



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективного функціонування складу
автомобільних запасних частин у ТОВ «БОІНГ АВТО» м.
Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи ТТ-23М _____
(шифр групи) (підпис)

Олександр БОГДАН
(ім'я та прізвище)

Керівник:

Д.Т.Н. , проф. _____
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис)

Віктор АУЛІН
(ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

К.Т.Н. , доц. _____
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис)

Сергій МАГОПЕЦЬ
(ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

_____, _____
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис)

(ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

Освітньо-професійна програма: «Транспортні технології (автомобільний транспорт)»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Богдана Олександра Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення ефективного функціонування складу автомобільних запасних частин у ТОВ «БОІНГ АВТО» м. Кропивницький»

керівник роботи Аулін Віктор Васильович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь)

(вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «07» 08 2024 року
№43-13

2. Строк подання здобувачем роботи «30» листопада 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи 1. Матеріали науково-дослідної практики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Розділ 1 Розглянути методи організації та забезпечення потреби у запасних частинах, через функціонування складського господарства на підприємствах автосервісу. Дослідити організаційне забезпечення запасними частинами підприємств автосервісу через функціонування складського господарства. Проаналізувати методи визначення потреб підприємств автосервісу в запасних частинах. Дати стан сучасного парку легкових автомобілів.

4.2 Розділ 2 Провести теоретичні дослідження оцінки споживчої задоволеності та прогнозування просування легкових автомобілів на українському ринку. Виявити елементи вузлів і агрегатів, що лімітують працездатність легкових автомобілів. Розробити математичну модель та методики прогнозування потреби у запасних частинах для забезпечення заданого рівня працездатності легкових автомобілів.

4.3 Розділ 3 Отримати результати експериментальних досліджень необхідної номенклатури запасних частин на складі підприємства ТОВ «БОІНГ АВТО» м. Кропивницький. Дати основні методи проведення досліджень. Виконати оцінку розподілу відмов елементів легкових автомобілів та витрат на їх придбання. Виявити елементи, що лімітують працездатність легкових автомобілів. Визначити закономірності розподілу відмов елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів.

4.4 Розділ 4 Запропонувати методику прогнозування потреби та оптимізації кількості запасних частин дилерської мережі станцій технічного обслуговування. Дати оцінку обсягу запасних частин дистриб'юторської системи, що взаємодіє з мережею дилерських СТО

5. Перелік ілюстративного матеріалу на 16 слайдах

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	РОЗДІЛ 1	18.10.2024	
2	РОЗДІЛ 2	08.11.2024	
3	РОЗДІЛ 3	22.11.2024	
4	РОЗДІЛ 4	28.11.2024	
5	Ілюстративний матеріал	29.11.2024	

Магістрант _____
(підпис)

Олександр БОГДАН _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Віктор АУЛІН _____
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.

Пояснювальна записка має 106 сторінок тексту формату А4, 48 рисунків, 12 таблиць, 20 використані джерела по переліку посилань.

В першому розділі розглянути методи організації та забезпечення потреби у запасних частинах, через функціонування складського господарства на підприємствах автосервісу. Досліджено організаційне забезпечення запасними частинами підприємств автосервісу через функціонування складського господарства. Проаналізовано методи визначення потреб підприємств автосервісу в запасних частинах. Дано стан сучасного парку легкових автомобілів.

В другому розділі провести теоретичні дослідження оцінки споживчої задоволеності та прогнозування просування легкових автомобілів на українському ринку. Виявлено елементи вузлів і агрегатів, що лімітують працездатність легкових автомобілів. Розроблено математичну модель та методики прогнозування потреби у запасних частинах для забезпечення заданого рівня працездатності легкових автомобілів.

В третьому розділі отримано результати експериментальних досліджень необхідної номенклатури запасних частин на складі підприємства ТОВ «БОІНГ АВТО» м. Кропивницький. Дано основні методи проведення досліджень. Виконати оцінку розподілу відмов елементів легкових автомобілів та витрат на їх придбання. Виявлено елементи, що лімітують працездатність легкових автомобілів. Визначено закономірності розподілу відмов елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів.

В четвертому запропоновано методику прогнозування потреби та оптимізації кількості запасних частин дилерської мережі станцій технічного обслуговування. Дано оцінку обсягу запасних частин дистриб'юторської системи, що взаємодіє з мережею дилерських СТО.

Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування складу запасних частин на підприємстві на основі врахування економічної кон'юнктури, умов експлуатації та надійності автомобілів, економічної кон'юнктури та зв'язку з

системою технічного обслуговування та ремонту.

Основні завдання досліджень:

1. Проведення аналізу рівня споживчого задоволення пропонованими на ринку автомобілів та їх кластеризація, прогнозування динаміки продажів з урахуванням можливих змін в економічній кон'юктурі;

2. Вибір марок та моделей зі сформованих кластерів легкових автомобілів та виявлення критичних за рівнем працездатності їх елементів. Отримання, обробка та проведення аналізу інформації про динаміку інтенсивності експлуатації та показники експлуатаційної надійності, з подальшим формуванням функції потоку відмов деталей, вузлів, систем та агрегатів для відібраних автомобілів;

3. Розробка методики прогнозування потреби та оптимізації кількості запасних частин та оцінка ефективності її функціонування для обраних елементів та автомобілів з урахуванням динаміки просування на ринку.

Об'єктом дослідження: процеси постачання запасних частин до автомобілів, забезпечення ними складу на автосервісному підприємстві та зв'язки з системою технічного обслуговування та ремонту.

Предмет дослідження: Закономірності зміни потреби у запасних частинах під час експлуатації легкових автомобілів на гарантійному періоді.

Наукова новизна полягає у наступному:

1. Розробка математичної моделі оптимізації потреби в запасних частинах для автомобілів з урахуванням інтенсивності експлуатації та експлуатаційної надійності для забезпечення заданого рівня їхньої працездатності;

2. Запропоновано результируючий показник значущості елементів автомобілів з позиції їх впливу на працездатність і витрати запасних частин на відновлення технічного стану автомобілів.

Практична значимість роботи: розроблені заходи підвищення ефективності функціонування дилерської та дистриб'юторської мережі, спрямованої на покращення якості обслуговування власників легкових автомобілів та ефективного функціонування складу запчастин автомобілів на складі підприємства.

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1 МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТРЕБИ У ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ, ЧЕРЕЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА НА ПІДПРИЄМСТВАХ АВТОСЕРВІСУ

1.1 Організація забезпечення запасними частинами підприємств автосервісу через функціонування складського господарства

1.2 Методи визначення потреб підприємств автосервісу в запасних частинах

1.3 Стан сучасного парку легкових автомобілів

Висновки з першого розділу. Мета та завдання дослідження

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОБҐРУНТУВАННЯ РІВНЯ ЗАДОВОЛЕНОСТІ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

2.1. Оцінка споживчої задоволеності та прогнозування просування легкових автомобілів на українському ринку

2.2 Виявлення елементів вузлів і агрегатів, що лімітують працездатність легкових автомобілів

2.3 Розробка математичної моделі та методики прогнозування потреби у запасних частинах для забезпечення заданого рівня працездатності легкових автомобілів

Висновки по другому розділу

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НЕОБХІДНОЇ НОМЕНКЛАТУРИ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН НА СКЛАДІ ПІДПРИЄМСТВА ТОВ «БОІНГ АВТО» М. КРОПИВНИЦЬКИЙ

3.1 Основні методи проведення досліджень

3.2 Оцінка розподілу відмов елементів легкових автомобілів та витрат на їх придбання

3.3 Виявлення елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів

3.4 Визначення закономірностей розподілу відмов елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів

Висновки по третьому розділу

РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБИ КІЛЬКОСТІ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ДЛЯ МЕРЕЖІ СТО

- 4.1. Методика прогнозування потреби та оптимізації кількості запасних частин дилерської мережі станцій технічного обслуговування
- 4.2 Оцінка обсягу запасних частин дистриб'юторської системи, що взаємодіє з мережею дилерських СТО

Висновки по четвертому розділу

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

В даний час і в перспективі найважливішою з умов існування автомобільних сервісних систем (підприємства автосервісу, логістичних центрів просування запасних частин та складу автомобільних запасних частин) є постійна розробка заходів, спрямованих на збільшення ефективності їх функціонування, що вимагає наявності відповідних методів аналізу, оцінки та прогнозування їхньої поведінки в динамічних системах автосервісного обслуговування клієнтів.

Необхідно відзначити наявність низки проблем, характерних для ринку автосервісного обслуговування та функціонування систем управління запасами в умовах України:

- ізольованість підприємств та їх фінансової документації, що ускладнює збирання та аналіз відповідної інформації, необхідної для вивчення принципів, що дозволяють виробити підходи до збільшення ефективності функціонування мережі СТО;
- відсутність дієвих методик, що дозволяють проводити оцінку ефективності функціонування мережі СТО на основі кількісних та якісних показників та здійснювати прогнозування зміни потреби у запасних частинах на належному рівні;

Вищевикладені проблеми визначають потребу у формуванні принципів, методик, а також підходів та рекомендацій, націлених на підвищення ефективності роботи СТО з урахуванням тимчасових факторів, поточного стану ринкової системи, що дозволить оперативно планувати потребу в запасних частинах з урахуванням їх просування в районах ділової активності мереж СТО, що взаємодіють з дистриб'юторськими системами.

Сучасні зміни в економічній ситуації змушують дистриб'юторські системи переглядати свою політику забезпечення постачання запасних частин на автосервісні підприємства з метою забезпечення необхідного рівня працездатності транспортних засобів.

Варто зазначити, що на сьогоднішній день, рівень запасів матеріальних цінностей на території автосервісних підприємств і попередній етап постачань

продукції, ґрунтується на нормативній документації.

Нормативний метод не завжди успішний на практиці, де більше значення мають методики планування, що ґрунтуються на статистичних та математичних методах, до яких належить теорія відновлення та теорія масового обслуговування.

Проведений аналіз нормативно-правової та методичної літератури вказує на недосконалість старих методів та необхідність доробок наступних критеріїв: обліку та аналізу у прогнозуванні витрат та збитків, що виникають на етапі постачання запасних частин; враховуючи невизначеності та ризики, в процесі постачання; прогнозування та розрахунок обсягу запасу, виходячи з потенційних (прогнозних) характеристик витрачання запасних частин та постачання.

У сучасних умовах, при прийнятті управлінських рішень найбільш актуальним є аналіз поточної політики з управління запасами та рівнем її ефективності. Рівень витрат підприємством автомобільного сервісу в процесі управління запасами запасних частин сягає 40% від кількості загальних витрат, що свідчить про необхідність оптимізації цього процесу.

Багато зарубіжних компаній, у питаннях управління запасами спираються на працю Еддоуса М., Стенфілд Р. «Методи прийняття рішень», де представлені різні методи та моделі управління запасами, починаючи від детермінованих, закінчуючи моделями, що враховують невизначеність та інтервали постачань.

Варто пам'ятати, що наявність запасів, до яких належать і запасні частини, створює додаткові витрати. З'являється потреба у додаткових площах (для зберігання), в обладнанні, у персоналі та страхуванні. Це можливо призвести до «простоїв» коштів, формуються збитки через неможливість використання вже вкладених коштів. Однак, варто розуміти, що повна відмова від створення запасів підвищує ризики через невизначеність попиту та факторів зовнішнього середовища. Одним із критеріїв ефективної роботи підприємства з ремонту та обслуговування легкових автомобілів є своєчасність. Як результат, зниження рівня запасів може призвести до дефіциту запасних частин, збільшення часу ремонтних робіт і як наслідок втрати клієнтів.

Формування підходу до створення запасів та їх постійний контроль мають прямий вплив на ймовірність утворення їхнього профіциту чи дефіциту. У

багатьох випадках саме фактори невизначеності безпосередньо впливають, на динаміку продажів легкових автомобілів у тих чи інших регіонах, особливості комплектації та вимоги до них, інтенсивність експлуатації транспортних засобів (ТЗ) та експлуатаційна надійність та ін. Ці фактори впливають у свою чергу на коливання попиту на послуги СТО і, як наслідок, на розміри партій та інтервали постачання необхідних елементів та комплектуючих. Всі ці фактори та індивідуальні потреби у різних регіонах мають бути враховані для формування запасів. Автосервісному підприємству (АСП) необхідно створити та розрахувати такий рівень запасів, щоб уникнути можливих втрат при порушенні чи затримці на будь-якому з етапів ланцюга постачань, мати ефективний рівень оборотності та максимально знизити витрати на зберігання та обробку. На побудову моделі повинні бути накладені такі обмеження, щоб вона була найпростіша у використанні, динамічна до змін зовнішнього середовища підприємства, чітко відображала ситуації і була зручна в рамках практичної реалізації.

РОЗДІЛ 1 МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТРЕБИ У ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ, ЧЕРЕЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА НА ПІДПРИЄМСТВАХ АВТОСЕРВІСУ

1.1 Організація забезпечення запасними частинами підприємств автосервісу через функціонування складського господарства

Зараз в Україні успішно функціонує система матеріально-технічного забезпечення (МТЗ). Як основні постачальники запасних частин і різноманітних експлуатаційних матеріалів раніше виступали мережеві державні склади. Поступовий перехід від централізованої до ринкової системи постачання автокомпонентів здійснювався з урахуванням досвіду зарубіжних виробників автомобілів та постачальників. Внаслідок цього сучасна система МТЗ, що діє на території України в даний час практично ідентична зарубіжним.

На одному з етапів переходу було здійснено впровадження іноземних виробників, які, у свою чергу, вирішили питання, пов'язані з організацією системи постачань відповідно до наявного досвіду та врахування характерних особливостей українського ринку.

Основним завданням будь-якої сучасної дилерської мережі є створення таких умов та обслуговування для клієнта, які призведуть до повного задоволення його бажань. Такі цільові напрями сприяють формуванню позитивного іміджу торгової марки, як наслідок, ведуть до підвищення показника продажів.

Досягнення цільових показників дилерам доводиться вирішувати основне завдання - надання сервісних послуг (післяпродажне обслуговування). Післяпродажне обслуговування є одним із основних критеріїв задоволеності клієнта дилерською мережею, що потребує наявності якісної та ефективної системи постачання автокомпонентів.

Організація роботи дилерської мережі підприємств автосервісів як на території України, так і в зарубіжних країнах будується на єдиному принципі. На центральному складі підприємство-виробник автомобілів і компонентів має в своєму розпорядженні до 85 % від усієї номенклатури запасних частин,

необхідних обслуговування всієї чисельності транспортних засобів, що у зоні впливу даного складу. Після чого фірма-виробник організує роботу дрібніших за розмірами та номенклатурою регіональних складів на підприємствах автосервісу. При цьому розмір та номенклатура запасних частин (ЗЧ) та автомобільних компонентів залежить від кількості автомобілів, що перебувають у його сфері впливу, та є достатніми для організації безперебійної роботи точок дилерського обслуговування протягом кількох місяців.

Принцип роботи складських підприємств дилерської мережі післяпродажного обслуговування полягає в наступному. При вступі на обслуговування та (або) поточний ремонт автомобіля перевіряється наявність необхідних ЗЧ та агрегатів на складі підприємства автосервісу. У разі відсутності необхідної номенклатури, виконується замовлення з регіонального складу. За відсутності даної номенклатури та на регіональному складі, надсилається запит до центрального складу фірми-виробника. В умовах цифрових технологій, що швидко розвиваються, цей процес дещо спрощується, оскільки є можливість отримання відомостей про поточний стан кількості ЗЧ, що знаходяться на регіональному складі в реальному часі.

Замовлення для автомобілів, які в даний момент знаходяться в ремонті відповідно до певної заявки або замовлення-наряду або клієнта, що набуває певну деталь за допомогою магазину при дилерській мережі, прийнято класифікувати як термінові. Нестрокові замовлення, своєю чергою - це замовлення, які виконуються щодня, тиждень чи місяць і спрямовані заповнення складських запасів ЗЧ підприємства. За відсутності конкретної деталі на центральному чи регіональному складі може бути зроблено спеціальне замовлення, на підставі якого провадиться її виробництво заводом-виробником. Важливою вимогою для функціонування даної системи ЗЧ є їхня оригінальність. Оригінальними запасні частини вважаються у разі, якщо виробник (компанія) є офіційним постачальником вузлів або агрегатів заводу-виробника конкретної марки легкових автомобілів або безпосередньо сама фірма-виробник автомобіля.

Незважаючи на ряд істотних переваг даної системи постачання ЗЧ підприємств автомобільного сервісу, вона все ж таки має ряд недоліків:

- тривалі терміни виконання (до 5 тижнів) поточних поставок замовлених ЗЧ у разі потреби доставки із центрального складу виробника;
- для сформованих умов на ринку поставок автомобільних ЗЧ зростає рівень конкуренції серед виробників та постачальників неоригінальних (аналогових) запасних частин, деталей, вузлів та агрегатів, а також оптових фірм-посередників (основний конкурент – виробники аналогів за рахунок низької вартості та якості);
- залежність від актуальних даних про кількість автомобілів цієї моделі та марки в регіоні;
- обмеженість цінової політики дистриб'ютора офіційного виробника ЗЧ (рівень цін);
- пряма залежність офіційних дилерів від характеру та моделі роботи регіональних та центральних складів.

Підходи до вирішення питання забезпечення автомобільного ринку ЗЧ розглянуто у роботах вітчизняних та зарубіжних авторів.

Формування ряду горизонтальних зв'язків різних підприємств та заводів-виробників виникло внаслідок відмови від централізованої вертикальної системи забезпечення ЗЧ. Перевага такої системи постачання полягає у підвищенні ефективності витрати та управління залишками ЗЧ, а саме – у зниженні їх надлишкової кількості, відсутність дефіцитних найменувань та неліквідних позицій. В якості недоліків можна виділити погіршення продуктивності як системи постачання, так і всього підприємства в цілому внаслідок зростання транспортних витрат, простою парку рухомого складу через відсутність необхідної номенклатури ЗЧ, а також неможливості мати точну інформацію про поточну потребу в МТЗ. Усі перелічені чинники формують ряд складнощів при плануванні поставок і випуску, зокрема - виникнення посередників поставки ЗЧ.

Кардинальною відмінністю системи постачання запасними частинами Україні від зарубіжної є наявність значної частини посередницьких організацій, що було викликано «стихійністю» ринку, і навіть порівняно низьким рівнем доходу населення.

Сучасна система забезпечення автомобілів ЗЧ зазнала низки змін за останнє

десятиліття – було сформовано багатоканальну взаємодію учасників автомобільного ринку між собою. Відбулося значне зміцнення дилерських мереж підприємств-виробників, що відображено на рисунку. 1.1.

