП + 10% ЕЕРО):

$$A_{cp} = 1 - Q_{10\%} = 1 - 0,172 = 0,828,$$

отже, $A_{cp} = 0,828$.

При експлуатації на (70% ДП + 30% ЕЕРО):

$$A_{cp} = 1 - Q_{30\%} = 1 - 0,354 = 0,646,$$

отже, $A_{cp}=0,646$.

Таблиця 5.28 Вихідні дані і результати розрахунків розміру збитків при експлуатації автомобіля на різних видах палива

Вид палива	$\sum_{i=1}^n m_i, \text{ T}$	$\Pi, \text{ грн}$	A_i	k_m	k_3	$Z, \text{ грн}$
ДП	718,8	3200	1	2,25	1	5692896
(90% ДП+30% ЕЕРО)	718,74	3200	0,828	2,25	1	4713324
(70% ДП+30% ЕЕРО)	718,74	3200	0,646	2,25	1	3677303

5. Коефіцієнт k_m , який враховує тип населеного пункту визначається з додатка методики, $k_m = 2,25$.

4. Коефіцієнт k_3 , який враховує забрудненість повітря, згідно з рекомендаціями приймемо рівним 1.

Вихідні дані для розрахунку розміру збитків, формула (5.9) і результати розрахунку, представлені в таблиці 5.10.

Економічний ефект від застосування сумішевих палив розраховується як різниця між розміром збитків, завданих навколишньому середовищу при експлуатації одного автомобіля протягом року на ДП і (90% ДП + 10% ЕЕРО):

$$\Delta Z = Z_{\text{ДП}} - Z_{90\% \text{ ДП} + 10\% \text{ ЕЕРО}} = 5692896 - 4713324 = 979572 \text{ грн.}$$

на ДП і (70% ДП + 30% ЕЕРО):

$$\Delta Z = Z_{\text{ДП}} - Z_{70\% \text{ ДП} + 30\% \text{ ЕЕРО}} = 5692896 - 3677303 = 2015593 \text{ грн.}$$

5.6 Список використаних джерел до розділу 5

1. Біла книга «Енергія майбутнього: відновлювальні джерела енергії»/ Резолюція Європейського Парламенту від 18 червня 1998 року.
2. Green Paper Towards a European strategy for the security of energy supply COM (2000) 769 final, (Зелена книга) / Резолюція Європейського Парламенту від 15 травня 1997 року.
3. Директива 2003/30/ЄС Європейського Парламенту та Ради про сприяння використанню біологічного палива або інших видів поновлюваного палива для транспорту від 8 травня 2003 року.
4. Директива Ради 2003/96/ЄС про реструктуризацію системи Співтовариства щодо оподаткування енергоносіїв та електроенергії від 27 жовтня 2003 року.
5. Директива 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року «Про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел та доповнення та заміну директив 2001/77/ЄС та 2003/30/ЄС».
6. Закон України «Про альтернативні види палива» від 14.01.2000 №1391-XIV.
7. Указ Президента України «Про заходи щодо розвитку виробництва палива із біологічної сировини» № 1094 від 26.09.2003.
8. Закон України «Про внесення змін в деякі закони України щодо сприяння виробництву і використанню біологічних видів палива» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2009. – № 40. – ст.577.
9. «Енергетична стратегія України на період до 2030 року» / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. №145-р.
10. «Про затвердження програми розвитку виробництва біодизельного палива» / Постанова КМУ №1774 від 22 грудня 2006 р.
11. Уханов А.П. Рапсовое биотопливо / А.П. Уханов, В.А. Рачкин, Д.А. Уханов. – Пенза : РИО ПГСХА, 2008. – 229 с.
12. Zentková I. The Utilization of Rapeseed for Biofuels Production in the EU / Iveta Zentková dan Eva Cvengrošová // Department of Economics, Faculty of Economics and Management, SUA in Nitra. – 2013. – P.11-14.
13. Stevenson D.G. Oil and tocopherol content and composition of pumpkin seed oil in 12 cultivars / D.G. Stevenson, F.J. Eller, L. Wang et al. // Journal of Agricultural Food Chemistry. – 2007. – № 55. – P. 4005-4013.
14. Knothe G. The biodiesel handbook / G. Knothe, J. Krahl, J. van Gerpen. – Champaign : AOCS Press, USA, 2005.
15. Shay E.G. Diesel fuel from vegetable oils: status and opportunities / E.G. Shay Biomass and Bioenergy. – 1993. – № 4. – P. 227-242
16. The Real Impact of Growing Biofuels: Calculating Indirect Land-Use Change : Transport & Environment (T&E). – Joint-NGO Publication from Greenpeace, Bird Life International, Friends of the Earth Europe, T&E, EEB. – November 5, 2008. – Available at : www.transportenvironment.org/Tag/fuels/page:3