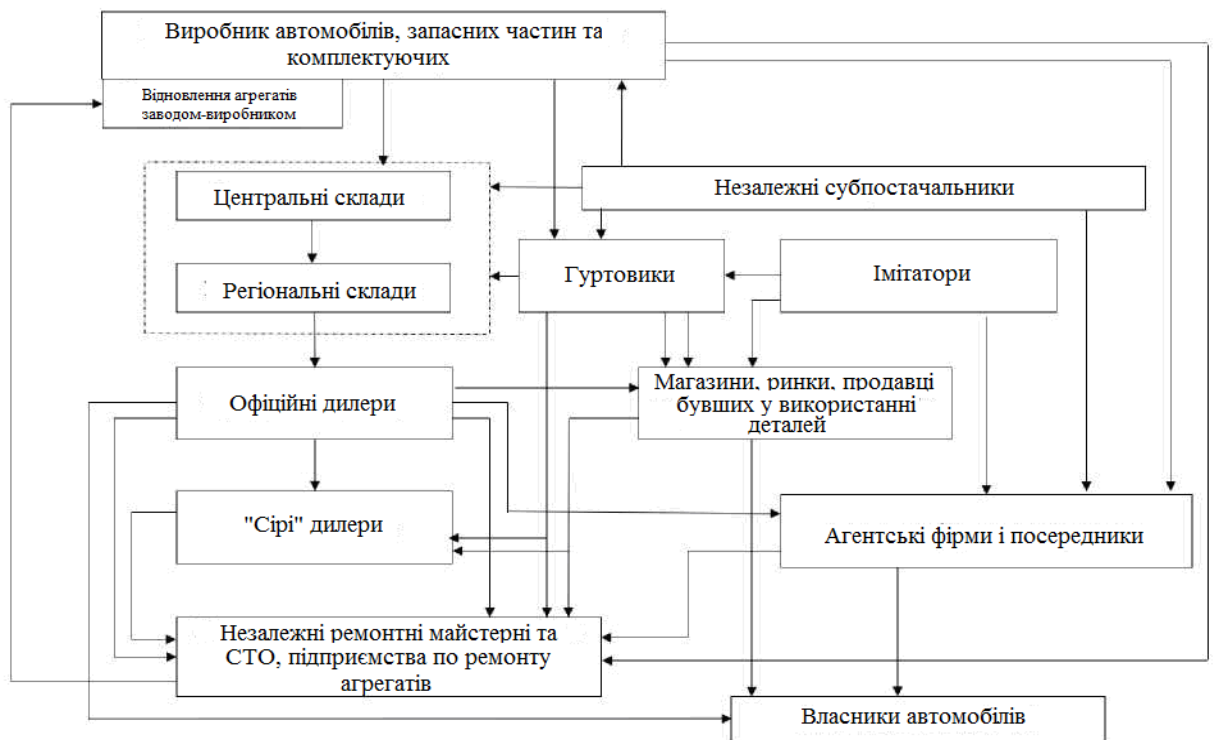


Рисунок 1.1 – Структура ринку запчастин в Україні

Внаслідок утворення низки незалежних (сторонніх) підприємств сервісу автомобілів у офіційних дилерів з'явилася значна конкуренція. Сторонні підприємства автомобільного сервісу автомобілів або незалежні підприємства обслуговування — це приватні СТО та майстерні. Забезпечення ЗЧ таких підприємств відбувається через закупівлю через офіційних постачальників, дилерські мережі, незалежні магазини, різні ринки, а також продавців вживаних (підтриманих) ЗЧ. Висока конкуренція незалежних СТО викликана особливостями ціноутворення наданих ними послуг. Найчастіше вартість робіт може бути до 2-2,5 разів нижчою від цін за проведення еквівалентних робіт в умовах дилерських центрів.

Серед учасників ринку автомобільних компонентів слід виділити незалежних субпостачальників, які є незалежними фірмами, що виробляють комплектуючі для заводів-виробників. Незалежні постачальники виконують постачання ЗЧ безпосередньо через дилерські мережі, а також різних оптових

компаній та незалежних магазинів ЗЧ.

Як було зазначено раніше - основними конкурентами автомобільних дилерів є виробники аналогів (імітатори) і продавці вживаних запасних частин, знятих з легкових автомобілів, що вийшли з експлуатації.

Сучасний автомобільний ринок також пов'язаний з роботою значної кількості агентських фірм, що формують взаємозв'язок між споживачами та субпостачальниками за рахунок реалізації ЗЧ як оптом, так і в роздріб. Їх наявність сприяє усуненню низки недоліків системи МТЗ для автомобілів.

У поточних умовах існуючі агентські фірми ведуть свою діяльність за допомогою електронних ресурсів (інтернет-магазину), на яких зібрані каталоги виробників ЗЧ та їх аналогів. Також варто відзначити, що дані сайти забезпечені пошуком відповідних оригінальних ЗЧ аналогів серед замінників. Таким чином, для клієнта організований сервіс з можливістю здійснення самостійного замовлення ЗЧ, які найчастіше супроводжуються послугами по доставці. Такий підхід дозволяє агентським фірмам складати міцну конкуренцію дилерським мережам та виходити на лідируючі позиції в умовах ринку автомобільних ЗЧ.

1.2 Методи визначення потреб підприємств автосервісу в запасних частинах

Аналіз сучасних методик визначення потреби у ЗЧ свідчить, що на підприємствах дилерських мереж існує безліч методик. Методи оптимізації запасів деталей, вузлів або агрегатів автомобілів, що використовуються в Україні, можуть частково задовольняти цим вимогам централізованої системи МТЗ.

На практиці найчастіше використовується метод визначення потреби у ЗЧ, заснований на статистиці витрати за попередній звітний період з урахуванням середнього пробігу рухомого складу на передбачуваний період або ж на підставі заводських норм витрати ЗЧ на 100 автомобілів, що перебувають в експлуатації, на рік. Крім визначення потреби ЗЧ такі норми можуть використовуватись для оптимізації роботи виробничих елементів автосервісів і дилерських мереж.

Найчастіше, щодо потреби запчастин і матеріалів для автотранспортних

підприємств (АТП) використовується нормативний метод планування виробництва, заснований на обліку нормативних показників витрати ЗЧ. При визначенні потреби у ЗЧ використовується ряд формул та залежностей.

В методі теорії відновлення, визначається кількість замін елементів та деталей автомобіля на будь-якому пробігу від 0 до L:

$$N = \frac{(L_{ам} - L_{нов}) \cdot 100 \cdot n}{t_{ам} \cdot R_{з.ч.}} + 100 \cdot X_{\alpha} \cdot \frac{\delta \sqrt{L_{ам}}}{t_{ам} \sqrt{R_{з.ч.}^3}} \quad (1.1)$$

де: N - нормативний показник витрати запасних частин, виражений шт/100 автомобілів на рік;

$L_{ам}$ – пробіг автомобіля за амортизаційний період, тис. км;

$L_{нов}$ – термін служби нової деталі, вузла автомобіля до першої заміни, тис. км;

$t_{ам}$ – термін служби автомобіля за нормами амортизаційних відрахувань, рік;

X_{α} – квантиль нормального розподілу ресурсів початкового елемента;

δ – середнє квадратичне відхилення ресурсу деталі, тис. км;

$\overline{R_{зч}}$ - Середній термін служби запасних частин між замінами, тис. км.

Показник $\overline{R_{зч}}$ визначає верхній рівень довірчої межі та враховує середній термін служби деталей, вузлів та агрегатів транспортного засобу (ТЗ) між двома замінами (першою та другою, другою та третьою тощо).

Далі, з урахуванням використання нормативу, пропонується визначити річну потребу Q у ЗЧ:

$$Q = \frac{\alpha \cdot P \cdot N}{100}, \quad (1.2)$$

де: α - поправочний коефіцієнт, який може набувати значень від 0,9-1,0 (залежить від умов експлуатації автомобілів);

P – парк автомобілів, шт.

Один із підходів, має на увазі розрахунок норми витрати ЗЧ за ресурсами деталей:

$$N = \frac{(L_{ам} - L_{нов}) \cdot 100 \cdot n}{L_{рем} \cdot t_{ам}} \quad (1.3)$$

де $L_{ам}$ – пробіг автомобіля за амортизаційний період, тис. км.;

$L_{нов}$ - термін служби нової деталі, вузла чи вузла автомобіля до першої заміни, тис. км;

$L_{рем}$ – середній термін служби деталей між замінами, тис. км.;

n – кількість деталей, вузлів одного найменування на автомобілях;

$i_{ам}$ – термін служби автомобіля за нормами амортизаційних відрахувань, рік.

Можливе також застосування підходу, що враховує обсяг ремонтних робіт на підставі річного пробігу ТЗ, що дозволяє визначити нормативне значення витрати ЗЧ, що припадають на 100 легкових автомобілів:

$$N = \frac{(M_z - M_k) \cdot 100 \cdot L_p}{L_{заг}} \quad (1.4)$$

де M_e - фактична витрата деталей на АТП, шт;

M_k - фактична витрата деталей в умовах ремонтної зони, прим;

L_p – річний (нормативний) пробіг автомобіля, тис. км;

$L_{заг}$ – сумарний пробіг парку автомобілів на АТП, тис. км.

Ще один спосіб визначення норми витрати ЗЧ на запланований період часів для одного автомобіля з певною ймовірністю

$$n = n_1 - n_2 \\ n_2 = \frac{T_2 - \tau \cdot \delta}{\mu}, n_1 = \frac{T_1 - \tau \cdot \delta}{\mu} \quad (1.5)$$

де n – кількість необхідних деталей, шт;

n_2 - кількість необхідних деталей в кінці запланованого періоду, шт;

n_1 - кількість необхідних деталей початку планованого періоду, шт;

T_1 - напрацювання автомобіля початку планованого періоду, тис. км;

T_2 - напрацювання автомобіля на кінець запланованого періоду, тис. км; m – ступінь точності обчислень;

μ, σ - математичне очікування та середньоквадратичне відхилення розподілу ресурсу деталі відповідно, тис. км.

Також існує методика, що базується на показниках надійності автомобілів залежно від їх конструктивних особливостей, умов експлуатацій та кількості

ремонтів даних ТЗ.

Залежність витрати ЗЧ, характерна для нормального закону розподілу має такий вигляд:

$$h_i = \frac{100 \cdot n}{T_i} \cdot \left[\frac{V_i}{K_i} \cdot Z_g + 0,5q(L) \right] \quad (1.6)$$

де L – норма витрати ЗЧ, шт/100 автомобілів на рік;

n – кількість деталей, вузлів одного найменування на автомобілі;

T_j - термін служби автомобіля за нормами амортизаційних відрахувань на рік

V_i - Коефіцієнт варіації ресурсу між замінами;

K_i - коефіцієнт зменшення ресурсу деталі в залежності від умов експлуатації,

$$K_i = \frac{R_{zi}}{R_i};$$

Z_b - допоміжна величина при розрахунку потреби в ЗЧ, що визначається за таблицею в залежності від U_q квантилю нормального розподілу ресурсу початкового елемента;

$q(L)$ - функція розподілу початкового елемента до моменту L , що визначається за таблицею функції від U_q ;

R_{zi} – середній термін служби ЗЧ між замінами;

R_i – термін служби нової деталі, вузла до першої заміни, тис. км.

Описаний методичний підхід також включає використання експоненційних залежностей розподілу, стаціонарного процесу відновлення, а також розподілу Вейбулла-Гнеденка. Під час проведення розрахунків за основу беруть нормативні значення середніх показників ресурсу ЗЧ, вузлів та агрегатів автомобіля, встановлені їх виробниками, закладеними в описані вище закони розподілу.

В методі прогнозування рівня потреби Q_a підприємств з обслуговування автомобілів у ЗЧ враховується щільність відновлення ймовірності:

$$Q_a = \sum n_i \cdot h_i \cdot \Delta L_r + U_a \cdot \sqrt{\sum n_i \cdot h_i \cdot (1 - h_i \Delta L_r)} \cdot \Delta L_r \quad (1.7)$$

де n_i - кількість автомобілів, термін служби яких знаходиться в i - му

інтервалі пробігу, шт;

h_i - щільність відновлення, відмова/тис. км;

ΔL_r - середній пробіг автомобіля протягом розглянутого проміжку часу;

U_α - односторонній квантиль нормованого нормального розподілу;

$h_i \Delta L_r$ - додток, що виражає можливість відмови в інтервалі пробігу ΔL , якщо цей інтервал дуже малий.

Найбільш актуальними принципами щодо прогнозування рівня потреби СТО у ЗЧ є наступні:

1. Дотримання балансу кількості ЗЧ на підприємстві за допомогою оцінного уточнення нормативних значень витрати, обсягу запасів, а також оптимальне планування кількості деталей, що підлягають ремонту.

2. Приведення у повну відповідність розрахункових даних на етапі планування, конкретизація умов експлуатації автомобілів, рівня узагальненості ЗЧ, показника надійності та кореляція нормативних значень витрати з усією системою показників, що розглядається.

Основним чинником досягнення оптимального значення достовірності при прогнозуванні та плануванні потреби автосервісних підприємств у ЗЧ автомобілів є наявність раціональної нормативної бази ЗЧ, що підлягає своєчасному (періодичному) оновленню та відображає зміни через вплив зовнішніх факторів.

Також, ще одним важливим критерієм є програма ТО та поточного ремонту (ПР) на підприємстві, оскільки потреба у ЗЧ, яка спланована на весь період передбачуваного прогнозування.

Розроблено три рівні прогнозування потреб підприємств АТП і СТО в ЗЧ для автомобілів. Перший рівень прогнозування застосовується при етапі проєктування та доведення конструкції під час проєктування нової моделі автомобіля. Другий рівень застосовується під час проведення випробувань дослідних зразків автомобіля (дослідної партії). Третій рівень проєктування застосовується у процесі експлуатації серійної партії вироблених автомобілів.

Також можливо зазначити, що у третьому рівні прогнозування потреби у ЗЧ використання методу екстраполяції прийнято вважати найбільш доцільним. У загальному вигляді модель прогнозу включає три складові (рисунок 1.2) і має

вигляд:

$$y_t = \bar{y}_t + v_t + \xi_t \quad (1.8)$$

Де: y_t - прогнозне значення часового ряду;

$\bar{y}_t$ - середнє значення прогнозу;

v_t - складова прогнозу, що відображає сезонні коливання (сезонна хвиля);

ξ_t - випадкова величина відхилення прогнозу.

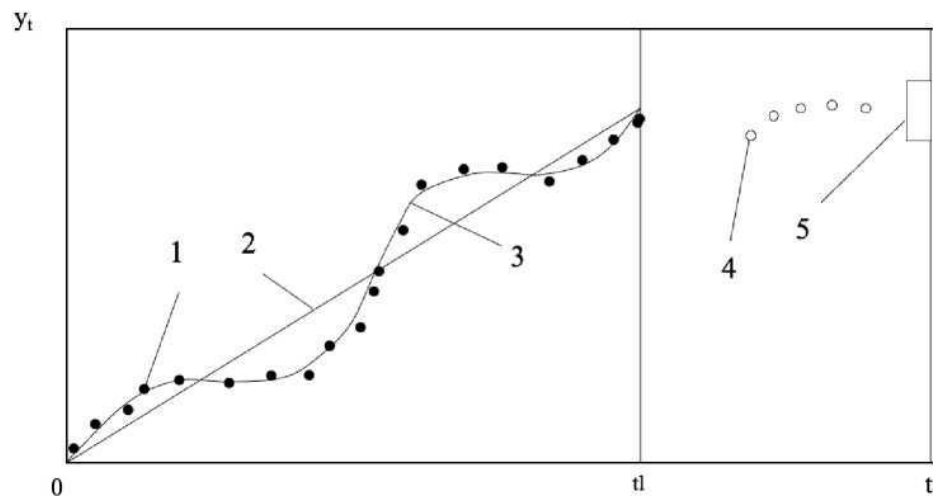


Рисунок 1.2 - Прогнозування з урахуванням часових рядів 1 - експериментальні дані на інтервалі спостереження; 2 - тренд; 3 - тренд та сезонна хвиля; 4 - значення точкового прогнозу на інтервалі попередження; 5 - інтервальний прогноз.

Вибір рівняння тренду ґрунтується на інформації про одну деталь, де за основу беруться дані про її місячну витрату протягом попереднього року y_t . Рівняння лінійної залежності має вигляд:

$$\bar{y}_t = a_0 + a_1 \cdot t \quad (1.9)$$

де: a_0, a_1 - невідомі коефіцієнти;

t - порядковий номер місяця, $t = 1 \dots 12$.

Метод найменших квадратів дозволяє визначити невідомі коефіцієнти:

$$a_0 = \frac{\sum y_i \sum t_i^2 - \sum t_i \sum y_i t_i}{N \sum t_i^2} \quad (1.10)$$

$$a_1 = \frac{n \sum y_i t_i - \sum y_i \sum t_i}{N \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}$$

де: N - число точок тимчасового ряду.

Наступний крок ґрунтується на виключенні з тимчасового ряду! значення тренду з допомогою підстановки у вираз (1.9) значення $t = \overline{1,12}$. Таким чином обчислюються значення без урахування Z_i .

Задаємося рівнянням сезонної хвилі у вигляді:

$$v_i = b_0 + b_1 \cos \omega t + b_2 \sin \omega t \quad (1.11)$$

де: b_i – коефіцієнти, що визначаються за допомогою методу гармонійного аналізу;

ω – частота коливань.

Випадкові величини можуть бути визначені в такий спосіб (за умови виключення сезонної хвилі):

$$\xi = z_i - v_i$$

В результаті підстановки отриманих у ході рішення математичної моделі виразів у формулу (1.8) з'являється можливість обчислення потреби ЗЧ для будь-якого значення I .

Розрахункова формула для визначення довірчого інтервалу I_y записується наступним чином:

$$I_y = y_t \pm t_{py} a_E, \quad (1.12)$$

де y_t – прогноз за формулою (1.8);

a_E – середнє квадратичне відхилення випадкової величини відхилення прогнозу;

t_{py} - табульоване значення коефіцієнта Стюдента, що відображає заданий рівень довірчої ймовірності P та число ступенів свободи k .

Наведена методологія заснована на високоефективному математичному апараті, що дозволяє з високою точністю визначати потребу в ЗЧ дилерських мереж обслуговування та ремонту автомобілів, але, на жаль, вони не дозволяють урахувати поточну потребу в ЗЧ підприємства, пов'язану з веденням виробничої діяльності.

Пропонується розділення всіх СТО автомобілів на три групи в залежності від кількості постів обслуговування. Для кожної групи сервісів розробляється перелік найбільш затребуваних деталей, які слід зберігати на складі СТО. Решта номенклатур ЗЧ і агрегатів не потрібна для зберігання на СТО і поставляється з регіонального складу за чинним графіком постачань.

Важливим фактором є і те, що запропоновано методику поділу всієї номенклатури наявних ЗЧ та агрегатів на три групи: А, В, С відповідно. Даний метод широко відомий і досі застосовується на практиці при управлінні потребою ЗЧ мереж СТО та підприємств АТП. Суть даного поділу всієї номенклатури ЗЧ полягає в наступному:

- Група А являє собою деталі, вузли та агрегати, що мають високий попит на даному пункті обслуговування та ремонту. Залежно від підприємства частка таких ЗЧ із загальної номенклатури становить від 10 до 20%. Мається на увазі, що цей перелік деталей найчастіше виходив з ладу і вимагає постійної наявності на складі СТО автомобілів. Ця група деталей дозволяє усувати більшу частину несправностей, а вартість цих деталей може досягати до 75-85% від загальної вартості всієї номенклатури ЗЧ, споживаних підприємством автомобільного сервісу;

- До групи В включені деталі, вузли та агрегати середнього попиту. До неї віднесено близько 30% загальної номенклатури ЗЧ (вартість цієї частини ЗЧ не перевищує 30% загальної вартості всієї номенклатури ЗЧ, що споживається підприємством);

- До групи С відносяться виключно деталі, що мають рідкісний попит (понад 60% загальної номенклатури ЗЧ). Зазвичай вартість деталей, вузлів або агрегатів, віднесених до цієї групи, не перевищує 7% загальної вартості всього асортименту ЗЧ, що споживається автосервісним бізнесом або дилерською мережею.

Розподіл ЗЧ за групами ґрунтується насамперед на показниках статистики їхньої витрати за попередній звітний період. Також обов'язково враховуються такі показники, як: поточний показник попиту на кожну номенклатуру та характер її руху за умов існуючої системи МТЗ.

Пропонується визначати потребу у ЗЧ автосервісу в такий спосіб. Необхідна кількість ЗЧ визначається кожного окремого типу ТЗ залежно від його віку. Потім запланована кількість ТЗ, очікуваних до відвідування сервісного центру, множиться на заплановану кількість необхідних виконання технічного обслуговування кількість ЗЧ. Таким чином, для визначення рівня потреби підприємства автомобільного сервісу має бути визначено виходячи зі структури парку ТЗ, а саме їх кількості та віку, у т.ч. обсягу ЗЧ споживаних підприємством під час провадження виробничої діяльності, і навіть під час проведення робіт ТО і ПР.

В такому випадку нормативним значенням питомої потреби в ЗЧ підприємства автомобільного сервісу прийнято вважати ставлення нормативного значення числа ЗЧ $Q_{\text{нор}}$, прийнятих відповідно до номенклатурних норм $A_{\text{нор}}$ до певної кількості автомобілів, що є у сфері впливу підприємства автосервісу.

Під фактичною ж питомою потребою розуміють відношення витрачених ЗЧ на проведення фактичного ремонту $Q_{\text{іф}}$ до фактичної кількості обслужених автомобілів $A_{\text{іф}}$:

$$K_{\text{нор}} = \frac{Q_{\text{нор}}}{A_{\text{нор}}}, K_{\text{іф}} = \frac{Q_{\text{іф}}}{A_{\text{іф}}} \quad (1.13)$$

Коефіцієнт використання відображає залежність між фактичною та питомою потребою у запасних частинах автосервісного підприємства або підприємства дилерської мережі СТО:

$$\eta = \frac{K_{\text{іф}}}{K_{\text{нор}}} \quad (1.14)$$

Ця залежність має деякі обмеження, оскільки з одного боку показник, найбільш наближений до 1, означає, що кількість запасних частин, що є на підприємстві автосервісу, забезпечує наднормативність запасів $\eta_{\text{н}}$, а з іншого боку за таких умов зростає ризик виникнення дефіциту запасних частин $\eta_{\text{д}}$, що призведе до зменшення кількості автомобілів, що обслуговуються, через відсутність необхідного набору компонентів:

$$\eta_{\text{н}} \leq \eta \leq \eta_{\text{д}} \quad (1.15)$$

Таким чином, для визначення потреби в ЗЧ для підприємства автосервісу

виникає необхідність визначення значень коефіцієнтів η_n , η_o а також планової величини коефіцієнта використання запасних частин η_n

В результаті визначення планової величини коефіцієнта використання ЗЧ визначається запланована потреба в номенклатурі ЗЧ:

$$K_{\Pi} = K_{\text{нор}} \eta_{\Pi} \quad (1.16)$$

Також можливо використати відому в математичній статистиці залежність, що дозволяє визначити генеральну характеристику. Вона заснована на вибірковій характеристиці з використанням квантилю нормального розподілу U_a відповідного обраної довірчої ймовірності для даного виразу α :

$$Q_a = \sum_{i=1}^m A_{in} \cdot K_{in} + U_a \sqrt{\sum_{i=1}^m A_{in} \cdot K_{in}} \quad (1.17)$$

де A_{in} – заплановане значення чисельності автомобілів різного вікового складу;

K_{in} - Заплановане значення питомої потреби у ЗЧ для автомобілів того ж вікового інтервалу.

Також встановлена залежність між пропускнуою спроможністю одного поста обслуговування автомобілів, віком (пробігом) рухомого складу та витратою ЗЧ на підприємстві автосервісу (АТП, СТО) з урахуванням їхньої виробничої потужності.

Таким чином, сумарна потреба в ЗЧ, вузлах та агрегатах конкретного регіону Q_p j -ої номенклатури, беручи до уваги умову, що потреба визначатиметься на базі головної СТО регіону, прийматиме наступний вид:

$$Q_p = Q \left(1 + \frac{\sum_{n=0}^k n_p}{\sum_{n=0}^m n_{\Gamma}} \right) \quad (1.18)$$

де n – кількість робочих постів на кожній СТО;

$\sum n_p$ - сумарна кількість робочих постів у регіоні;

$\sum n_{\Gamma}$ - сумарна кількість робочих постів на головній СТО.

Серед великої кількості різних методик визначення потреби ЗЧ підприємств автомобільного сервісу найбільш оптимальним є методичний підхід, заснований на поточному ринковому попиті на ЗЧ. Основною умовою проведення розрахунків, згідно з даною методикою, є абсолютна достовірність вхідних даних

про рівень попиту та характер функціонування системи МТЗ.

Попит на ринку може мати як незначні, так і досить критичні коливання, пов'язані з впливом зовнішніх факторів, які намагаються компенсувати наявністю певних резервів на складах ЗЧ, вузлів і агрегатів. Але, на жаль, наявність таких запасів, а тим більше їх значну кількість може призводити до виникнення так званих «мертвих запасів», які негативно позначаються на економіці підприємства. Таким чином, сучасне положення методик визначення потреби в ЗЧ для мережі дилерських СТО вимагає створення високоточної методики, що дозволяє брати до уваги вплив всього різноманіття зовнішніх факторів і ступінь впливу кожного з них.

1.3 Стан сучасного парку легкових автомобілів

Потреба в ЗЧ АТП або СТО на підставі їх виробничих потужностей може бути визначена згідно з виразом (1.9). Варто відзначити, що представлена в даному дослідженні залежність потреби в ЗЧ представлена, як A_n (кількість автомобілів), для яких планується проведення ремонтних робіт, і для визначення їх чисельності немає ніякої методики. Існує можливість прогнозування на підставі статистичних даних, що охоплюють кілька минулих років роботи конкретного підприємства та сформованої тенденції до підвищення кількості автомобілів, що обслуговуються. Такий метод прогнозування може формувати різні протиріччя, наприклад – нестача потужностей СТО. Таким чином, необхідно взяти до уваги реальні можливості підприємства під час використання даних прогнозів.

При формуванні оптимального підходу до визначення потреби в ЗЧ автомобілів потрібно враховувати рік випуску ТЗ, його технічний стан, а також найменш значущий фактор - пробіг. Можна сказати, що вік легкових автомобілів є показником готовності клієнта до вкладень. Однак, завод-виробник (виробник) спочатку регламентує інтервали проведення ремонтних робіт та робіт з ТО. З розвитком автомобільної промисловості відбулося і зростання показника середньорічного пробігу легкових автомобілів. У попередніх дослідженнях роботах цей показник приймався рівним 15 тис. км. Згідно з сучасними статистичними

даними середньорічний пробіг становить близько 20 тис. км і навіть перевищує це значення в деяких випадках. До уваги слід також слід прийняти той факт, що більшість автовласників що неспроможні підтвердити справжнє значення пробігу їхнього ТЗ експлуатації.

З підвищенням віку ТЗ і при збільшенні пробігу з моменту експлуатації значно збільшується витрата запасних частин, а також змінюється і номенклатура деталей, що витрачаються. На рисунку 1.3. продемонстровано обсяг витрат на проведення робіт з ТО та ремонту для автомобіля Mazda 6 з обслуговуванням у офіційного дилера.

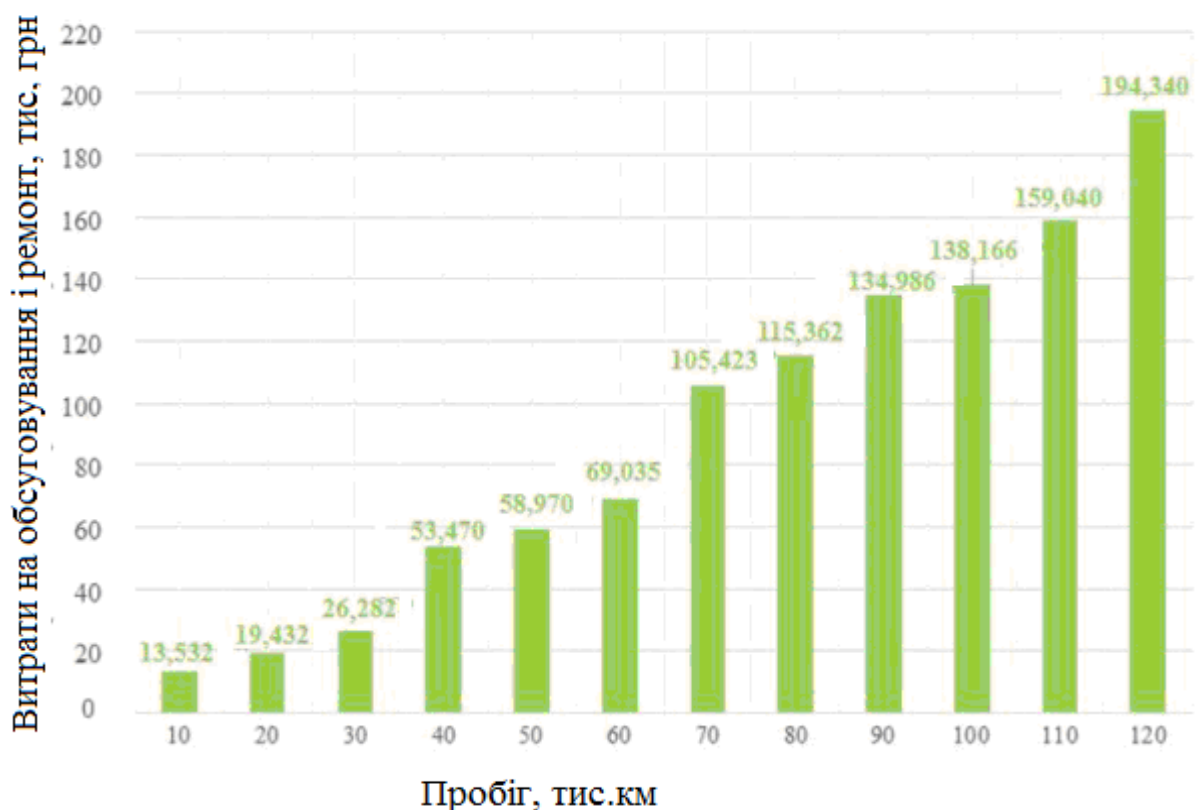


Рисунок 1.3 - Витрати на обслуговування та ремонт автомобіля Mazda 6

Обсяг загальних накопичених витрат власника марки Mazda на проведення робіт з планового ТО та поточного ремонту досягають 730 тис. грн. до пробігу 100 тис. км. Таким чином витрати на перераховані види робіт становлять понад 15% від початкової вартості нового автомобіля. Витрати придбання ЗЧ становлять близько 7-8% вартості автомобіля. У ході експлуатації проводилися ремонтні роботи, не регламентовані гарантійним терміном заводу-виробника (100 тис. км. пробігу або 3 роки) із заміни різних витратних ЗЧ (колодки гальмівні, щітки склоочисника, лампи освітлення). Сумарні витрати власника на перелічені

вище деталі та роботи з їх заміни, в т.ч. ТО склали близько 5%.

Найчастіше, багато підприємств автосервісу отримують основний дохід за рахунок продажу ЗЧ, таких як шини, аксесуари, олива тощо, що зазвичай супроводжується наявністю у підприємства власного магазину запасних частин. Таким чином доходи від надання послуг з ТО та Р легкових автомобілів можуть бути меншими за доходи від реалізації ЗЧ у 2-3 рази.

Висока конкуренція автомобільних брендів дозволила значно збільшити показник надійності легкових автомобілів. На рисунку 1.4 представлений рейтинг надійності іноземних автомобілів у 2021 р., складений американським приватним підприємством JD Power and Associates, який проводить незалежні дослідження задоволеності клієнтів, оцінку якості продукції, а також вивчає поведінку покупців для різних галузей промисловості.

Серед споживачів цей рейтинг позиціонується, як один із найавторитетніших.

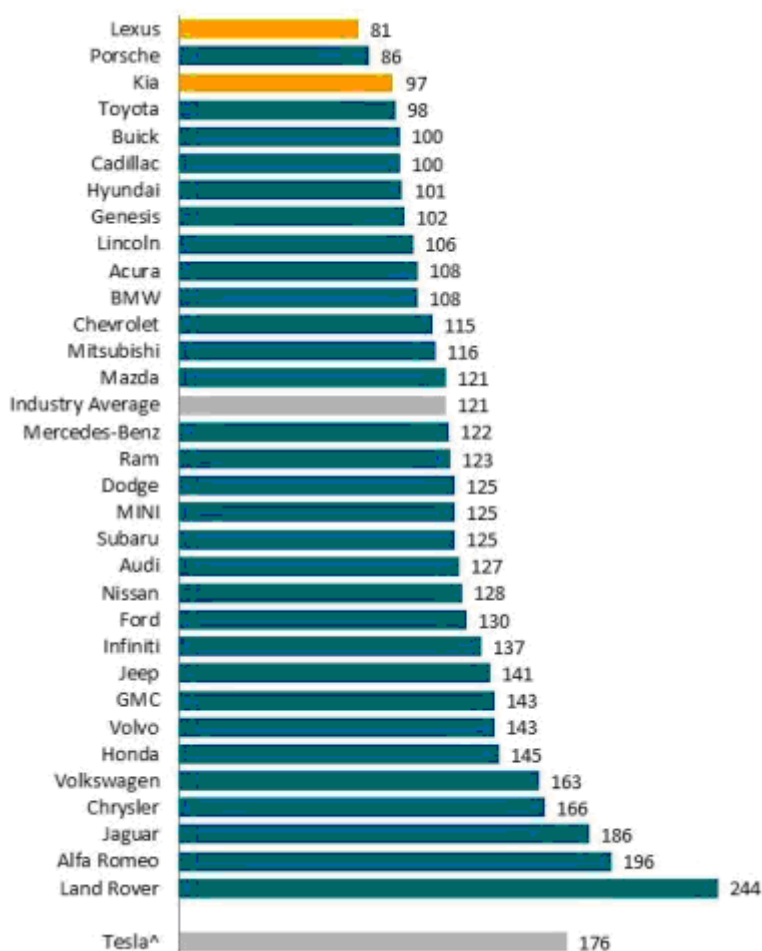


Рисунок 1.4 – Рейтинг надійності легкових автомобілів

Як показує практика, показник надійності тієї чи іншої марки та моделі легкових автомобілів визначається на підставі статистики, отриманої під час моніторингу параметра потоку відмов ТЗ з початку експлуатації. У рейтингу надійності JD Power and Associates основний акцент при оцінці даного параметра робиться на кількість дефектів, виявлених на 100 автомобілів моделі, що розглядається.

У 2021 році найвищим показником надійності відзначилися два японські автомобільні бренди Toyota і Lexus, німецький виробник Porsche, а також корейський виробник KIA, що є основною причиною зростання їх продажу та популярності на різних ринках.

Збільшення темпів зростання продажів нових легкових автомобілів диктує нові вимоги щодо прогнозування потреби у ЗЧ.

Виручка 50 найбільших українських продавців автомобілів за перше півріччя 2021 року зросла в 2,5 рази, а сумарні обсяги продажів нових автомобілів збільшилася приблизно на 2,1%. Незначні темпи зростання ринку нових автомобілів багато в чому спричинені поточною кризою на ринку напівпровідників, а також відкладеним попитом, спричиненим пандемією 2020-2021 років.

1.4 Висновки. Мета та завдання дослідження

На підставі аналізу стану сучасного ринку легкових автомобілів, запасних частин, а також наукових праць можна зробити такі висновки:

1. Деякі з наведених досліджень призначені для вирішення проблеми визначення потреби підприємств автомобільного сервісу в запасних частинах. В їх основі закладено облік різних факторів, включаючи індивідуальні фактори та фактори, що впливають на задоволення потреб у запасних частинах.

2. Постійні зміни структури парку легкових автомобілів, а також економічних умов формують необхідність створення нового підходу до визначення потреби у запасних частинах для оперативного впливу на показник ефективності роботи автосервісних підприємств. Сучасні умови роботи СТО та

підприємств автосервісу вимагають визначення додаткових факторів, що впливають на потребу в запасних частинах, а також їхню раціональну класифікацію та виявлення кореляції між цими факторами.

3. Зважаючи на високу конкуренцію серед підприємств з обслуговування легкових автомобілів виявлено суттєві недоліки сучасної системи матеріально-технічного забезпечення, які сприяють зниженню конкурентоспроможності дилерських мереж у всіх видах діяльності.

4. На етапі експлуатації легкових автомобілів витрати індивідуального власника становлять більшу частину по відношенню до загальних витрат. Для підприємств характерно отримання більшої частини доходу від продажу запасних частин, які перелік безпосередньо залежить від пробігу і його віку транспортного засобу.

Зі зростанням парку легкових автомобілів спостерігається збільшення рівня потреби підприємств автомобільного сервісу в ЗЧ та витратних матеріалах для проведення робіт з ТО та ремонту.

Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування складу запасних частин на підприємстві на основі врахування економічної кон'юнктури, умов експлуатації та надійності автомобілів, економічної кон'юнктури та зв'язку з системою технічного обслуговування та ремонту.

Основні завдання досліджень:

1. Проведення аналізу рівня споживчого задоволення пропонованими на ринку автомобілів та їх кластеризація, прогнозування динаміки продажів з урахуванням можливих змін в економічній кон'юктурі;

2. Вибір марок та моделей зі сформованих кластерів легкових автомобілів та виявлення критичних за рівнем працездатності їх елементів. Отримання, обробка та проведення аналізу інформації про динаміку інтенсивності експлуатації та показники експлуатаційної надійності, з подальшим формуванням функції потоку відмов деталей, вузлів, систем та агрегатів для відібраних автомобілів;

3. Розробка методики прогнозування потреби та оптимізації кількості запасних частин та оцінка ефективності її функціонування для обраних елементів

та автомобілів з урахуванням динаміки просування на ринку.