17. Nigam P.S. Production of liquid biofuels from renewable resources / P.S. Nigam, A. Singh // *Prog Energy Combust ScL.* – 2011. – № 37. – P. 52-68.
18. Demirbas A. Biorifineries: for biomass upgrading facilities / A. Demirbas // *Energy Educ Sci Technol.* – 2008. – № 21. – P.1-59.
19. Voća N. Fuel properties of biodiesel produced from different raw materials in Croatia / N. Voća, T. Krička, V. Janušić, Ž. Jukić, A. Matin, D. Kiš // *Strojniški vestnik [Journal of Mechanical Engineering]*. – 2008. – № 54. – P. 3-15.
20. Viglasky J. I. Amaranth (*Amaranthus L.*) is a potential source of raw material for biofuels production / J. I. Viglasky, J. Andrejcek, J. Huska, J. Suchomel // *Agronomy Research.* – 2009. – № 7. – P. 865-873.
21. Каленська С. Дизельне біопаливо: сировина, технології виробництва і властивості : монографія / С. Каленська, Д. Рахметов, В. Каленський та інш. – Kaunas, 2011. – 105 с.
22. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития / Л.С. Орсик, Н.Т. Сорокин, В.Ф. Федоренко [и др.]; под ред. В.Ф. Федоренко. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 404 с.
23. Федоренко В.Ф. Состояние и развитие производства биотоплива : науч. аналит. обзор / В.Ф. Федоренко, Ю.Л. Колчинский, Е.П. Шилова. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 130 с.
24. Каргиев В. Законодательные инициативы Европейского Союза по стимулированию применения альтернативных видов топлива для транспорта и энергоснабжения / В. Каргиев // *Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо.* – 2005. – № 5. – С. 56–59.
25. Девянин С.Н. Использование смесевых биотоплив в дизелях / С.Н. Девянин, В.А. Марков, Д.А. Коршунов // *Сб. науч. трудов по проблемам двигателестроения, посвященный 175-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана.* – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2005. – С. 63–68.
26. Ziejewski M. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Emissions from Plant Oil Based Alternative Fuels / M. Ziejewski, H.J. Goettler, L.W. Gook // *SAE Technical Paper Series.* – 1991. – N. 911765. – P. 1–8.
27. Калетник Г.М. Розвиток ринку біопалив в Україні : монографія / Г.М.Калетник. – К. : Аграрна наука, 2008. – 464 с.
28. Голуб Г.А. Оцінка сировинної бази виробництва дизельного біопалива при двохступінчастому віджиманні рослинної олії / Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко // *Науковий вісник НУБіП України.* – 2014. – Вип. 194, ч.1. – С.175-181.
29. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії : монографія / О.Адаменко, В. Височанський, В. Лютко, М. Михайлов; під ред. В. Лютко. – Івано-Франківськ : Інститут менеджменту та економіки, 2001. – 432 с.
30. Муштрук М. Перспективні технології виробництва дизельного біопалива / М. Муштрук, Ю. Сухенко, В. Сухенко // *Техніка та технології АПК.* – Дослідницьке, 2012. – №9(36). – С.28-31.

31. Войтов В.А. Техніко-економічна оцінка собівартості виготовлення біодизеля з різних видів рослинної сировини / В.А. Войтов, М.С. Даценко, О.О. Красноруцький, П.М. Климов // Вісник ХНТУСХ. – 2009. – Вип.76. – С. 298-305.
32. Голуб Г.А. Виробництво та використання дизельного біопалива. Механіко-технологічні основи : монографія / Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко, В.В. Чуба. – К. : НУБіП України, 2017. – 340 с.
33. Поліщук М.Ю. Аналіз технологій виробництва дизельного біопалива / М.Ю. Поліщук // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вип. 185, ч.1. – С.161-166.
34. Работа дизелей на нетрадиционных топливах : учеб. пособ. // В.А. Марков, А.И. Гайворонский, Л.В. Грехов [и др.] – М. : Легион– Автодата, 2008. – 464 с.
35. ДСТУ 6081:2009 “Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги”.
36. EN 14214:2003 “Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods”
37. Патент на корисну модель України (UA) №65058, МПК (2006) C10L 1/19, Спосіб одержання біодизельного палива у вигляді етилових ефірів олій та жирів / заявники: Войтов В.А., Карнаух М.В., Демідов І.М., Петік П.Ф., патентовласник: Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка; заявл. 26.04.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл. №22.
38. Осауленко О.Г. Статистичний щорічник України за 2016 рік : стат. збірник // Державний комітет статистики України; відп. за випуск Головка В.А. – К. : Консультант, 2017. – 551 с.
39. Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про деякі питання ввезення на митну територію України транспортних засобів» від 30.11.2005 №3151-IV // Офіційний вісник України. – 2005. – №52. – С.17.
40. Закон України «Про приєднання України до Угоди про прийняття єдиних технічних приписів для колісних транспортних засобів, предметів обладнання та частин, які можуть бути встановлені та/або використані на колісних транспортних засобах, і про умови взаємного визнання офіційних затверджень, виданих на основі цих приписів, 1958 року з поправками 1995 року» від 10.02.2000 №1448-III // Офіційний вісник України. – 2000. – №7. – С.39.
41. Редзюк А.М. Нормування екологічних показників ДТЗ: розвиток, стан, перспективи / А.М. Редзюк, Ю.Ф. Гутаревич // Автошляховик України. – 2001. – №4. – С.2-9.
42. Екологічні вимоги Правил ЄЕК ООН та Директив ЄС до КТЗ і двигунів / А.М. Редзюк, О.Д. Климуш, Ю.Ф. Гутаревич, В.С. Устименко, О.А. Клименко // Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи

- розвитку: монографія / Держ. автотр. наук.-досл. і проект. інст. ; за заг. ред. А.М. Редзюка. – К. : ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2005. – С. 286-302.
43. Редзюк А.М. Анализ нормативных требований к моторным топливам / А.М. Редзюк, О.А. Бейко, В.С. Устименко // Энергетическая политика Украины. – 2003. – №7-8. – С. 61-65.
44. Редзюк А.М. Нормування вмісту високооктанових кисневмісних компонентів в автомобільних бензинах / А.М. Редзюк, В.С. Устименко, О.А. Бейко // Автошляховик України. – 2003. – №4. – С. 6-8.
45. Редзюк А.М. Топливо по-європейски. О необходимости введения европейских стандартов на моторные топлива в связи с переходом Украины на экологические нормы Евро-2 / А.М. Редзюк, В.С. Устименко, О.А. Бейко // Энергетическая политика Украины. – 2005. – №10(62). – С. 56-59.
46. Редзюк А.М. Вплив якості моторних палив на екологічні показники КТЗ, удосконалення нормативних вимог до моторних палив / А.М. Редзюк, В.С. Устименко, О.А. Бейко // Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: монографія / Держ. автотр. наук.-досл. і проект. інст. ; за заг. ред. А.М. Редзюка. – К. : ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2005. – С. 314-329.
47. Directive 2003/17/EC of the European Parliament and of the Council of 3 March 2003 amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels // Official Journal of the European Union. – 2003. – №L76. – P.10-19.
48. Кириллов Н.Г. Альтернативные моторные топлива XXI века // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2003. – № 3. – С.58-63.
49. Смирнова Т.Н. Биодизель – альтернативное топливо для дизелей / Т.Н. Смирнова, В.М. Подгаецкий // Двигателестроение. – 2007. – №7 (49). – С. 32-35.
50. Кульчицкий А.Р. Транспорт и парниковые газы / А.Р. Кульчицкий, В.В. Эфрос // Автомобильная промышленность. – 2005. – № 6. – С. 5-8.
51. Иващенко Н.А. Работа дизеля с разделенной камерой сгорания на рапсовом масле / Н.А. Иващенко, В.А. Марков, А.А. Ефанов // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2007. – № 3. – С. 26-40.
52. Парсаданов И.В. Результаты исследования показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов дизеля при работе на рапсовом эфире // Вестник науки и техники НТУ «ХПИ». – 2005. – Вып. №1. – С. 21-26.
53. Фокин Р.В. Разработка комплексной технологии получения смесового топлива с улучшенными свойствами для дизельных двигателей : автореф. дисс. канд. техн. наук / Фокин Р.В. – Мичуринск-Наукоград, 2008. – 24 с.
54. Говорун А.Г. Улучшение энергетических и экологических показателей работы дизелей путем применения трехкомпонентных смесевых биодизельных топлив / А.Г. Говорун, М.В. Павловский // Материалы международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле– и тракторостроение в

- России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ». – М. : МГТУ «МАМИ», 2010. – С. 80–84.
55. Говорун А.Г. Улучшение энергетических и экологических показателей работы дизелей путем применения трехкомпонентных смесевых биодизельных топлив / А.Г. Говорун, М.В. Павловський // Вісник Севастопольського Національного технічного університету. – 2011. – № 121. – С. 158 – 161.
56. Говорун А.Г. Деякі аспекти використання біопалив на основі етилового ефіру ріпакової олії в якості палива для дизелів / А.Г. Говорун, В.С. Подпіснєв // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2010. – Вип. 20. – С. 163–166.
57. Девянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. – Х. : Новое слово, 2007. – 451с.
58. Фомин В.Н. Показатели работы дизеля на биотопливе / В.Н. Фомин, Х.Х. Губейдулин // Сельский механизатор. – 2009. – № 11. – С. 34–35.
59. Elsbett K. Elsbett's Reduced Cooling of DI Diesel Engines without Water or Air / K. Elsbett [e.a.] // SAE Technical Paper Series. – 1987. – N. 870027. – P.101–107.
60. Исследование эффективности применения в дизельных двигателях топливных смесей и биотоплив/ В.А. Звонов, А.В. Козлов, А.С. Теренченко // Российский химический журнал. – 2008. – Том LII, № 6. – С.147-151.
61. Ефанов А.А. Разработка комплексной технологии получения смесевых топлив с улучшенными свойствами для дизельных двигателей : автореф. дис. канд. техн. наук. / А.А. Ефанов. – М., 2008. – 18 с.
62. Пахомов В.И. Технология и комплекс технических средств для внутрихозяйственного производства и использования биотоплива из растительных материалов в агропромышленном комплексе страны / В.И.Пахомов, В.Б.Рыков, С.И.Камбулов // Вестник аграрной науки Дона. – 2011. – №1. – С.26-31.
63. Семенов В.Г. Економічні показники дизеля під час роботи на біодизельному паливі рослинного походження / В.Г.Семенов, С.М.Черненко, А.І. Атамась // Вісник Кремен. держ. університету ім. М.Остроградського. Наукові праці КДУ ім. М.Остроградського. – 2010. – Вип. 1(60), ч. 1. – С.143-146.
64. Ивановский В.Г. Анализ параметров рабочего процесса судового среднеоборотного двигателя при работе на биодизеле / В.Г.Ивановский, Р.А. Варбанец, В.М.Горбов и др. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – №8(65). – С.102-106.
65. Sudhir C.V. Potential of waste cooking oils as biodieselfeed stock / C.V. Sudhir, N.Y.Sharma, P.Mohanan // Emirates Journal for Engineering Research. – 2007. – Vol. 12., №3. – P. 69-75.
66. Raj T. Mohan Comparison of operational characteristics of diesel engine run by bio diesel (rubber seed oil) with diesel fuel operation / T.Raj. – Indian institute of

- Technology Bombay. – Available at : www.ese.iitb.ac.in/icaer2007/Latest%20PPT%20File/48_023_TS4%20A.pdf.
67. Сандомирський М.Г. Результати випробування дизеля 4ЧН 12-14 на дизельному паливі і паливах рослинницького виду / М.Г. Сандомирський, Г. П. Мироненко, В. О. Шинкаренко // Вісник ХНТУСГ. Тракторна енергетика в рослинництві. – 2009. – Вип. 89. – С. 121-125.
68. Осетров А.А. Улучшение технико-экономических показателей дизеля 4ЧН 12/14, работающего на биотопливах : дис. канд. техн. наук: спец. 05.05.03 / Осетров Александр Алексеевич. – Х., 2005. – 190 с.
69. Кухаренко П.М. Застосування палив ненафтового походження для живлення дизельних двигунів з нероздільною камерою згоряння / П.М. Кухаренко, В.О. Улексін, В.М. Яцук // Науковий вісник НУБіП України. – 2010. – №3. – С.359-368.
70. Васильев И.П. Влияние свойств биотоплив на характеристики впрыскивания в камеру с постоянным давлением / И.П. Васильев, А. Хайлинг, М. Кайзер и др. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – №2. – С.37-41.
71. Особливості експлуатації дизелів сільськогосподарської техніки на біопаливі та його сумішах / [В.А.Войтов, О.Б.Калюжний, П.М.Клімов та інш.]; під ред. Д.І.Мазоренка і Л.М.Тищенко. – Харків : ХНТУСГ, 2009. – 74 с.
72. Семенов В. Біодизельне паливо для України / В.Семенов // Вісник Національної Академії Наук України. – 2007. – №4. – С. 18-21.
73. Rodriguez P. Evaluacion del funcionamiento de motores de combustion interna trabajando con biodiesel / P. Rodriguez, R.Sierens, S.Verhelst [and other] // Ingenieria Mecanica. – 2008. – №3. – P. 33-38.
74. Давыдова Е.М. Развитие топливного рынка ЕС: биодизельное топливо – возобновляемый энергетический ресурс / Е.М. Давыдова, В. Harten, Н.Н. Пасхин // Масложировая промышленность. – 2005. – № 4. – С. 22–24.
75. Штайгер В. Стратегия компании «Volkswagen» в сфере двигателестроения и использования различных видов топлива. Потенциальные синтетические виды топлива для транспортных средств будущего / В. Штайгер // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2005. – № 4. – С. 64–69.
76. Andersson E. Volvo Environmental Database for Fuels / E. Andersson // SAE Technical Paper Series. – 2000. – N. 2000–01–2010. – P. 1–6.
77. Ryan T.W. The use of Hybrid Fuel in a Single Cylinder Diesel Engine / T.W. Ryan, W.E. Likos, C.A. Moses // SAE Technical Paper Series. – 1980. – N. 801380. – P.10.
78. Schneider H.J. Treibstoff vom Feld: Alternative Antriebe: Bio-Masse ermöglicht einen geschlossenen Kohlendioxid-Kreislauf / H.J. Schneider // ACE Lenkrad. – 1991. – Jg. 38. – N. 9. – S. 29–31.
79. Onion G. Oxygenate Fuels for Diesel Engines: A Survey of World-Wide / G. Onion, L.B. Bodo // Biomass. – 1983. – Vol. 3. – N. 2. – P. 77–133.