Наукова новизна полягає у наступному:

3. Розробка математичної моделі оптимізації потреби в запасних частинах для автомобілів з урахуванням інтенсивності експлуатації та експлуатаційної надійності для забезпечення заданого рівня їхньої працездатності;

4. Запропоновано результуючий показник значущості елементів автомобілів з позиції їх впливу на працездатність і витрати запасних частин на відновлення технічного стану автомобілів.

Практична значимість роботи: розроблені заходи підвищення ефективності функціонування дилерської та дистриб'юторської мережі, спрямовані на покращення якості обслуговування власників легкових автомобілів та ефективного функціонування складу запчастин автомобілів на складі підприємства.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОБҐРУНТУВАННЯ РІВНЯ ЗАДОВОЛЕНOSTІ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

2.1. Оцінка споживчої задоволеності та прогнозування просування легкових автомобілів на українському ринку

В якості критеріїв оцінки споживчої задоволеності автомобілів можливо взяти наступні: загальну задоволеність автомобілем; якість його складання; корозійну стійкість захисних покриттів; якість акустичного комфорту в автомобілі (його шумоізоляцію); інтер'єр та екстер'єр автомобіля; динамічні показники; плавність ходу; керованість та стійкість на дорозі; а також показники кліренсу; ергономічності салону (його зручності); ефективності роботи системи обігріву; вентиляції та кондиціювання салону автомобіля; його місткість (у тому числі і місткість багажника); витрата палива; вартість технічного обслуговування та поточного ремонту

Обробка наданої інформації по технічному стану автомобілів дозволила отримати:

- оціночні показники рівня задоволеності та його коливання у заданих довірчих та толерантних межах;
- побудувати закономірності його розподілу;
- виділити виробників - лідерів, які просувають на ринок свої легкові автомобілі.

На рисунку 2.1 представлена закономірність розподілу рівня задоволеності легкових автомобілів з їхньої вихідної сукупності, що описується диференціальною $f(u)$ функцією нормального закону розподілу виду:

$$f(u) = \frac{1}{\sigma(u)\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(u-\bar{u})^2}{2\sigma^2(u)}} \quad (2.1)$$

де u – індекс задоволеності легкових автомобілів.

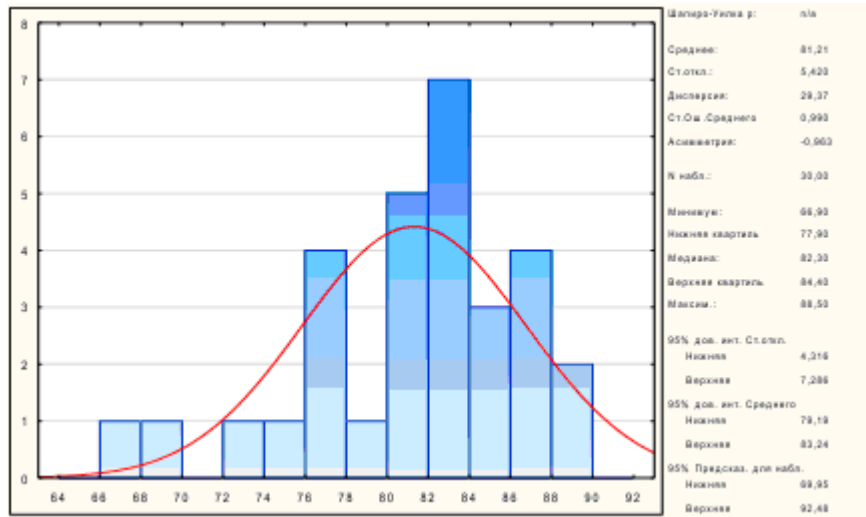


Рисунок 2.1 – Диференційна функція розподілу $f(u)$ рівня задоволеності легкових автомобілів

У таблиці 2.1 відображено відповідні оціночні статистичні показники рівня задоволеності легкових автомобілів споживачами.

Таблиця 2.1 – Рівень задоволеності споживачами легкових автомобілів

№	Найменування показника	Позначення показника	Значення показника
1	Математичне очікування індексу задоволеності легкових автомобілів	$\bar{U}$	81,213
2	Середнє квадратичне відхилення індексу задоволеності легкових автомобілів	$\sigma(u)$	5,42
3	Толерантні межі індексу задоволеності легкових автомобілів для $\gamma = 09$ - верхня межа - нижня межа	U_{γ}^B U_{γ}^H	88,15 74,28
4	Межа відхилення індексу задоволеності відносно його математичного очікування для: $+\sigma(u)$ і $+2\sigma(u)$	$\bar{U} + \sigma(u)$ $\bar{U} + 2\sigma(u)$	86,633 92,053

Обробка статистичної інформації ґрунтувалася на використанні відомих положень математичної статистики та теорії ймовірності.

Аналіз результатів, представлених в таблиці 2.1 показує, що в діапазон від $\bar{U} = 81,213$ до $[\bar{U} + \sigma(u)] = 86,633$ потрапляють такі марки легкових автомобілів: Chevrolet; Citroen; Peugeot; Suzuki; Kia; Hyundai; Ssangyong; Mazda; Skoda; Volkswagen; Volvo; Audi. В діапазоні від $\bar{U} = 81,213$ до

$[\bar{U} + 2\sigma(u)] = 92,053$, крім перерахованих у першому класі марок потрапляють легкові автомобілі: Toyota; Honda; Mercedes; Lexus; Land Rover; BMW.

В рамках толерантних меж для заданої ймовірності $\gamma = 0,9$ діапазон індексу задоволеності легкових автомобілів включає марки від Lifan до марки Lexus, що визначаються з виразів:

- для верхнього толерантної межі:

$$U_{\gamma}^{\text{в}} = \bar{U} + z_{\gamma} * \sigma(u) \quad (2.2)$$

- для нижньої толерантної межі:

$$U_{\gamma}^{\text{н}} = \bar{U} - z_{\gamma} * \sigma(u) \quad (2.3)$$

У виразах 2.2 та 2.3:

- $\bar{U}$ - оцінка математичного очікування індексу задоволеності легкових автомобілів;

$\sigma(u)$ - оцінка середньоквадратичного відхилення індексу задоволеності легкових автомобілів;

- Z_{γ} - нормована випадкова величина для заданої ймовірності γ ($0,5 < \gamma < 1,0$).

У той же час у відхилення індексу задоволеності в діапазоні від $\bar{U}$ до $[\bar{U} + \sigma(u)]$ потрапляє така поширена марка як Audi $U_{\text{Audi}} = 85,7$, що є прямим конкурентом брендовим маркам BMW, Land Rover, Lexus, Honda, Mercedes, Toyota, Volvo. Оцінка ймовірності $F(u)$ приналежності легкових автомобілів які описуються нормальним законом розподілу U , за умови:

$$F(U) = F(Z); \quad (2.4)$$

$$Z_i = \frac{U_i - \bar{U}}{\sigma(U)}; \quad (2.5)$$

де $F(Z)$ – нормована функція розподілу;

z_i - нормована випадкова величина індексу задоволеності i -ої марки легкових автомобілів, що розглядається.

Для легкових автомобілів Audi маємо:

$$Z_{\text{Audi}} = \frac{U_{\text{Audi}} - \bar{U}}{\sigma(U)} = \frac{85,7 - 81,213}{5,42} = 0,828;$$

$$F(U_{\text{Audi}}) = F(Z_{\text{Audi}} = 0,828) = 0,796;$$

У свою чергу частка вищезазначених 8-ми брендових легкових автомобілів (BMW, Land Rover, Lexus, Honda, Mercedes, Toyota, Audi, Volvo) із загального списку ТОП-30 визначається за умови:

$$[F(U_{\max \text{ top}}) - F(U_{\min \text{ top}})] \times 100\%; \quad (2.6)$$

де $F(U_{\max \text{ top}})$ та $F(U_{\min \text{ top}})$ - оцінки ймовірностей приналежності брендових легкових автомобілів (8 марок) з ТОП-30 з максимальним $U_{\max \text{ top}}$ (рівним 88,5 для BMW) та мінімальним $U_{\min \text{ top}}$ (Рівним 84,4 для Volvo) рівнем задоволеності споживачів.

Значення ймовірностей $F(U_{\max \text{ top}})$ і $F(U_{\min \text{ top}})$ визначаються виразом (2.4) з урахуванням нормування (2.5).

Для $U_{\max \text{ top}}$ та $U_{\min \text{ top}}$ нормовані значення $Z_{\max \text{ top}}$ та $Z_{\min \text{ top}}$ дорівнюватимуть:

$$Z_{\max \text{ top}} = \frac{88,5 - 81,213}{5,42} = 1,35$$

$$Z_{\min \text{ top}} = \frac{84,4 - 81,213}{5,42} = 0,59$$

а ймовірності приналежності легкових автомобілів в діапазоні від $F(U_{\max \text{ top}})$ до $F(U_{\min \text{ top}})$, що визначаються з (2.4) рівні:

$$F(U_{\max \text{ top}}) - F(Z_{\max \text{ top}}) = 1,35 = 0,912;$$

$$F(U_{\min \text{ top}}) - F(Z_{\min \text{ top}}) = 0,59 = 0,722.$$

Таким чином, частка брендових марок легкових автомобілів BMW, Land Rover, Lexus, Honda, Mercedes, Toyota, Audi, Volvo в загальній сукупності ТОП-30, згідно з виразом (2.6), становить:

$$[F(U_{\max \text{ top}}) - F(U_{\min \text{ top}})] \times 100\% = 0,19 \text{ (або 19\%).}$$

На рисунку 2.2. відображено рейтинг задоволеності вищезгаданих брендових марок легкових автомобілів.

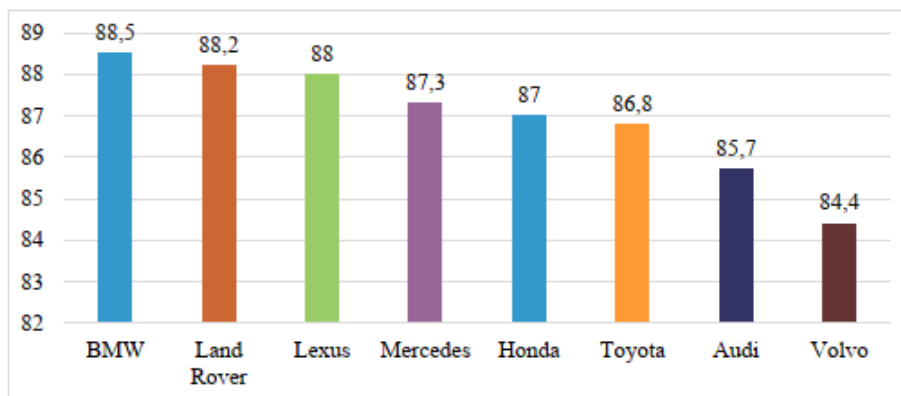


Рисунок 2.2 – Рейтинг задоволеності брендових марок легкових автомобілів

Аналіз, представлений на рисунку 3 інформації, дозволяє отримати оціночні параметри математичного очікування $\bar{U}^{бр}$ та середньоквадратичного відхилення $\sigma(\bar{U}^{бр})$ рейтингу задоволеності вищезазначених наведених брендових марок легкових автомобілів, що приймають значення:

$$\bar{U}^{бр} = 86,99; \sigma(\bar{U}^{бр}) = 1,38$$

та оцінити згідно з виразом (1.2) нижня толерантна межа $U_{\gamma=0,95}^{бр.н}$ для заданої ймовірності $\gamma = 0,95$:

$$U_{\gamma=0,95}^{бр.н} = \bar{U}^{бр} - Z_{\gamma=0,95} * \sigma(\bar{U}^{бр}) = 86,99 - 1,64 * 1,38 = 84,73.$$

Це, зрештою, дозволяє сформуванати кластер брендових марок легкових автомобілів з $c U^{бр} \geq 84,73$ (зокрема BMW, Land Rover, Lexus, Honda, Mercedes, Toyota, Audi), що підлягають подальшому аналізу з позицій виявлення обсягу та динаміки продажів, шляхом прогнозування як у короткостроковому, так і у середньостроковому періоді часу. З-поміж них на експлуатацію, з урахуванням їх особливості та інтенсивності із загального числа марок виділяються найбільш представницькі та надійні автомобілі.

Отримані результати проведених досліджень щодо виявлення рейтингу задоволеності брендових марок легкових автомобілів дозволили цілеспрямовано підійти до аналізу динаміки обсягу продажу легкових автотранспортних засобів, що реалізуються на території України, у ретроспективному періоді. В результаті чого отримана можливість створення моделей для конкретних легкових автомобілів та окремих марок з виділеного кластера (найкраще задовольняють

споживачам ТЗ). Під час проведення аналізу та створення моделей здійснюється оцінка об'ємного показника продажу легкових автомобілів, і навіть ведеться його облік. Важливим чинником є й урахування поточної економічної обстановки у різних галузях діяльності України.

У цій дисертаційній роботі проведено аналіз та обґрунтування вибору автомобільних брендів, що найбільш поширені та входять до ТОП-30 кращих марок, що реалізуються на території України. До них також увійшли вісім брендів, що мають найвище значення індексу споживчої задоволеності, що має нижню толерантну межу для заданої ймовірності $\gamma = 0,95$ рівну $U_{\gamma=0,95}^{\text{бр.н}} = U_{\text{бр}} = 84,73$.

У список 8 кращих брендів увійшли: BMW, Land Rover, Lexus, Honda, Mercedes, Toyota, Audi, Volvo. Описати розподіл рейтингу задоволеності споживачів для представлених вище автомобільних брендів можна за допомогою наступної диференціальної функції::

$$f(u) = \frac{1}{1,38 \cdot \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(U_i^{\text{бр}} - 86,99)^2}{2 \cdot 1,38^2}} \quad (2.7)$$

Графічне відображення функції (2.7) наведено на рисунку 2.3

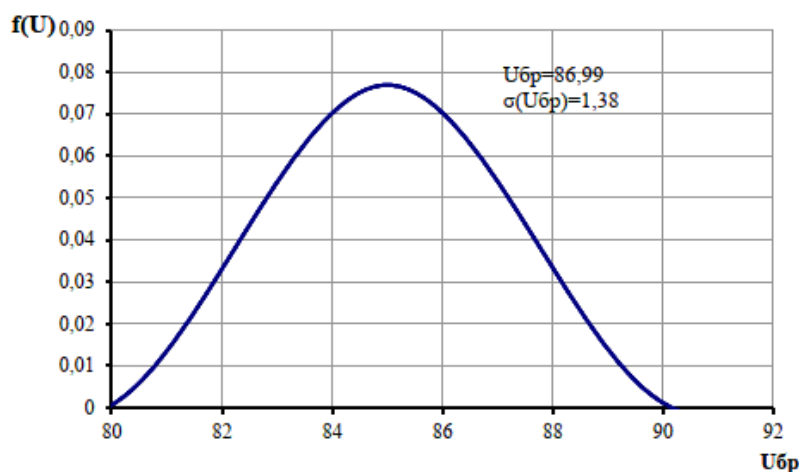


Рисунок 2.3 – Диференційна функція розподілу рейтингу споживчої задоволеності відібраних брендових марок легкових автомобілів (BMW, Land Rover, Lexus, Honda, Mercedes, Toyota, Audi, Volvo)

Оцінка коливань динаміки продажів (в т.ч. визначення порогових значень довірчих меж із заданою ймовірністю $Q(t)$) може бути проведена з високим рівнем

точності на підставі рівняння регресії для п-го порядку при створенні моделей обсягів продажів легкових автомобілів при високій затримці

Зміна динаміки обсягу продажів легкових автомобілів, що описується залежністю $Q(t) = f(t)$ може бути представлена за допомогою рівняння регресії виду:

$$Q_t = a_0 + a_1 * t + \dots + a_i * t^i + \dots + a_n * t^n, \quad (2.8)$$

де $a_0, a_1, \dots, a_i, \dots, a_n$ - коефіцієнти рівняння регресії;

t — наведене поточне значення року на тимчасовому ласі, що розглядається, що приймає значення:

$$t = T - T_0, \quad (2.9)$$

де T – змінні значення поточних років;

T_0 – рік прив'язки до початку координат.

Для створення моделей, що дозволяють формувати прогноз зміни на території України обсягів продажів легкових автомобілів $Q(t) = f(t)$ в рамках даної роботи необхідна наявність ретроспективи даних показників за попередній період.

Моделювання обсягів продажу на тимчасовому відрізку з 2005 по 2021 роки здійснено виходячи з обробки масиву даних тобто. при значеннях від $t_1 = 1$ до $t_n = 21$. За допомогою виразу (1.8) зроблено отримання прогнозних оціночних значень зміни трендів, а також верхніх та нижніх довірчих меж (при $\gamma = 0,9$), тобто:

- для тренду:

$$Q_t = 0,3921 + 1,4019t - 0,4329t^2 + 0,0673t^3 - 0,0054t^4 + 0,0002t^5 - 3E - 06t^6$$

- для верхньої довірчої межі:

$$Q_{t\gamma}^B = 0,802 + 1,4019t - 0,4329t^2 + 0,0673t^3 - 0,0054t^4 + 0,0002t^5 - 3E - 06t^6$$

- для нижньої довірчої межі:

$$Q_{t\gamma}^H = 0,0178 + 1,4019t - 0,4329t^2 + 0,0673t^3 - 0,0054t^4 + 0,0002t^5 - 3E - 06t^6, \quad r = 0,775$$

На рисунку 2.4 у графічному вигляді відображені результати моделювання тренду Q_t та його верхніх Q_{ty}^B нижніх Q_{ty}^H довірчих меж для $\gamma = 0,9$.

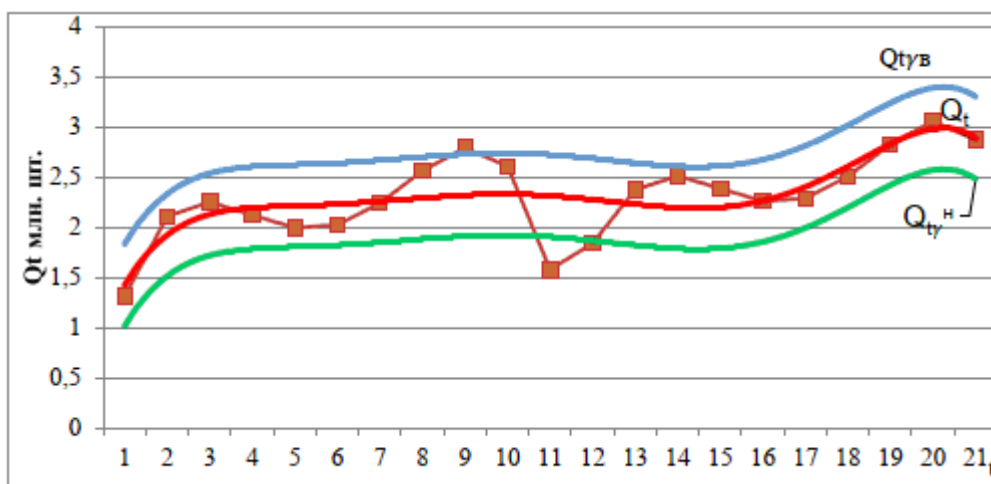


Рисунок 2.4 – Моделювання обсягів продаж Q_t , Q_{ty}^B , Q_{ty}^H на часовому лазі $t = \overline{(1,21,1)}$ або $T = \overline{(2004,2021,1)}$

Хвильовий характер поведінки прогнозованих обсягів продажу Q_t на тимчасовому лазі від $t_2 = 1$ до $t_n = 21$ пов'язаний, насамперед із зміною економічної кон'юнктури ринку продажів легкового автомобільного транспорту, визначається як інвестиційними, і діловими циклами економіки країни

Для відрізка часу з 2017 до 2021 року залежність може бути визначена шляхом заміни її логарифмічним рівнянням у вигляді:

$$Q_t = a + b * \ln(t), \quad (2.10)$$

де a та b - коефіцієнти рівняння регресії;

t - наведене поточне значення року на тимчасовому лазі, що розглядається, що визначається згідно з виразом (2.9).