80. Вальехо П. Экспериментальное определение кинетических констант воспламенения растительных топлив в условиях ДВС / П. Вальехо, С.В. Гусаков, А. Прияндака // Вестн. Российского ун-та дружбы народов. Инженерные исследования. – 2003. – № 1. – С. 29–31.
81. Вальехо П. Испытания дизеля МД–6 при работе на рапсовом масле / П. Вальехо, С.В. Гусаков, С.Н. Девянин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 4. – С. 42–45.
82. Горбунов В.В. Экспериментальные исследования дизеля ЯМЗ–238 при его работе на смесевых допливах / В.В. Горбунов, Н.Н. Патрахальцев, А.М. Абелян // Вестн. Российского ун-та дружбы народов. Инженерные исследования. – 2003. – № 1. – С. 5–10.
83. Исследования рабочего процесса тракторного дизеля при работе на смеси дизельного топлива и рапсового масла / Л.Н. Басистый [и др.] // Вестн. Российского ун-та дружбы народов. Тепловые двигатели. – 1996. – № 1. – С. 30–36.
84. Пономарев В.Е. Экспериментальная установка для исследования работы дизеля МД–8 на биотопливе / В.Е. Пономарев // Двигатель – 97 : Международ. науч.-тех. конф. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – С. 120.
85. Фомин В.М. Использование рапсового масла в качестве моторного топлива для дизелей / В.М. Фомин, И.В. Ермолович, Х.А. Сатер // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997. – № 5. – С. 11–12.
86. Аблаев А.Р. Получение моторного топлива из возобновляемого сырья в России / А.Р. Аблаев // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – № 5. – С. 73–76.
87. Краснощеков Н.В. Применение биомоторных топлив на энергоавтономных сельхозпредприятиях / Н.В. Краснощеков, Г.С. Савельев, А.Д. Шапкайтц // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1994. – № 11. – С. 4–7.
88. Краснощеков Н.В. Адаптация тракторов и автомобилей к работе на биотопливе / Н.В. Краснощеков, Г.С. Савельев, А.Д. Шапкайтц // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1994. – № 12. – С. 1–4.
89. Патрахальцев Н.Н. Биотопливо для быстроходных дизелей на основе рапсового масла / Н.Н. Патрахальцев, В.Е. Пономарев, Е.Г. Пономарев // «Совершенствование мощностных и экологических показателей ДВС» : материалы науч.-техн. конф. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, – 1997. – С. 97–98.
90. Марченко А.П. Альтернативное биотопливо на основе производных рапсового масла / А.П. Марченко, В.Г. Семенов // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – № 3. – С. 31–32.
91. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия / И.В. Парсаданов. – Харьков : Изд-во Харьк. политехн. ин-та, 2003. – 244 с.

92. Семенов В.Г. Альтернативные топлива растительного происхождения. Определение фракционного и химического составов / В.Г. Семенов, А.А. Зинченко // Химия и технология топлив и масел. – 2005. – № 1. – С. 29–34.
93. Семенов В.Г. Оптимизация состава бинарного альтернативного дизельного топлива / В.Г. Семенов // Химия и технология топлив и масел. – 2003. – № 4. – С. 29–32.
94. Семенов В.Г. Расчет высшей теплоты сгорания биотоплив / В.Г. Семенов, Д.У. Семенова, В.П. Слипушенко // Химия и технология топлив и масел. – 2006. – № 2. – С. 46–49.
95. Смайлис В. И., Сенчила В., Берейшене К. Моторные испытания РМЭ на высокооборотном дизеле воздушного охлаждения / В.И. Смайлис, В. Сенчила, К. Берейшене // Двигателестроение. – 2005. – № 4. – С. 45–49.
96. Nouredдини Н. Densities of Vegetables Oils and Fatty Acids / Н. Nouredдини, В.С. Теох, Л. Давис Клементс // Journ. of the American Oil Chemists' Society. – 1992. – Vol. 69. – N. 12. – P. 1184–1188.
97. Высокотехнологическое производство альтернативного биотоплива из растительного сырья / А. Долинский, Л. Грабов, В. Мерщий и др. // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2005. – № 3. – С. 62–64.
98. Перспективы и реальность использования масел растительного происхождения в качестве биотоплива / В.А. Гаврилова, А.Г. Дубовская, Н.Г. Конькова и др. // Масложировая промышленность. – 2005. – № 4. – С. 15–17.
99. Zehn Prozent Biokraftstoff für alle // Verein Deutscher Ingenieure. VDI-Nachrichten. – 2005. – Jg. 59. – N. 47. – S. 8.
100. Moreno F. Sunflower methyl ester as a fuel for automobile diesel engines // Trans. ASAE. – St. Joseph (Mich.), 1999. – Vol. 42. – N. 5. – P. 1181–1185.
101. Demirbas A. Biodiesel production via non-catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics / A. Demirbas // Energy Conversion and Management. – 2006. – Vol. 47(15). – P.2271-2282.
102. Shahabuddin M. An experimental investigation into biodiesel stability by means of oxidation and property determination / M. Shahabuddin, M. Kalam, H. Masjuki and other // Energy. – 2012. – Vol. 44(1). – P.661-622.
103. Gumus M.A. Comprehensive experimental investigation of combustion and heat release characteristics of a biodiesel (hazelnut kernel oil methyl ester) fueled direct injection compression ignition engine / M.A. Gumus // Fuel. – 2010. – Vol. 89(10). – P.2802-2814.
104. Lee C.S. An experimental study on the atomization and combustion characteristics of biodiesel-blended fuels / C.S. Lee, S.W. Park, S.I. Kwon // Energy Fuels. – 2005. – Vol.19(5). – P.2201-2208.
105. Bannister C.D. Quantifying the effects of biodiesel blend ratio, at varying ambient temperatures, on vehicle performance and emissions / C.D. Bannister, J.G. Hawley, H.M. Ali and other // SAE Technical Paper Series. – 2009. – №1. – P.1893-2009.

106. Alptekin E. Characterization of the key fuel properties of methel ester-diesel fuel blends / E. Alptekin, M. Canakci // *Fuel*. – 2009. – Vol. 88(1). – P.75-80.
107. Heilig A. Spray Analysis and Comparision of Diesel and Biodiesel-Methanol Bltns / A. Heilig, M.Kaiser, F.Dinkelacker // *ILASS – Europe 2011: 24h Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*. – Estoril. – 2011. – P.63-67.
108. Karabektas M. The effects of turbocharger on the performance and exhaustemissions of a diesel engine fuelled with biodiesel / M. Karabektas // *Renewable Energy*. – 2009. – Vol. 34(4). – P.89-93.
109. Selim M. Reducing the viscosity of jojoba methyl ester diesel fuel and effects on diesel engine performance and roughness // M. Selim // *Energy Conversion and Managment*. – 2009. – Vol.50(7). – P.1781-1788.
110. Lin C.Y. Diesel engine performance and emission characteristics of biodiesel produced by the peroxidation process / C.Y.Lin, H.A.Lin // *Fuel*. – 2006. – Vol. 85(3). – P.298-305.
111. Hasimoglu C. Performance characteristics of a low heat rejection diesel engine operating with biodiesel / C. Hasimoglu, M.Ciniviz, I.Ozsert and other. // *Renewable Energy*. – 2008. – Vol. 33(7). – P.9-15.
112. Sun X. Performance evaluation of low heat rejection engines / X.Sun, W.Wang, R. Bata // *Transactions ASME*. – 1994. – P.58-64.
113. Karabektas M. The effects of preheated cottonseed oil methyl ester on the performance and exhaust emission of a diesel engine / M. Karabektas, G.Ergen, M. Hosoz // *Applied Thermal Engineering*. – 2008. – Vol. 28(17). – P.36-43.
114. Лютко В. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. Лютко, В.Н. Луканин, А.С. Хачиян. – М. : Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. – 311с.
115. Korbitz W. Status and Development of Biodiesel Production and Projects in Europe // *SAE Technical Paper Series*. – 1995. – № 952768. – P. 249-254.
116. Combustion of the Rape-Seed Oil in a Diesel Engine / M. Hashimoto, T.Dan, I. Asano et al. // *SAE Technical Paper Series*. – 2002. – № 2002-01-0867. – P. 1-12.
117. Performance, Exhaust Emissions and Durability of Modern Diesel Engines Running on Rapeseed Oil / N. Hemmerlein, V. Korte, H. Richter et al. // *SAE Technical Paper Series*. – 1991. – № 910848. – P. 1-16.
118. Kampmann H.J. Dieselmotor mit Direkteinspritzung für Pflanzenöl // *MTZ*. – 1993. – Jg.54. – № 7/8. – P. 378-383.
119. Niemi S.A. Results from a Durability Test of a Mustard Seed Oil Driven Tractor Engine / S.A. Niemi, T. Hatonen, V.O.K. Laiho // *SAE Technical Paper Series*. – 1998. – № 982528. – P. 1-15.
120. Assessment of the Lubricity of Greek Road Diesel and the Effect of the Addition of Specific Types of Biodiesel / G. Anastopoulos, E. Lois, S. Stournas et al. // *SAE Technical Paper Series*. – 1999. – № 1999-01-1471. – P. 1-6.