За результатами моделювання обсягів продажів у зазначеному часовому періоді з використанням виразу (2.10) стає ясно, що логарифмічний вираз обсягів продажів легкових автомобілів, що реалізуються на території України, набуває наступного вигляду:

$$Q_t = -2,539 + 1,798 * \ln(t) \quad (2.11)$$

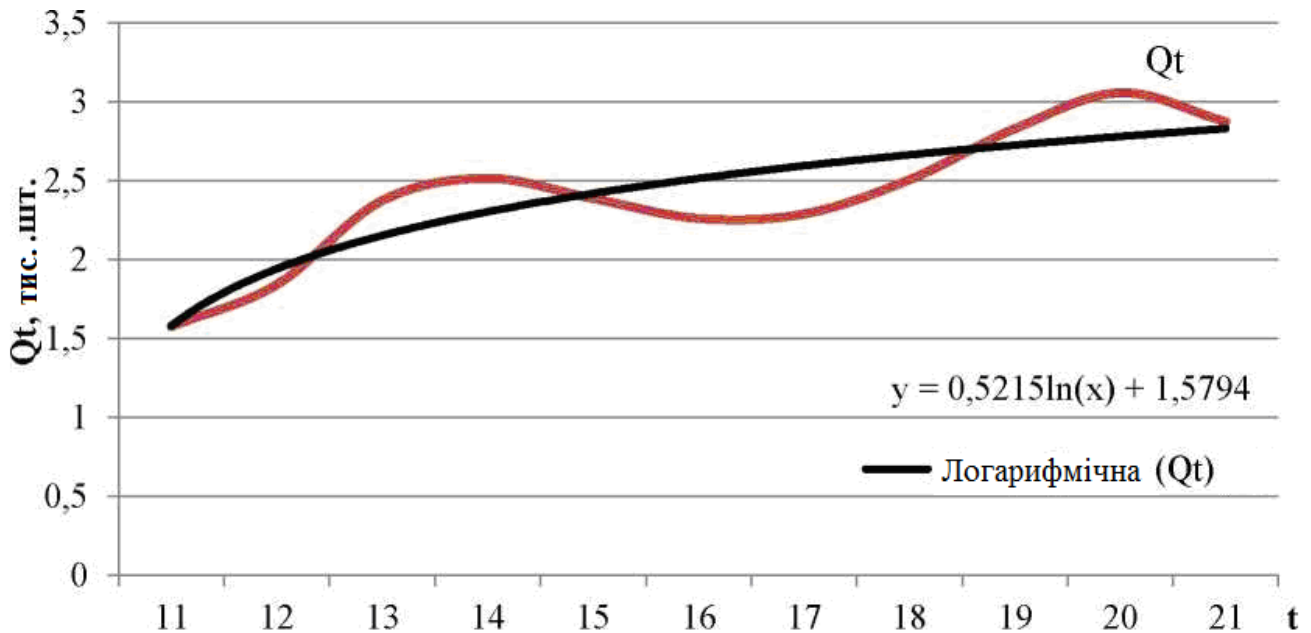


Рисунок 2.5 - Прогноз потенційного зростання просування легкових автомобілів на тимчасовому лазі

Для цього виразу коефіцієнт кореляції $r = 0,883$, що говорить про досить високий рівень точності отриманих результатів прогнозу.

Також, як уже визначалося раніше, необхідно провести аналіз статистичних даних обсягів продажів легкових автомобілів за ретроспективний період з 2017 до 2021 року, згідно з інформацією, наданою Асоціацією європейського бізнесу (АЄБ). Для проведення аналізу були відібрані 8 брендів автомобільних виробників (BMW, Land Rover, Lexus, Honda, Mercedes, Toyota, Audi, Volvo).

Динаміка продажів і статистичні характеристики представлені у таблиці 2.2 та рисунку 2.6.

При цьому довірчі межі для тимчасового періоду (перетину), що розглядається, за виділеними брендами визначається з виразу :

$$Q_y^{в.н} = \bar{Q} \pm z_y * \frac{\sigma(u)}{\sqrt{n}}, \quad (2.12)$$

де n - число брендів марок легкових автомобілів у заданому тимчасовому перерізі (для поточного року, що розглядається);

$\bar{Q}$ - оцінка математичного очікування обсягів продажу брендів марок легкових автомобілів тимчасового перерізу, що розглядається;

z_y - нормована випадкова величина для заданої довірчої ймовірності

$\gamma (0,8 < \gamma < 1,0)$.

Таблиця 2.2 – Статистичні характеристики динаміки продажів брендів легкових автомобілів на ретроспективному періоді з 2017 по 2021 роки.

№ п.п.	Брендові марки легкових автомобілів	Роки T_i/t_i ; Обсяг продажу Q_t брендів легкових автомобілів, тис. шт...				
		2017/8	2018/9	2019/10	2020/11	2021/12
1	BMW	33,117	37,888	31,927	25,349	25,169
2	LR	17,257	18,809	19,078	10,45	8,337
3	LEXUS	14,354	14,294	17,661	18,038	21,608
4	MB	33,666	40,211	44,955	38,797	34,23
5	HONDA	19,425	22,676	18,57	4,357	1,438
6	TOYOTA	140,292	140,07	144,418	86,972	84,151
7	AUDI	31,318	33,565	31,031	23,31	19,059
8	VOLVO	18,525	13,416	13,964	6,807	4,937
Статистичні характеристики обсягів продажу						
Найменування	Позначення	Значення характеристик для років часового лагу, що розглядається				
Оцінка математичного очікування	$\overline{Q_t}$	38,494	40,116	40,200	26,760	24,866
Оцінка середньоквадратичного відхилення	$\sigma(Q_t)$	41,854	41,707	43,337	26,796	26,365
Довірчі межі для двосторонньої довірчої ймовірності $\gamma = 0,8$	$Q_{t\gamma}^{в.н.}$	Значення довірчих меж				
- верхня довірча межа	$Q_{t\gamma}^{в.}$	50,924	52,502	53,071	34,718	32,696
- нижня довірча межа	$Q_{t\gamma}^{н.}$	26,064	27,729	27,330	18,802	17,036

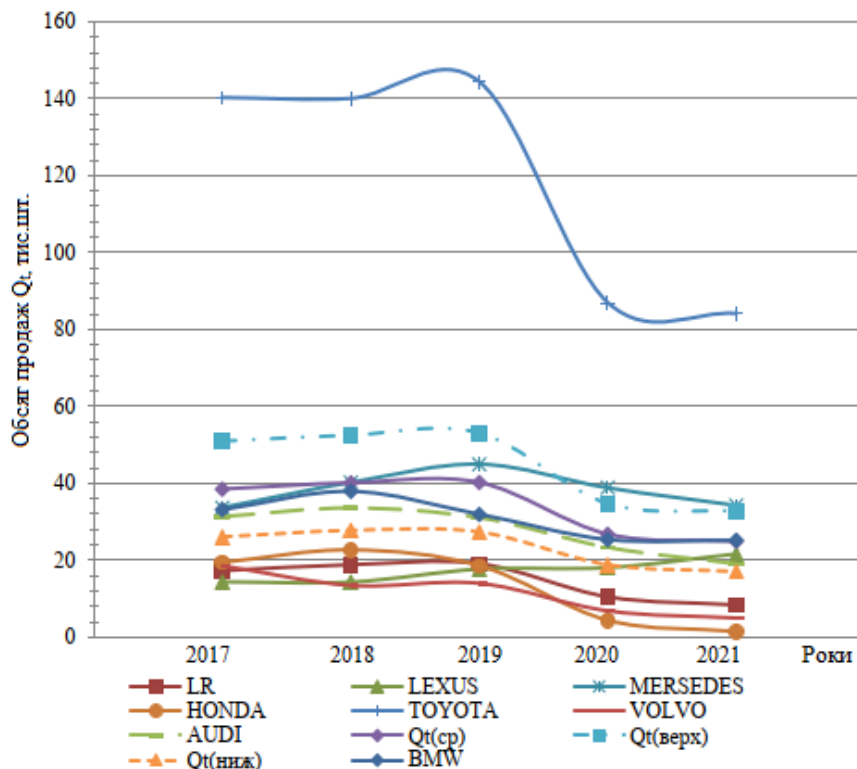


Рисунок 2.6 – Динаміка продаж брендів легкових автомобілів на ретроспективному періоді з 2017 по 2021 роки. з відображенням тренду та його верхніх та довірчих меж

Таким чином, у 2021 р. до однорідного кластера увійшли наступні марки легкових автомобілів: BMW, Land Rover, Lexus, Honda, Mercedes, Toyota, Audi. При цьому Toyota як найбільш розвинена і популярна марка випала з цього кластеру і може бути представлена в числі окремих брендів, що мають свою категорію.

Аналіз отриманих результатів щодо формування довірчих меж обсягів продажу брендів марок (від $Q_{ty}'' = 17,036$ до $Q_{ty}^s = 32,696$) говорить про виділення підгрупи легкових автомобілів, які є прямими конкурентами, а саме BMW, Mercedes та Audi.

Якщо розглянути обсяги продажів за 2016 рік, то загалом можна сказати, що його коливання є досить значним. На рисунку 2.7 представлено графічне відображення диференціальної $f(Q_t)$ та інтегральної $F(Q_t)$ функцій розподілу за вищезазначений рік, що визначаються з виразів виду:

$$f(Q_t) = \frac{\alpha}{\beta} * Q_t^{(\alpha-1)} * e^{-\frac{Q_t^\alpha}{\beta}} \quad (2.13)$$

$$F(Q_t) = 1 - e^{-\frac{Q_t^\alpha}{\beta}} \quad (2.14)$$

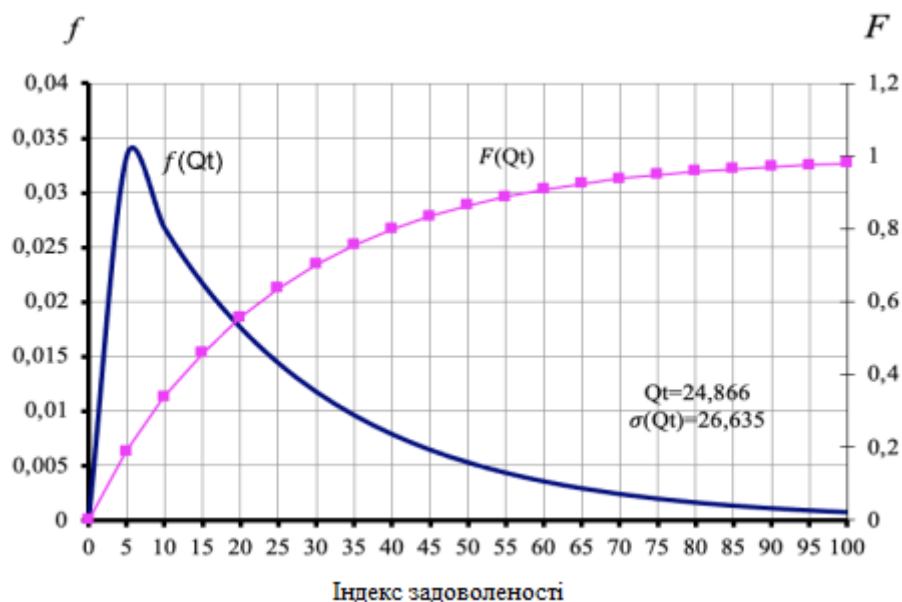


Рисунок 2.7 - Диференціальна $f(Q_t)$ та інтегральна $F(Q_t)$ функції розподілу обсягу продаж брендів легкових автомобілів на 2021 рік

У виразах (2.13) і (2.14) α і β , відповідно параметрами форми і наведеного середнього, що визначаються з виразів виду:

$$\alpha \approx 1,042 * \left[\frac{\sigma(Q_t)}{\bar{Q}_t} \right]^{-1,4734} \quad (2.15)$$

$$\beta = \left(\frac{\bar{Q}_t}{b_\alpha} \right)^\alpha \quad (2.16)$$

При цьому параметр форми є величиною табульованої, для заданого коефіцієнта варіації:

$$V(Q_t) = \frac{\sigma(Q_t)}{\bar{Q}_t} \quad (2.17)$$

може бути визначено з таблиці 2.2.

Для виявлених оцінок параметрів $\bar{Q}_t = 24,866$ та $\sigma(Q_t) = 26,365$ на 2021 рік:

$$V(Q_t) = 1,06$$

Аналіз коефіцієнта варіації обсягів продажів у діапазоні з 2016 до 2021 року показує, що його значення стабільні та лежать у межах від 1 до 1,087.

Для отриманого коефіцієнта варіації дорівнює 1,06 значення параметра форми $\alpha = 0,98$, гамма-функції Ейлера $b_\alpha = 1,009$ і наведеного середнього $\beta = 24,644$.

Диференціальні $f(Q_t)$ та інтегральні $F(Q_t)$ вирази після їх перетворення, що описують розподіл обсягу продажів брендових легкових автомобілів, мають вигляд:

$$f(Q_t) = 0,0424 * Q_t^{0,02} * e^{-\frac{Q_t^{0,98}}{28,1141}} \quad (2.18)$$

$$F(Q_t) = 1 - e^{-\frac{Q_t^{0,98}}{28,1141}} \quad (2.19)$$

Згідно з результатами проведеного дослідження, в основному, до довірчого інтервалу (від $Q_{t\gamma}^{\text{н.}}$ до $Q_{t\gamma}^{\text{с.}}$) відносяться преміальні автомобільні марки, такі як Audi, BMW і Lexus, які також є прямими конкурентами в рамках одного класу на сучасному ринку легкових автомобілів.

При розгляді бренду Audi можна відзначити високий потенціал зростання обсягу продажів, що підтверджується проведеним прогнозуванням на період 2017 – 2025 років. тобто. при значенні тимчасового лага від $t = 8$ до $t = 21$ включно

(рисунок 2.8 і рисунок 2.9).

Використання полінома, у тому числі і його довірчих верхніх і нижніх кордонів дозволяє прогнозувати зміну обсягу продажів з урахуванням коефіцієнта кореляції $r=0,915$, що означає збіг вихідних даних з теоретичними значеннями у вигляді:

- для тренду:

$$Q_{ti(\text{серед})} = -6,3815 + 66,984t - 37,457t^2 + 9,0181t^3 - 1,0638t^4 + 0,0607t^5 - 0,0013t^6$$

- для верхньої довірчої межі:

$$Q_{ti(\text{верх})} = -4,3013 + 66,984t - 37,457t^2 + 9,0181t^3 - 1,0638t^4 + 0,0607t^5 - 0,0013t^6$$

- для нижньої довірчої межі:

$$Q_{ti(\text{ниж})} = -8,4617 + 66,984t - 37,457t^2 + 9,0181t^3 + 1,0638t^4 + 0,0607t^5 - 0,0013t^6$$

Загальне збільшення зростання продажів з 2017 по 2025 р., виключаючи коливальний процес, що спостерігається, при зміні економічної ситуації, можна описати у вигляді статечної залежності:

$$Q_t = 26,314 \exp(0,015t)$$

При цьому для цього виразу коефіцієнт варіації досягає значення $r = 0,365$.

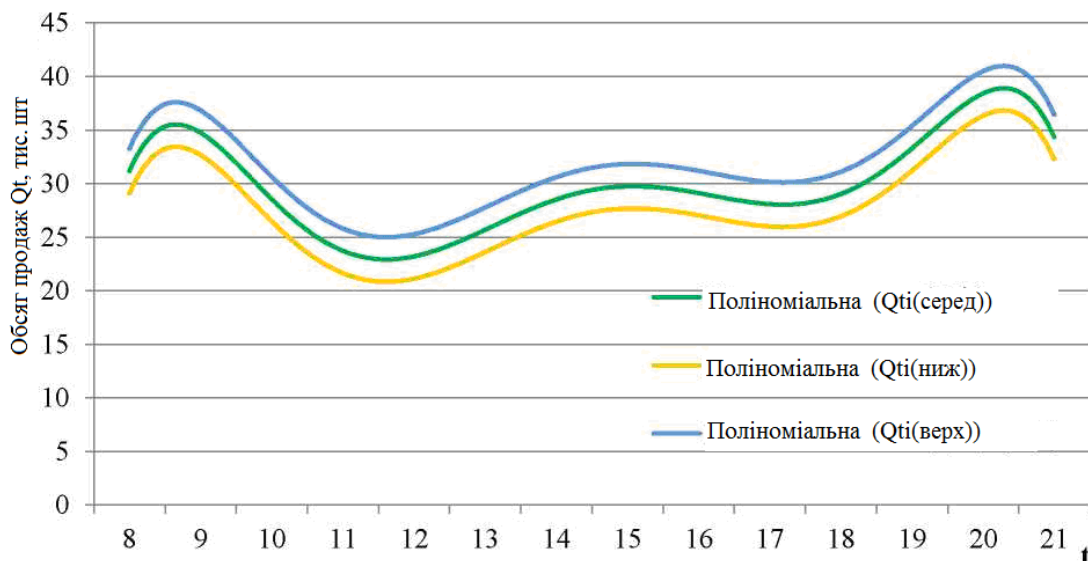


Рисунок 2.8 - Тенденція зміни та прогноз обсягу продажів легкових автомобілів марки Audi на тимчасовому лані з $t = 8$ по $t = 21$

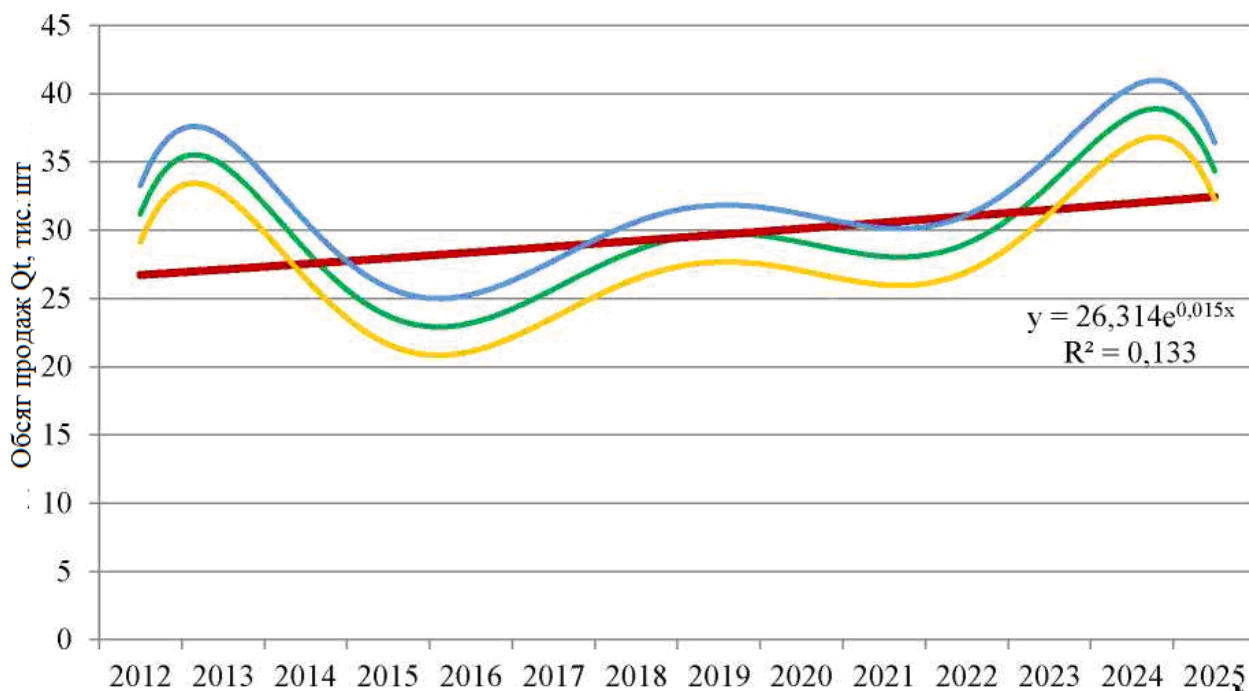


Рисунок 2.9 - Тенденція зміни та прогноз обсягу продаж легкових автомобілів марки Audi з 2012 по 2025 роки

Отримані результати моделювання розширення легкових автомобілів марки Audi показують збіжність результатів, що прогнозують зміну її об'єму Q_t .