121. Barsic N. J. Performance and Emissions Characteristics of a Naturally Aspirated Diesel Engine with Vegetable Oil Fuels / N. J. Barsic, A.L. Humke // SAE Technical Paper Series. – 1981. – № 810262. – 10 p.
122. Шкаликова В.Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях / В.Н.Шкаликова, Н.Н. Патрахальцев. – М. : Изд-во Российского университета дружбы народов, 1993. – 64 с.
123. Vegetable Oils: Diesel Fuel Supplements // Automotive Engineering. – 1981. – Vol. 89. – № 4. – P. 37-41.
124. Кулиев Р.Ш. Физико-химические свойства некоторых растительных масел / Р.Ш. Кулиев, Ф.Р. Ширинов, Ф.А. Кулиев // Химия и технология топлив и масел. – 1999. – № 4. – С. 36-37.
125. He D. Contribution Feedstock and Fuel Transportation to Total Fuel-Cycle Energy Use and Emissions / D. He, M. Wang // SAE Technical Paper Series. – 2000. – № 2000-01-2976. – P. 1-15.
126. Onboard Plasmatron Re forming of Biofuels, Gasoline and Diesel Fuel / A.Rabinovich, L. Bromberg, D.R. Cohn et al. // SAE Technical Paper Series. – 1998. – № 981920. – P.1-5.
127. Common Rail HSDI Diesel Engine Combustion and Emissions with Fossil / C.N. Grimaldi, L. Postrioti, M. Battistoni et al. / Bio-Derived Fuel Blends // SAE Technical Paper Series. – 2002. – № 2002-01-0865. – P. 1-9.
128. Hohl G.H. Rape Oil Methyl Ester (RME) and Used Cooking Oil Methyl Ester (UOME) as Alternative Fuels // SAE Technical Paper Series. – 1995. – № 952755. – P. 163-170.
129. Uchida M. Comparison of Emissions from Clean Diesel Fuels / M. Uchida, Y. A. Akasaka // SAE Technical Paper Series. – 1999. – № 1999-01-1121. – P.1-6.
130. Девянин С.Н. Улучшение экологических показателей транспортных дизелей при использовании смесового биотоплива / С.Н. Девянин, В.А. Марков, Д.А. Коршунов // Безопасность жизнедеятельности. – 2005. – № 12. – С. 27-33.
131. Марков В.А. Работа дизелей на растительных маслах / В.А. Марков, Д.А. Коршунов, С.Н. Девянин // «Грузовик». – 2006. – № 7. – С. 33-46.
132. Biodiesel Handling and Use Guidelines. – 3rd Ed., U.S. department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy. – Springfield, VA, USA, Sept.2006. – P. 69.
133. Григорьев М.А., Борисова Г.В. Очистка в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев, Г.В. Борисова. – М. : Машиностроение, 1991. – 208 с.
134. ГОСТ 19006-73. Топливо дизельное. Метод определения коэффициента фильтруемости.
135. Войтов В.А. Дослідження особливостей фільтрування біодизеля через паперові фільтри тонкої очистки дизельних двигунів / В.А. Войтов, М.С. Даченко, М.В. Карнаух, О.Б. Калюжний // Техніка і технологія АПК. – 2009. – №2. – С. 17-19.