Ряд виконаних досліджень дозволив сформулювати основу для докладного вивчення наступних питань, пов'язаних із:

- визначення рівня просування легкових автомобілів з градацією за конкретними автомобільними брендами;
- створення прогнозів потоків відмов та ремонтно-відновлювальних робіт, що задають основні вимоги до систем управління станом запасу запасних частин, а також матеріалів, що використовуються під час проведення ТО та ПР. При прогнозуванні також здійснюється облік факторів інтенсивності експлуатації ТЗ та зміни показників надійності.

Необхідно враховувати поточні особливості роботи існуючих систем (дилерських та дистриб'юторських). Такий підхід дозволить сформулювати перспективи потенційного ефекту їх розвитку.

Особливий вплив на стан дилерської та дистриб'юторських систем мають зовнішні чинники, в т.ч.:

- поточна економічна обстановка та перспективний заділ для її зміни;
- структура сучасного ринку послуг автомобільного сервісу, а також

потенціал її розвитку, у рамках забезпечення працездатного стану легкових автомобілів (облік конкурентного середовища ринку та спектру послуг, що реалізуються на ринку в поточних умовах);

- участь державних органів регулювання у сфері ведення бізнесу та відповідність ряду необхідних нормативних документів.

Дане дослідження передбачає вирішення завдань, спрямованих на створення переліку основних вузлів та агрегатів легкових автомобілів, які є найбільш критичними за показниками працездатності транспортних засобів (стосовно бренду Audi). У ході розгляду вищезазначених питань і завдань також наголошується на врахуванні факторів, пов'язаних з рівнем інтенсивності експлуатації легкових автомобілів, що передбачає формування підходу до алгоритму визначення потреби в запасних частинах, а також вибору оптимізаційних заходів, спрямованих на підвищення ефективності. Дані показники мають бути розглянуті стосовно поточного рівня зміни кількості транспортних засобів у районах функціонування СТО дилерських мереж.

2.2 Виявлення елементів вузлів і агрегатів, що лімітують працездатність легкових автомобілів

Перелік елементів, вузлів та агрегатів легкових автомобілів, що лімітують його працездатність, формується внаслідок комплексного обліку наступних критеріїв:

- типові відмови та їх кількість на одиницю пробігу для кожної моделі легкових автомобілів;
- ступінь впливу типових відмов на загальну працездатність ТЗ;
- співвідношення обсягів витрат на заміну елементів S та середнього напрацювання на відмову I для даного типу відмов легкових автомобілів.

З метою отримання найбільш правдоподібних результатів було ухвалено рішення про збирання реальних даних діяльності дилерської мережі СТО марки Audi шляхом проведення експериментального дослідження. В результаті збору статистичних даних та формування бази даних за відмовами, що виникають у

процесі експлуатації, були отримані дані середнього напрацювання на відмову, коефіцієнт варіації та ін., що дозволило скласти класифікацію відмов легкових автомобілів даної марки автомобілів, а також отримати оціночні показники їхньої експлуатаційної надійності. За результатами аналізу отриманих у ході експериментального дослідження даних є можливість визначення інтегральних та диференціальних функцій напрацювань на відмову.

Визначення експлуатаційних показників легкових автомобілів у рамках діяльності дилерської мережі СТО ґрунтувалося на застосуванні методу послідовних переваг.

Також використано методику визначення критичних елементів легкових автомобілів за показниками надійності, але значно вдосконалена і доповнена.

У процесі вирішення завдання визначення впливу окремих елементів легкових автомобілів на їхню загальну працездатність з урахуванням перерахованих вище критеріїв було виявлено п'ять етапів:

На першому етапі вирішення завдання необхідно визначити ступінь впливу типової відмови Q_j на загальну працездатність легкових автомобілів. В рамках даного етапу були проаналізовані дані про класифікацію, досвід обслуговування та експлуатації ТЗ, а також ремонт вузлів та агрегатів. Ступінь впливу типової відмови може відноситися до одного з трьох рівнів:

- ступінь Q_1 впливу елемента, при відмові якого неможлива експлуатація ТЗ, тобто він приймає граничний чи несправний стан;
- ступінь Q_2 впливу елемента, при відмові якого відбувається значне зниження технічного стану легкових автомобілів та виникає необхідність проведення ремонту і автомобіль набуває несправного стану;
- ступінь Q_3 впливу елемента, при відмові якого відбувається незначне відхилення технічного стану легкових автомобілів від еталонних значень, а усунення несправності вимагає проведення довгострокового ремонту, тобто відмови можна віднести до несуттєвих.

На другому етапі після визначення ступеня впливу відмов за рівнями Q_j , Q_2 і Q_3) по кожному елементу E_i здійснюється бальна оцінка впливу відмови цього елемента на загальну працездатність ТЗ. Крім цього, на даному етапі визначається

сумарний вплив відмов елементів за кожним окремим рівнем Q_j . При цьому кожному значимому рівню відповідає більше число балів щодо сукупності інших рівнів:

$$\left. \begin{aligned} \Omega_{ij} &> \sum_{k=j+1}^K \Omega_{i,k} \\ \Omega_{\Sigma i} &= \sum_{j=1}^m \Omega_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

де i – індекс елемента легкових автомобілів;

j – показник рівня впливу відмови елемента на загальну працездатність легкових автомобілів;

k – індекс порядкового номера елемента легкових автомобілів, що розглядається, $k = (1, K)$;

m – кількість рівнів впливу відмов елементів на працездатність легкових автомобілів;

n – загальна кількість елементів, оцінюваних з позицій вимог лімітування їх працездатності.

Таким чином, застосування умови (2.20) вимагає визначення впливу кожної відмови елемента на загальну працездатність легкових автомобілів, залежно від обраної шкали оцінювання. В межах даного етапу була обрана 10-ти бальна шкала, оскільки вона має більшу показовість на відміну від 100 бальної системи, яка, у свою чергу, має більшу точність.

Також у межах цього етапу порушується питання обґрунтованості прийняття бальних (вагових) оцінок Ω_{ij} з погляду чутливості даної системи.

Включаючи до уваги прийняття 10-ти бальної шкали оцінок впливу відмов кожного елемента E_i за рівнями Q_1 , Q_2 і Q_3 і для $j = \overline{(1, m)}$, $m = 3$ оптимальним є наступна вимога до бальних оцінок впливу елементів на працездатність легкових автомобілів:

$$\begin{aligned} \Omega_{i1} &= 10 ; \\ \Omega_{i2} \cap \Omega_{i3} &= \begin{cases} \Omega_{i2} = 8 \text{ и } \Omega_{i3} = 1 \text{ или} \\ \Omega_{i2} = 7 \text{ и } \Omega_{i3} = 2 \text{ или} \\ \Omega_{i2} = 6 \text{ и } \Omega_{i3} = 3 \text{ или} \\ \Omega_{i2} = 5 \text{ и } \Omega_{i3} = 4 \end{cases} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Визначення бальних оцінок Ω_{i2} та Ω_{i3} впливу елемента на працездатність легкових автомобілів з урахуванням обраної шкали здійснюється шляхом

проведення експертного опитування групи фахівців, які мають безпосереднє відношення до підприємства автосервісу дилерської мережі СТО. Потім, за допомогою виразу (2.20) проводиться упорядкування отриманих оцінок, що дозволяє підсумувати отримані по кожному елементу E_i вагових оцінок Ω_{ij} із заданої множини $\{E_i\}_{i=1}^n$:

$$\Omega_{\Sigma i} = \sum_{j=1}^m \Omega_{ij} \quad (2.22)$$

За результатами підсумовування отриманих оцінок з'являється можливість упорядкування значень для кожного елемента шляхом визначення займаного ним місця, що дозволяє провести початкову оцінку найбільш критичних елементів з метою забезпечення загальної працездатності легкових автомобілів:

$$\lambda_{\Omega_i} = \begin{cases} \min \text{ для } \Omega_{\Sigma i} \Rightarrow \max \\ \max \text{ для } \Omega_{\Sigma i} \Rightarrow \min \end{cases} \quad (2.23)$$

де j - індекс рівня

i – індекс елемента легкових автомобілів.

В результаті аналізу отриманого масиву даних вагових оцінок Ω_{ij} визначається оцінка математичного очікування $\bar{\Omega}$, коефіцієнт варіації та середньоквадратичне відхилення $\sigma(\Omega_i)$ для визначеного у виразі (2.21) варіанта шкали оцінювання:

$$\bar{\Omega}_i = \frac{\sum_{j=1}^m \Omega_{ij}}{m}; \quad \sigma(\Omega_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\Omega_{ij} - \bar{\Omega}_i)^2}{m-1}}; \quad v(\Omega_i) = \frac{\sigma(\Omega_i)}{\bar{\Omega}_i} \quad (2.24)$$

Відмінною особливістю даного виразу є те, що, на відміну від виразів (2.22) та (2.23), тут i - індекс варіанта комбінації бальних оцінок рівня значимості, а t - індекс аналізованих комбінацій і які визначаються згідно з виразом (2.21)

В результаті обробки отриманого масиву бальних оцінок Ω_{ij} згідно з виразом (2.24) були отримані статистичні характеристики, представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Статистичні характеристики комбінації бальних оцінок $\{\delta v_{ij}\}$

	Ω_{ij}	$\bar{\Omega}$	$\sigma(\Omega_i)$	$v(\Omega_i)$
1	10; 8; 1	6,33	4,726	0,746
2	10; 7; 2	6,33	4,04	0,638
3	10; 6; 3	6,33	3,512	0,555
4	10; 5; 4	6,33	3,215	0,508

Поданий у таблиці 2.3 масив бальних оцінок дозволяє проаналізувати чутливість аналізованих комбінацій. Таким чином, для проведення аналізу чутливості були обрані парні поєднання I та II:

I: 10-8; 10-7; 10-6; 10-5.

II: 8-1; 7-2; 6-3; 5-4.

$$\Omega_{ij} > \sum_{k=j+1}^K \Omega_{i,k} \quad (2.25)$$

Таким чином, згідно з виразами (2.20) та (2.25) повинні виконуватися умови:

$$10 > 8+1=9; 8 > 1; 10 > 7+2=9; 7 > 2; 10 > 6+3=9; 6 > 3; 10 > 5+4=9; 5 > 4$$

Для прийнятих парних поєднань I та II здійснюється формування масивів для $i = (\overline{1, n}); n = 4; j = (\overline{1, m}), m = 3$:

$$A_i = \frac{\Omega_{ij}}{\Omega_{i,j+1}}, \quad (2.26)$$

$$B_i = \frac{\Omega_{i,j+1}}{\Omega_{i,j+2}} \quad (2.27)$$

Обробка масивів парних поєднань I - $\{A_i\}$ і II - $\{B_i\}$ дозволяє, згідно з відомими положеннями математичної статистики, виконати оцінку математичних очікувань $\bar{A}$ і $\bar{B}$, середньоквадратичних відхилень $\sigma(A)$ і $\sigma(B)$ і коефіцієнтів варіації $v(A)$ та $v(B)$, а також здійснити нормування значень A_i і B_i через середньоквадратичні відхилення $\sigma(A)$ і $\sigma(B)$, тобто, визначити A_i'' і B_i'' :

$$A_i'' = \frac{A_i}{\sigma(A)} \quad (2.28)$$

$$B_i'' = \frac{B_i}{\sigma(B)} \quad (2.29)$$

Результати обробки масиву вихідної інформації за ваговими оцінками $\{\Omega_{ij}\}$ з виявленням масивів показників - $\{A_i\}$ і $\{B_i\}$, оцінок їх статистичних характеристик A і B , $\sigma(A)$ і $\sigma(B)$, $v(A)$ та $v(B)$ і пронормованих значень A_i'' і B_i'' представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Статистичні характеристики парних комбінацій вагових оцінок впливу відмов елементів на працездатність легкових автомобілів.

№ комбінації, і	Вибрана комбінація вагових оцінок	Співвідношення вагових оцінок парних комбінацій	
		A_i	B_i
1	10 - 8 - 1	$\frac{10}{8} = 1,25$	$\frac{8}{1} = 3,5$
2	10 - 7 - 2	$\frac{10}{7} = 1,43$	$\frac{7}{2} = 3,5$
3	10 - 6 - 3	$\frac{10}{6} = 1,67$	$\frac{6}{3} = 2$
4	10 - 5 - 4	$\frac{10}{3} = 1,25$	$\frac{5}{4} = 1,25$
Статистические характеристики парных комбинаций отношений весовых оценок	Значения статистических характеристик A и B		
	Оцінка математичного очікування	$\bar{A} = (\Delta\bar{\Omega}) = 1,587$	$\bar{B} = (\Delta\bar{\Omega}) = 3,687$
	Середньоквадратичне відхилення	$\sigma(A) = 0,324$	$\sigma(B) = 3,02$
	Коефіцієнт варіації	$\nu(A) = 0,204$	$\nu(B) = 0,82$
№ комбінації, і	Комбінація вагових оцінок	Нормування співвідношень вагових оцінок (по σ) для парних комбінацій	
1	10 - 8 - 1	$A_1'' = 3,853$	$B_1'' = 2,649$
2	10 - 7 - 2	$A_{12}'' = 4,408$	$B_{12}'' = 1,159$
3	10 - 6 - 3	$A_3'' = 5,148$	$B_3'' = 0,662$
4	10 - 5 - 4	$A_4'' = 6,165$	$B_4'' = 0,414$

Подальша обробка масивів пронормованих вагових оцінок A_i'' і B_i'' дозволяє отримати для них такі показники:

- оцінки математичного очікування $\bar{D} \in (\bar{D}_A \cap \bar{D}_B)$:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}, \quad (2.30)$$

де D_i приймає значення A_i'' або B_i'' ;

- оцінки середньоквадратичного відхилення:

$$\sigma(D_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} ; \quad (2.31)$$

- коефіцієнти варіації

$$v(D_i) = \frac{\sigma(D_i)}{\bar{D}} ; \quad (2.32)$$

- абсолютні похибки для заданої довірчої ймовірності $\gamma = 0,9$

$$\xi_D = z_\gamma \frac{\sigma(D)}{\sqrt{n}} , \quad (2.33)$$

де Z_γ є нормована випадкова величина для заданої ймовірності γ ;

- верхню $(\bar{D}^B)$ та нижню $(\bar{D}^H)$ довірчі межі:

$$\bar{D}^{B:H} = \bar{D} \pm z_\gamma \frac{\sigma(D)}{\sqrt{n}} , \quad (2.34)$$

$$\bar{D}^{B:H} \in (\bar{D}_A^{B:H} \cap \bar{D}_B^{B:H}) \quad (2.35)$$

Результати обробки інформації з одержання оцінок статистичних характеристик пронормованих парних комбінацій впливу відмов елементів на працездатність легкових автомобілів представлені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Оцінка статистичних характеристик пронормованих парних комбінацій впливу відмов елементів на працездатність легкових автомобілів

№ комбінації, і	Комбінація вагових оцінок	Масиви пронумерованих вагових оцінок A_i'' і B_i''	
		A_i''	B_i''
1	10 - 8 - 1	$A_1'' = 3,853$	$B_1'' = 2,649$
2	10 - 7 - 2	$A_2'' = 4,408$	$B_2'' = 1,159$
3	10 - 6 - 3	$A_3'' = 5,148$	$B_3'' = 0,662$
4	10 - 5 - 4	$A_4'' = 6,165$	$B_4'' = 0,414$
Статистичні оцінки пронормованих парних комбінацій співвідношень вагових оцінок A_i'' і B_i''			
Статистичні характеристики парних комбінацій співвідношень вагових оцінок	Оцінка математичного очікування	$\bar{D}_A = 4,894$	$\bar{D}_B = 4,894$
	Середньоквадратичне відхилення	$\sigma(A_i'') = 1,0$	$\sigma(B_i'') = 1,0$
	Коефіцієнт варіації	$v(A_i'') = 0,204$	$v(B_i'') = 0,82$

Абсолютна похибка для заданої довірчої ймовірності	$\xi_{D_A} = 1,28 \frac{1,0}{\sqrt{4}}$ $= 0,64$ (для $\gamma=0,9$; $z_\gamma = 1,28$)	$\xi_{D_B} = 1,28 \frac{1,0}{\sqrt{4}}$ $= 0,64$ (для $\gamma=0,9$; $z_\gamma = 1,28$)
Абсолютна похибка для заданої довірчої ймовірності	$\bar{D}_A^s = 4,894 + 0,64$ $= 5,534$	$\bar{D}_B^s = 1,221 + 0,64$ $= 1,861$
Верхня довірча межа	$\bar{D}_A^H = 4,894 + 0,64$ $= 4,254$	$\bar{D}_B^H = 1,221 - 0,64$ $= 0,581$
Нижня довірча межа	$\bar{D}_A = 4,894$	$\bar{D}_B = 1,221$

Примітка: вплив відмов елементів на працездатність легкових автомобілів оцінюється через пронормовані бальні вагові оцінки A_i^n і B_i^n

Аналіз отриманих результатів поданих у таблиці 2.5 показує, що в рамки довірчих меж $\bar{D}_A^s = 5,534$, $\bar{D}_A^H = 4,254$ і $\bar{D}_B^s = 1,861$, $\bar{D}_B^H = 0,581$ потрапляють комбінації вагових оцінок (10 - 7 - 2) і (10 - 6 - 3) з пронормованими значеннями ($A_2^H = 4,408$; $B_2^H = 1,159$) та ($A_3^H = 5,148$; $B_3^H = 0,662$) відповідно.

Остаточний вибір варіанта проведення аналізу впливу відмов елементів на працездатність легкових автомобілів визначається за умови:

$$C_i = (A_i^n + B_i^n) \Rightarrow \max \quad (2.36)$$

Таким чином, для комбінації вагових оцінок (10-7-2) $C_2 = (A_2^n + B_2^n) = 5,567$, а для комбінації (10-6-3) $C_3 = (A_3^n + B_3^n) = 5,81 > C_2 = 5,567$.

За результатами проведених досліджень у рамках аналізу чутливості результатів оцінок за рівнями можна зробити висновок про те, що найбільш оптимальною є комбінація (10-6-3):

$\Omega_{i1} = 10$ - для першого рівня впливу Q_1

$\Omega_{i2} = 6$ - для другого рівня впливу Q_2

$\Omega_{i3} = 3$ - для третього рівня впливу Q_3

де i визначається згідно з виразами (2.20) та (2.21) та позначає індекс елемента ТЗ, що підлягає експертній оцінці, а $j=(1, 3, 1)$ відображає індекс рівня

впливу відмови елемента на загальну працездатність легкових автомобілів

Таким чином, дана методика працює згідно з наступною послідовністю розв'язання задач. На підставі вимоги виразу (2.20) для аналізованих рівнів впливу Q_1, Q_2 і Q_3) відмов елементів E_i транспортних засобів визначаються вагові оцінки їхнього впливу Ω_{ij} на загальну працездатність ТЗ шляхом проведення експертного опитування співробітників підприємства дилерської мережі СТО, які мають безпосереднє відношення до обслуговування та ремонту легкових автомобілів. Потім отримані вагові оцінки підсумовують, $\Omega_{\Sigma i}$ за допомогою виразу (2.22) та впорядковують їх за рівнем впливу відмови окремого елемента на загальну працездатність легкових автомобілів згідно з умовою (2.23).

На третьому етапі стоїть завдання визначення статистичних показників зібраного масиву даних сумарних експертних оцінок комісії. До цих статистичних даних відноситься середньоквадратичне відхилення $\sigma(\Omega_{\Sigma})$ і математичне очікування $\bar{\Omega}_{\Sigma}$ для масиву $\{\Omega_{\Sigma i}\}, i = \overline{(1, n_Q)}$, тобто:

$$\bar{\Omega}_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{n_Q} \Omega_{\Sigma i}}{n_Q} \quad (2.37)$$

$$\sigma(\Omega_{\Sigma}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_Q} (\Omega_{\Sigma i} - \bar{\Omega}_{\Sigma})^2}{n_Q - 1}}, \quad (2.38)$$

де

$$\Omega_{\Sigma i} = \sum_{j=1}^m \Omega_{ij} \quad (2.39)$$

Потім формується масив для $\{K_i\}$ шляхом проведення нормування математичного очікування $\Omega_{\Sigma i}$ за середньоквадратичним відхиленням $\sigma(\Omega_{\Sigma})$:

$$K_i = \frac{\Omega_{\Sigma i}}{\sigma(\Omega_{\Sigma})} \quad (2.40)$$

На четвертому етапі стоїть завдання визначення масиву $\{S_i\}, i = \overline{(1, n_S)}$ питомих витрат на придбання елементів транспортного засобу, що вийшли з ладу, з метою підтримки його працездатності на 1000 км. Потім для масиву $\{S_{\Sigma i}\}, i = \overline{(1, n_S)}$ необхідно визначити статистичні характеристики середньоквадратичного відхилення $\sigma(S_{\Sigma})$ та математичного очікування $\bar{S}_{\Sigma}$ згідно з

виразами (2.42) та (2.43):

$$\bar{S}_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{n_S} S_{\Sigma i}}{n_S}, \quad (2.41)$$

$$\sigma(S_{\Sigma}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_S} (S_{\Sigma i} - \bar{S}_{\Sigma})^2}{n_S - 1}}, \quad (2.42)$$

де

$$S_{\Sigma i} = \sum_{j=1}^m S_{ij} \quad (2.43)$$

На цьому етапі $n_Q = n_S$.

Наступним кроком є формування масиву для M_i шляхом нормування масиву питомих витрат $S_{\Sigma i}$ за середньоквадратичним відхиленням $\sigma(S_{\Sigma})$:

$$M_i = \frac{S_{\Sigma i}}{\sigma(S_{\Sigma})} \quad (2.44)$$

На п'ятому етапі стоїть завдання відбору з вихідної множини номенклатури елементів $\{E_i\}_{i=1}^n$ легкових автомобілів найбільш критичних і значущі з точки зору наслідків відмови та вартості придбання елемента, що відмовив. Для вирішення даного завдання необхідно провести попередню оцінку варіацій $v(K)$ і $v(M)$, відповідно:

$$v(K) = \sigma(K)/\bar{K}; v(M) = \sigma(M)/\bar{M}, \quad (2.45)$$

де математичні очікування та середньоквадратичні відхилення для $\{K_i\}$ і $\{M_i\}$ визначаються з формули:

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^{n_Q} K_i}{n_Q}, \quad (2.46)$$

$$\sigma(K) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_Q} (K_i - \bar{K})^2}{n_Q - 1}}, \quad (2.47)$$

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^{n_S} M_i}{n_S}, \quad (2.48)$$

$$\sigma(M) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_S} (M_i - \bar{M})^2}{n_S - 1}} \quad (2.49)$$

У разі дотримання умови, при якій варіація $v(K)$ або $v(M) < 0,4$ для визначення критичних елементів, що забезпечують працездатність легкових автомобілів, застосовуються порогові значення нижніх довірчих меж $\bar{K}_Y^H$ и $\bar{M}_Y^H$,

що відповідають нормальному закону розподілу K_i або M_i . Якщо умова $v(K)$ або $v(M) < 0,4$ не дотримується, тобто $v(K)$ або $v(M) \geq 0,4$, то застосовується закон Гамма-розподілу. Найчастіше закон Гамма-розподілу застосовується до постачання ЗЧ, вузлів та агрегатів легкових автомобілів для дилерських мереж СТО в умовах підвищеної інтенсивності за певний період.

Для нормального закону розподілу K_i і M_i та нижні довірчі межі визначаються таза формулами:

$$\bar{K}_\gamma^H = \bar{K} - z_\gamma * \frac{\sigma(K_i)}{\sqrt{n_K}}, \quad (2.50)$$

$$\bar{M}_\gamma^H = \bar{M} - z_\gamma * \frac{\sigma(M_i)}{\sqrt{n_M}}. \quad (2.51)$$

У той час як для Гамма-розподілу K_i і M нижні довірчі межі визначаються так:

$$\bar{K}_\gamma^H = \bar{K} - U_\gamma \cdot \frac{\bar{K}}{\sqrt{\eta_K \cdot n_K}}, \quad (2.52)$$

$$\bar{M}_\gamma^H = \bar{M} - U_\gamma \cdot \frac{\bar{M}}{\sqrt{\eta_M \cdot n_M}}, \quad (2.53)$$

У виразах (2.50),(2.53): γ - є довірча ймовірність (зазвичай $\gamma \geq 0,9$); Z_γ - є нормована випадкова величина для заданої ймовірності γ ; U_γ - квантиль нормального розподілу.

У виразах (2.54) і (2.55) η_K і η_M є параметрами форми Гамма-розподілу для масивів $\{K_i\}$ та $\{M_i\}$, що визначаються з виразів:

$$\eta_K = \frac{\bar{K}^2}{\bar{\sigma}^2(K)}, \quad (2.54)$$

$$\eta_M = \frac{\bar{M}^2}{\bar{\sigma}^2(M)} \quad (2.55)$$

В результаті отримуємо значення нижніх довірчих меж K_γ і M_γ , що дозволяє здійснити відбір номенклатури елементів, які впливають на працездатність легкових автомобілів як з точки зору рівня впливу, так і з точки зору найбільших питомих витрат, необхідних для усунення даної несправності. Відбір за даними параметрами здійснюється згідно з наступною умовою:

$$K_i \geq \bar{K}_\gamma^H; M_i \geq \bar{M}_\gamma^H \quad (2.56)$$

При цьому в межах визначення даних умов може виконуватися умова $n_K = n_M$ або ж умова $n_K \neq n_M$.

У разі, якщо для умови $K_i \geq \bar{K}_Y^{\#}$ кількість елементів $n_Q = n_K$ не збігається з числом елементів $n_S = n_M$, умови $M_i \geq \bar{M}_Y^{\#}$ і (або) не збігається номенклатура елементів, а також їх кількості для виконання умови (2.56) одночасно для K_i та M_i і (або) в результаті виділені елементи, для яких відповідають високі показники K_i і, одночасно з цим, низькі показники M_i (або навпаки), то виникає необхідність проведення додаткових маніпуляцій щодо відбору елементів легкових автомобілів.

З урахуванням умови накладання подій K і M та застосування принципу невизначеності Лапласа, який дозволяє судити про рівний рівень впливу кожного з цих критеріїв, визначається вплив кожного елемента ТЗ, що впливає на його працездатність одночасно за двома факторами: рівень впливу даного елемента у разі відмови та вартість витрат, що виникають у разі відмови, необхідних для усунення несправності:

$$R_i = K_i * M_i \quad (2.57)$$

Потім стоїть завдання визначення нижньої довірчої межі $\bar{R}_Y^{\#}$ згідно з таким виразом:

$$\bar{R}_Y^{\#} = \bar{R} - U_Y * \frac{\bar{R}}{\sqrt{\eta_{Ri} * n_R}} \quad (2.58)$$

де: η_{Ri} - показує форму розподілу R_i показника з урахуванням пронормованих значень критеріїв K_i і M_i та одночасно згідно (2.57), тобто. набуває наступного вигляду:

$$\eta_{Ri} = \frac{R^2}{\sigma^2(R)}, \quad (2.59)$$

На фінальному етапі даних маніпуляцій стоїть завдання визначення елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів, та відповідних умов:

$$R_i \geq \bar{R}_Y^{\#}, \quad (2.60)$$

$$n_R \leq \begin{cases} n_K = n_M \\ n_K \neq n_M \end{cases} \quad (2.61)$$

Ці умови відповідають вимогам визначення найбільш "критичних" елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів.

За результатами проведеного дослідження щодо вибору елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів, отримано графічне відображення результатів даного аналізу (рис. 2.10).

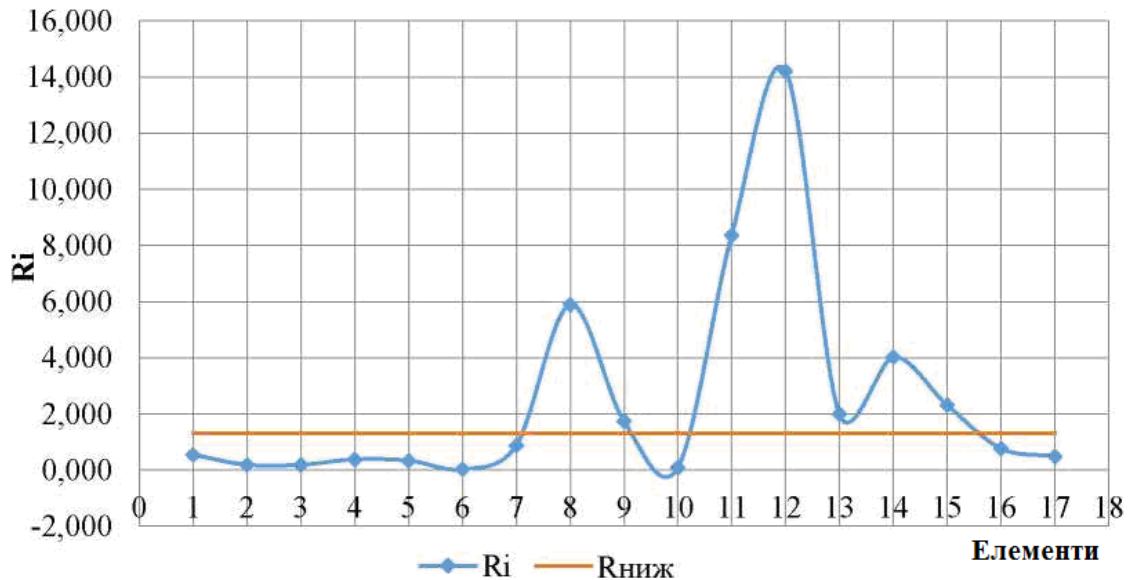


Рисунок 2.10- Графічна ілюстрація вибору елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів

На рисунку 2.10 R_i - значимість елементів $R_i \geq \bar{R}_Y^{\text{н}}$ за впливом на працездатність легкових автомобілів; $\bar{R}_Y^{\text{н}}$ - нижня довірча межа. Найбільш «критичними» є елементи, що відповідають умові $R_i \geq \bar{R}_Y^{\text{н}}$.

Таким чином дана методика дозволяє достовірно визначати елементи легкових автомобілів, що лімітують його працездатність, внаслідок чого можлива реалізація прогнозування потреби у запасних частинах для забезпечення заданого рівня працездатності ТЗ та просування підприємства у районах його ділової активності. .

2.3 Розробка математичної моделі та методики прогнозування потреби у запасних частинах для забезпечення заданого рівня працездатності легкових автомобілів

Прогнозування динаміки просування легкових автомобілів, на основі

обраної для проведення цих досліджень марки Audi на території України дозволяє провести повну оцінку потенційного потоку усунення відмов та несправностей, а також відновлення працездатності ТЗ. При прогнозуванні враховуються параметри експлуатаційної інтенсивності для ТЗ, а також показники, що характеризують їхню працездатність, що дозволяє визначати потребу СТО у вузлах, агрегатах та деталях, для нових або вже існуючих підприємств. Слід зазначити, що необхідно прийняти до уваги і фактори зовнішнього середовища, пов'язані з економічною обстановкою, перспективністю її зміни та потенціалу системи постачання ЗЧ у реаліях ринку автосервісних послуг. Окрема увага має приділятися структурним особливостям споживчих послуг, спрямованих на відновлення та підтримку транспортних засобів у технічно справному (працездатному) з урахуванням конкурентної обстановки, що склалася, і у відповідність до законодавчих баз. Одночасно під час вирішення завдань прогнозування потреби у ЗЧ, ділову активність дилерських СТО і дистриб'юторських систем постачання ЗЧ у мережу СТО. Необхідно також враховувати оптимальну потребу у ЗЧ лише на рівні одиничного автомобіля, експлуатованого у конкретних умовах з варіативною інтенсивністю експлуатації.

З цією метою на першому етапі необхідне відпрацювання моделей та методик оптимізації потреби в елементах легкових автомобілів для забезпечення заданого рівня їх працездатності з подальшим переходом на вирішення завдань другого етапу, що передбачає розробку методики прогнозування потреби в частинах для легкових автомобілів з урахуванням їх просування в районах ділової активності підприємства.

Відомо, що механізми теорії надійності, що є різними законами розподілу (функції класу Пойя другого порядку (F_2), нормальні, експоненційні закони розподілу, а також Вейбулла і гамма-розподілу та ін.) дозволяють описати несправності вузлів і агрегатів ТЗ, та їх напрацювання на відмову з метою вирішення наукових та практичних завдань у галузі технічної експлуатації автомобілів, у тому числі й завдань, орієнтованих на оптимізацію потреби в елементах легкових автомобілів для забезпечення заданого рівня їхньої працездатності.

Варто також зазначити, що ряд несправностей описуються за допомогою моделей розподілу напрацювань на відмову слабкої ланки. Такі несправності викликають порушення працездатного стану всієї системи загалом. У таких моделях розглядається час досягнення граничного стану системи (автомобіля) як розподілення відповідних мінімальних значень напрацювань окремих елементів (агрегатів, вузлів тощо). При цьому закономірності розподілу напрацювань на відмову аналізованих елементів досить добре описується розподілом Вейбулла – Гнеденко:

$$F(L) = 1 - e^{-L^\alpha/\beta} \quad (2.62)$$

де L - поточне значення напрацювання на відмову елемента, що розглядається;

α - параметр форми для розподілу Вейбулла-Гнеденка;

β – зведене середнє.

Параметри α (табульоване або аналітично обчислюване значення) і β визначаються з виразів (2.63) і (2.64):

$$\begin{aligned} \alpha = \varphi[V(L)] \quad \text{або} \quad \alpha &= 1,042 \cdot v(L_\Sigma)^{-1,0473} = 1,042 \cdot 0,512^{-1,0473} = \\ 2,1\alpha &= 1,042 \cdot v(L_\Sigma)^{-1,0473} = 1,042 \cdot 0,512^{-1,0473} = 2,1\alpha = 1,042 \cdot \\ v(L_\Sigma)^{-1,0473} &= 1,042 \cdot 0,512^{-1,0473} = 2,1 \end{aligned} \quad (2.63)$$

$$\beta = \left(\frac{\bar{L}}{\alpha}\right)^\alpha = \alpha^\alpha \quad (2.64)$$

де α – параметр масштабу.

У виразі (2.64) є значення гамма-функція Ейлера для $\delta = \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$, тобто:

$$b_\alpha = \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right) = \Gamma(x) \quad (2.65)$$

Разом з тим необхідно мати на увазі, що при відповідних значеннях параметрів α і α розподіл Вейбулла-Гнеденко аналітично, шляхом відповідних перетворень, можна виразити через інші закономірності розподілу випадкових величин, а саме через експоненційний, нормальний, логарифмічно-нормальний, Гамма-розподіл і т.д.. Враховуючи, що Гамма-розподіл займає важливе місце в

теорії надійності і широко застосовується при описі одновершинних несиметричних розподілів напрацювань до появи подій, за умови, що вони незалежні, то для вирішення завдань оптимізації потреби в елементах легкових автомобілів. З метою забезпечення заданого рівня їх працездатності, можна успішно скористатися даним розподілом, який добре описує розподіл напрацювань елементів на відмови, потоки вимог на обслуговування та ремонт, а також забезпечує отримання оцінок попиту на ЗЧ у процесі експлуатації легкових автомобілей.