136. Ивашенко Н.А. Работа дизеля с разделенной камерой сгорания на рапсовом масле / Н.А. Ивашенко, В.А. Марков, А.А. Ефанов // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2007. – №3. – С.26-40.
137. Фокин Р.В. Улучшение экологических характеристик дизеля регулированием состава смесового биотоплива : автореф. дис. канд. техн. наук / Р.В. Фокин . – М.-Н., 2008. – 16 с.
138. Семенов В.Г. Використання біодизельного палива у двигунах сільськогосподарського призначення / В.Г.Семенов, А.І. Атамаєв // Вісник ХНТУСГ. – 2009. – Вип. 77. – С. 375-379.
139. Гергель У. Періодичність заміни дизельних масел. – Уиклифор, Огайо, США : Корпорація “Лубризол”, 1997. – 54 с.
140. Скиднер Н.И. О необходимости систематического контроля качества работающих моторных масел / Н.И.Скиднер, Ю.А. Гурьянов // Химия и технология топлив и масел. – 2003. – №5. – С.28-30.
141. Гасвик Д.Г. Повышение эксплуатационной надежности отечественной автотранспортной и сельскохозяйственной техники / Д.Г. Гасвик. – М., 2000. – 248 с.
142. Войтов В.А. Разработка и обоснование браковочных показателей моторных масел в процессе эксплуатации ДВС / В.А. Войтов, В.А. Мазепа // Проблемы трибологии. – 2005. – №4. – С.186-194.
143. Войтов В.А. Критериальный подход для оценки снижения служебных свойств моторных масел в процессе эксплуатации и определение сроков их смены / В.А. Войтов, В.А. Мазепа // Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин : сб. науч. тр. ХГТУСХ. – 2003. – Вып.14. – С.104-108.
144. Войтов В.А., Мазепа В.А. Системный подход для эксплуатации моторных масел по техническому состоянию / В.А. Войтов, В.А. Мазепа // Проблемы трибологии. – 2006. – №1. – С.108-117.
145. Ключ О. В. Желирование моторных масел при работе на топливах растительного происхождения / О.В. Ключ // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля. – 2008. ч. 1.– № 5 (123). – С. 112–114.
146. Yükses L. The effect and comparison of biodiesel-diesel fuel on crankcase oil, diesel engine performance and emissions / Levent Yükses, Hakan Kaleli, Orkun Özener, Berk Özoğuz // FME Transactions. – 2009. – № 37, Issue 2. – P. 91-97.
147. Research on Engine Lube Oil Deterioration and Emissions of Diesel Engines with BioFuels (RME) / Zbigniew Stepień¹, Wiesława Urzędowska¹, Jan Czerwinski // Energy and Power. – 4(1A). – 2014. –P. 32-49 ; doi:10.5923/s.ep.201401.03
148. Shanta S. M. Tribological Effects of Mineral-Oil Lubricant Contamination with Biofuels: A Pin-on-Disk Tribometry and Wear Study / S. M. Shanta, G. J.

- Molina, and V. Soloiu // *Advances in Tribology*. – Hindawi Publishing Corporation, Volume 2011, Article ID 820795, 7 p. ; doi:10.1155/2011/820795
149. Suwannakij K. Biodiesel Contamination in Engine Lube Oil / Kiatkong Suwannakij, Teerapong Baitiang, Manida Tongroon, Sathaporn Chunchakitiyanon and Nuwong Chollacoop // *The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering 19-21 October, 2011, Krabi*. – P. 1-8.
150. Agarwal A.K. Lubricating Oil Tribology of a Biodiesel-Fuelled Compression Ignition Engine / Avinash Kumar Agarwal // *IIT Kanpur, India 2003 Fall Technical Conference, ASME Internal Combustion Engine Division and Rail Transportation Division, Erie, Pennsylvania, USA, September 7-10, 2003*. – Available at : http://iitk.ac.in/erl/Index_files/ICES2003--609.pdf
151. Schumacher L. G. Engine Oil Analysis of Diesel Engines Fueled with 0, 1, 2, and 100 Percent Biodiesel /L. G. Schumacher, J. V. Gerpen // *2000 Annual International Meeting, ASAE Midwest Express Center Milwaukee, WI 9-12 July, 2000*. – Paper No. 00-6010. – Available at : http://faculty.missouri.edu/~schumacherl/Engine_Oil_Analysis_of_Diesel_Engines_Fueled_with_0,1,2,100_Biodiesel.pdf
152. Birkavs A. Biodiesel impact on diesel engine high pressure pump plunger pairs / Aivars Birkavs, Aivars.Kakitis, Ilmars Dukulis // *15th International scientific conference “Engineering for rural development” : proceedings, Jelgava, Latvia, May 25-27, 2016*. – Available at : tf.llu.lv/conference/proceedings2016/Papers/N085.pdf
153. Полянский А.С. Оптимизация эксплуатационной надёжности системы топливоподачи автотракторных двигателей / А.С. Полянский, В.С. Беяминов // *Автомобильный транспорт, серия “Совершенствование машин для земляных и дорожных работ” : сб. науч. тр. – Вып. 11. – 2003. – С. 81 – 83*.
154. Полянский А.С. Построение моделей надёжности двигателей и их основных систем /А.С. Полянский // *Вісник ХДТУСГ. Механізація сільськогосподарського виробництва : зб. наук. пр. – Х. : ХДТУСГ. – 2001. – Вип. 7. – С. 63-73*.
155. Полянский А. С. Формирование свойств надёжности автотракторных двигателей в гарантийный и послегарантийный периоды эксплуатации [Текст] : дис... д-ра техн. наук: 05.22.20 / Полянский Александр Сергеевич ; Харьковський національний автомобільно-дорожній ун-т. –Х., 2003. – 381 с.
156. Вентцель Е.С. Исследование операций /Е.С.Вентцель. – М. : Советское радио, 1972. – 552 с.
157. Веников В. А. Теория подобия и моделирования : учеб. для вузов / В. А. Веников. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1976. – 479 с.