Таким чином, застосування Гамма-розподілів для опису закономірностей зміни ймовірнісних характеристик, надійності елементів легкових автомобілів (диференціальних та інтегральних функцій безвідмовності та виникнення відмов) може широко використовуватися в завданнях матеріально-технічного забезпечення дистриб'юторськими системами дилерських автосервісних підприємств при виробництві ТО.

Виконаємо перетворення параметрів розподілу Вейбулла через параметри Гамма-розподілу, використовуються в подальшому для вирішення зазначеної задачі оптимізації потреби в елементах легкових автомобілів в процесі їх експлуатації.

Для диференціальних функцій розподілів Вейбулла (2.66) та Гамма - розподілу (2.67) напрацювання елементів на відмови маємо:

$$f(L) = \frac{\alpha}{\beta} L^{\alpha-1} * e^{-L^{\alpha}/\beta} \quad F(L) = 1 - e^{-L^{\alpha}/\beta} \quad (2.66)$$

$$f(L) = \frac{\lambda^{\eta}}{\Gamma(\eta)} * L^{\eta-1} * e^{-\lambda L} \quad , \quad (2.67)$$

де $\Gamma(\eta) = \lambda * \bar{L} = \frac{\bar{L}^{\eta}}{\sigma^2(L)} f(L) = \frac{\lambda^{\eta}}{\Gamma(\eta)} * L^{\eta-1} * e^{-\lambda L}$ Гамма-функції Ейлера, відповідні параметри α (форми), a (масштабу), β (наведеного середнього) та $\beta\alpha = \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)$ (Гама - функції Ейлера) для розподілу (2.66) відображені у вигляді (2.63 - 2.65), а для Гамма – розподілу (2.67) параметри масштабу $\lambda = \frac{\bar{L}}{\sigma^2(L)}$ та форми $\eta = \lambda * \bar{L} = \frac{\bar{L}^2}{\sigma^2(L)}$ мають вигляд:

$$\lambda = \frac{L}{\sigma^2(L)} ; \quad (2.68)$$

$$\eta = \lambda * \bar{L} = \frac{L^2}{\sigma^2(L)} \quad (2.69)$$

В (2.68) та (2.69) $\sigma^2(L)$ - оцінка математичного очікування напрацювання на відмову елемента легкових автомобілів.

Для розглянутих розподілів (Вейбулла та Гамма - розподілу) оцінки математичного очікування напрацювань на відмови елементів легкових автомобілів $\bar{L} = b_\alpha * \beta^{1/\alpha}$, виражені через параметри $b_\alpha = \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right) = \Gamma(x)$, α , β і $\lambda = \frac{L}{\sigma^2(L)}$, $\eta = \lambda * \bar{L} = \frac{L^2}{\sigma^2(L)}$ представлені у вигляді (2.70) та (2.71), тобто:

- для розподілу Вейбулла:

$$\bar{L} = b_\alpha * \beta^{1/\alpha} \quad (2.70)$$

- для Гамма розподілу:

$$\bar{L} = \eta / \lambda \quad (2.71)$$

З проведених перетворень маємо зв'язок параметрів розподілу Вейбула α (параметр масштабу) в Гамма-розподілі $\eta = \lambda * \bar{L} = \frac{L^2}{\sigma^2(L)}$ (параметр форми) тобто:

$$\eta = \lambda * \bar{L} = \frac{L^2}{\sigma^2(L)} \quad \alpha = \frac{\eta}{\lambda \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)} \quad \eta = \lambda * \bar{L} = \frac{L^2}{\sigma^2(L)} \quad b_\alpha = \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right) = \Gamma(x), \quad (2.72)$$

$$\alpha = \frac{\eta}{\lambda \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)} \quad (2.73)$$

Таким чином при вирішуванні практичних завдань виявлення потоку Витрат ЗЧ (елементів легкових автомобілів) і оптимізації їх запасів в системах МТЗ можливий перехід через взаємозв'язок параметрів α і $\eta = \lambda * \bar{L} = \frac{L^2}{\sigma^2(L)}$ від опису напрацювань на відмови елементів у вигляді від розподілу Вейбула до Гамма-розподілу. В той же час необхідно мати на увазі, що Гамма-розподіл є частковим випадком розподіла Ерланга k-го порядку з диференційною функцією розподілу:

$$f_k = \frac{\lambda(\lambda L)^k}{k!} * e^{-\lambda L} = f_{\eta-1}(L) = \frac{\lambda(\lambda L)^{\eta-1}}{\eta-1!} * e^{-\lambda L} \quad (2.74)$$

де k – індекс порядку розподілу Ерланга має вигляд:

$$k = (\eta - 1) \quad (2.75)$$

Параметр розподілу Ерланга k пов'язаний з параметром Гамма-розподілу

$$\eta = \lambda * \bar{L} = \frac{L^2}{\sigma^2(L)};$$

$$k = \eta - 1 = \left(\frac{L^2}{\sigma^2(L)} - 1 \right) \quad (2.76)$$

При цьому оцінка математичного очікування напрацювання на відмову

$$\bar{L} = b_\alpha * \beta^{1/\alpha}$$

елемента для розподілу Ерланга, що має вигляд:

$$\bar{L} = \frac{k+1}{\lambda} \quad (2.77)$$

з урахуванням перетворення $\eta = (k + 1)$ з виразу (2.76) для Гамма - розподіл може бути представлений як:

$$\bar{L} = \frac{\eta}{\lambda} \quad (2.78)$$

При цьому k - порядок потоку відмов розподілу Ерланга L приймає цілочисельні значення.

При виявленні та прогнозуванні потоків відмов розглядається простий процес відновлення - вимога рівності закономірності розподілів ймовірностей на першу та наступні відмови:

$$F(L_i) = F(L_{i+1}) = \dots = F(L_n), \quad F(L_n) = const, \quad (2.79)$$

Тоді, згідно для провідної функції потоку відмов елементів легкових автомобілів на інтервалі пробігу L можна записати:

$$\Omega_n(L) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[1 - \sum_{k=0}^n \frac{(\lambda L)^k}{k!} * \exp(-\lambda L) \right], \quad (2.80)$$

де $\eta = n$ (приймає цілі значення).

У функції необхідно врахувати верхню межу підсумовування інтегральної функції розподілу $F(L)$ напрацювань відмови. Маючи середній термін служби елемента T у роках (та значення середніх річних пробігів ТЗ $\bar{L}_T$, можна попередньо визначити верхню межу підсумовування за умови:

$$N = \frac{\bar{L}_r * T}{\bar{L}}, \quad (2.81)$$

де $\bar{L}_r$ - математичне очікування річного пробігу легкових автомобілів, яке для подальшої оцінки діапазону нижніх та верхніх довірчих меж набуває значення:

$$\bar{L}_r^* = \begin{cases} \bar{L}_{r(\gamma)}^H \\ \bar{L}_r \\ \bar{L}_{r(\gamma)}^B \end{cases}, \quad (2.82)$$

де $\bar{L}_{r(\gamma)}^H$ - нижня довірна межа середнього річного пробігу для заданої довірчої ймовірності γ ;

$\bar{L}_r$ - оцінка (математичне очікування) середньорічного пробігу;

$\bar{L}_{r(\gamma)}^B$ - верхня довірна межа середнього річного пробігу для заданої довірчої ймовірності γ .

При виявлених значеннях параметра $\eta = \lambda * \bar{L} = \frac{\bar{L}^2}{\sigma^2(L)}$ форми і виду законів розподілу (при $\eta = \lambda * \bar{L} = \frac{\bar{L}^2}{\sigma^2(L)} = 1$ - експоненційний, при $\eta = \lambda * \bar{L} = \frac{\bar{L}^2}{\sigma^2(L)} = 0$ - нормальний і т.д.) для $\bar{L}_{r(\gamma)}^H$ і $\bar{L}_{r(\gamma)}^B$ можна записати:

$$\bar{L}_{r(\gamma)}^H = \lambda^H * \sigma^2(L_r) \quad (2.83)$$

$$\bar{L}_{r(\gamma)}^B = \lambda^B * \sigma^2(L_r) \quad (2.84)$$

У виразах (1.54), (1.55) $\bar{L}_{r(\gamma)}^H = \lambda^H * \sigma^2(L_r)$ і $\bar{L}_{r(\gamma)}^B = \lambda^B * \sigma^2(L_r)$ приймають значення:

$$\begin{cases} \lambda^H = \lambda_{L_r} / (1 + \frac{u_{\gamma^*}}{\sqrt{\eta_{L_r} * n}}) \\ \lambda^B = \lambda_{L_r} / (1 - \frac{u_{\gamma^*}}{\sqrt{\eta_{L_r} * n}}) \end{cases} \quad (2.85)$$

де λ^H і η_{L_r} відповідно параметри масштабу та параметр форми;

n - обсяг вибірки легкових автомобілів, за якими зафіксовані напрацювання річного пробігу легкових автомобілів L_r ;

u_{γ^*} - квантиль нормування для односторонньої довірчої межі γ^* з умови заданої двосторонньої довірчої ймовірності:

$$\gamma^* = \frac{1+\gamma}{2} \quad (2.86)$$

У свою чергу, λ'' і η_{L_r} визначаються з виразів:

$$\begin{cases} \lambda'' = L_r / \sigma^2(L_r) \\ \eta_{L_r} = L_r * \lambda_{L_r} \end{cases} \quad (2.87)$$

Враховуючи вище представлені перетворення, для $\Omega_\eta(L)$ із виразу (2.80) можна остаточно записати:

$$\Omega_n(L) = \sum_{n=1}^N [1 - \sum_{k=0}^k \frac{(\lambda L)^k}{k!} * \exp(-\lambda L)] \quad (2.88)$$

де N визначається згідно з виразом (1.52), відповідно для $\bar{L}_r$, $\bar{L}_{r(\gamma)}^H$ і $\bar{L}_{r(\gamma)}^B$, що визначаються з (2.82).

Значення провідної функції потоку відмов (тобто середня кількість відмов на пробігу L з урахуванням заданих ймовірностей α відсутності простоїв через брак запасних частин дозволяє оцінити необхідні норми запасу запасних частин B_α , яке визначається за умови:

$$\alpha = \text{вер} (m \leq B_\alpha) \quad (2.89)$$

де m - число елементів, що відмовили даного типу, що визначається за аналізований період (або пробіг), m приймає значення $\Omega_\eta(L)$.

Для норми витрати запасних частин випадкове напрацювання елемента до повної витрати визначається за умови:

$$L_\Sigma = \sum_{i=1}^{B_{\alpha+1}} L_i \quad (2.90)$$

При цьому математичне очікування L_Σ та середнє квадратичне відхилення σ_Σ напрацювання визначається з виразів виду:

$$\begin{cases} \bar{L}_\Sigma = (B_{\alpha+1}) * \bar{L} \\ \sigma_\Sigma = (B_{\alpha+1}) * \sigma^2(L) \end{cases} \quad (2.91)$$

Імовірність q простою легкових автомобілів може бути визначена на основі використання нормованої функції розподілу F_0 , тобто.

$$q = F_0 * \left(\frac{L_\Sigma^* - \bar{L}_\Sigma}{\sigma_\Sigma} \right) = F_0(u_q) \quad (2.92)$$

де - L_Σ^* довільна величина напрацювання до повного витрати елемента

(приймає значення $L_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{B_{\alpha}+1} L_i$);

u_q - квантиль нормального розподілу;

F_0 - нормована функція розподілу;

a - ймовірність відсутності простою легкових автомобілів через брак ЗЧ на першу вимогу.

$Q = 1 - a$ - ймовірність простою легкових автомобілів через відсутність ЗЧ при зверненні легкових автомобілів на відновлення його працездатності.

Використовуючи вирази (2.88), (2.91), (2.92) для квантилей

$u_a = u_{1-\alpha}$ можна записати:

$$u_a = \frac{(B_{\alpha}+1) - \Omega_{\eta}(L)}{V(L) * \sqrt{(B_{\alpha}+1)}} \quad (2.93)$$

де $V(L)$ - коефіцієнт варіації напрацювання на відмову елемента

$$V(L) = \frac{\sigma(L)}{\bar{L}}, \quad (2.94)$$

Після перетворень для B_a виступаючого в якості середнього запасу елемента легкових автомобілів, що розглядається, остаточно для B_a (норми витрати запасних частин) можна записати:

$$B_a = B_{\alpha}(L) = \Omega_{\eta}(L) - 1 + 0.5u_a^2 * V^2(L) + \sqrt{\Omega_{\eta}(L) * u_a^2 * V^2(L) + 0.25u_a^4 * V^4(L)} \quad (2.95)$$

Графічна ілюстрація зміни $B_a(L)$ в залежності від зміни накопиченого пробігу L для різних значень ймовірності відсутності простою, що задається a , представлена на рисунку 2.11.

Загальну витрату елементів можна записати у вигляді формули:

$$W_{\alpha}(L_i) = B_{\alpha}(L_i) + \frac{L_i}{\bar{L}_a^n} \quad (2.96)$$

де $\frac{L_i}{\bar{L}_a^n}$ - витрата елемента легкових автомобілів, встановленого виробником

при виготовленні нового автомобіля та відпрацьованого до 1 -ої відмови;

$\bar{L}_a^n$ - нижня довірча межа напрацювання на відмову елемента для заданої довірчої ймовірності a визначається з виразу:

$$\bar{L}_a^n = \bar{L} - u_a * \frac{\sigma(L)}{\sqrt{n}} \quad (2.97)$$

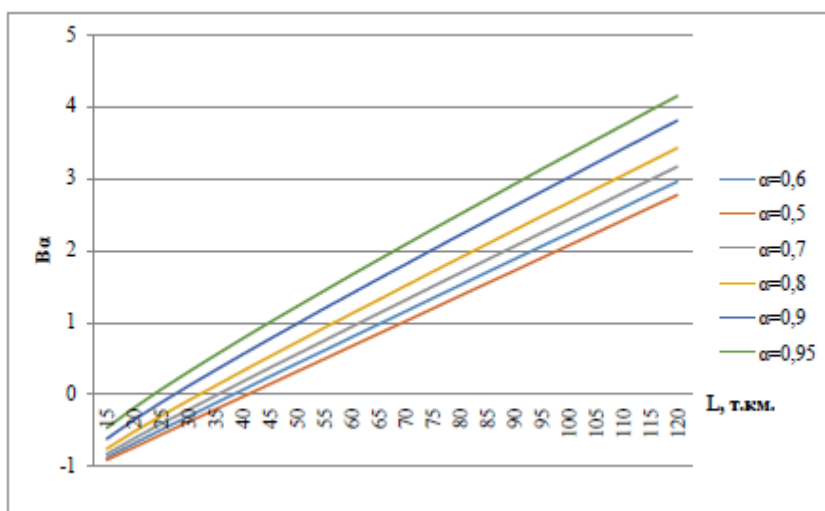


Рисунок 2.11- Зміна $B_a(L)$ залежно від зміни накопиченого пробігу L для різних значень ймовірності відсутності простою a

У даному виразі (2.97):

L - середнє напрацювання на відмову елемента легкових автомобілів;

$\sigma(u)(L)$ - середньоквадратичне відхилення напрацювання на відмову елемента;

n - кількість зафіксованих відмов по елементу, що розглядається;

u_a - квантиль нормального розподілу.

На рисунку 2.12 в графічному вигляді представлено зміну загальної витрати запасних частин $W_a(L_i)$ в залежності від зміни накопиченого пробігу L для різних значень ймовірності відсутності простою a легкових автомобілів.

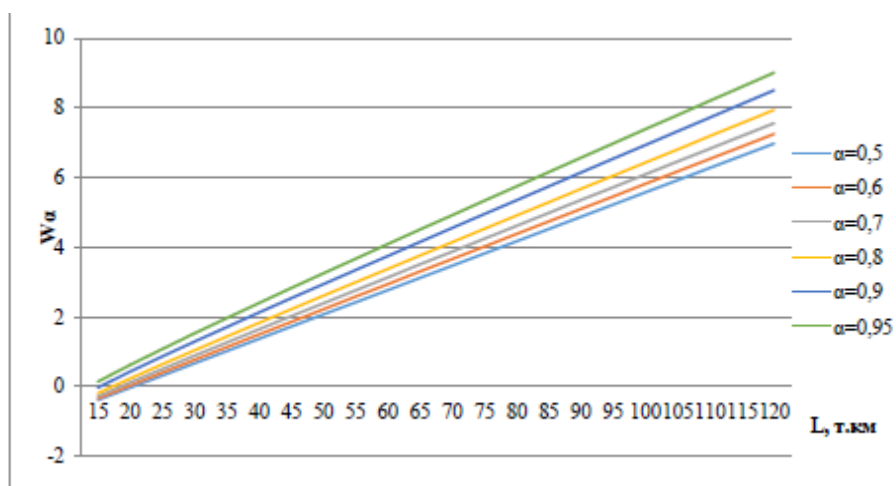


Рисунок 2.12 - Зміна загальної витрати запасних частин $W_a(L_i)$ в залежності від зміни накопиченого пробігу L для різних значень ймовірності відсутності простою a легкових автомобілів

Норма витрати ЗЧ і витрати на них для розглянутих інтервалів пробігу $\Delta L = L_{i+1} - L_i$ з урахуванням заданих ймовірностей α відсутності простоїв АТС визначаються з виразів:

$$W_{\alpha}(\Delta L) = [B_{\alpha}(L_{i+1}) - B_{\alpha}(L_i)] + \left[\frac{L_{i+1} - L_i}{L_{\alpha}^n} \right], \quad (2.98)$$

$$S_{\alpha}(\Delta L) = \bar{S}_{з.ч.} * W_{\alpha}(\Delta L) = \bar{S}_{з.ч.} * \left\{ [B_{\alpha}(L_{i+1}) - B_{\alpha}(L_i)] + \left[\frac{L_{i+1} - L_i}{L_{\alpha}^n} \right] \right\} \quad (2.99)$$

Розглядаючи використання легкових автомобілів приватним власником, можна оцінити потенційні втрати клієнтів, а саме:

- потенційні втрати приватного власника на розглянутому інтервалі пробігу $\Delta L = L_{i+1} - L_i$ для заданої ймовірності відсутності простою α можуть бути представлені у вигляді:

$$C_{\alpha \text{ ч. вл.}}(\Delta L) = [D_{\text{пр}} * \Pi(D_{\text{пр}}) * \Omega_n(\Delta L)] * \frac{1}{\alpha}, \quad (2.100)$$

де $D_{\text{пр}}$ – середній час простою легкових автомобілів у ремонті (в днях);

$\Pi(D_{\text{пр}})$ - втрати клієнта (приватного власника) протягом дня внаслідок простою легкових автомобілів у ремонті;

$\Omega_n(\Delta L)$ - значення провідної функції потоку відмов аналізованого елемента на інтервалі пробігу $\Delta L = L_{i+1} - L_i$ легкових автомобілів;

Загальні середні втрати для дистриб'ютора та приватного власника $\bar{S}_{\alpha}$ пр. вл. (ΔL) або легкових автомобілів працюючих в режимі таксі і дистриб'ютора $\bar{S}_{cm}(\Delta L)$ для заданої ймовірності відсутності простою α на інтервалі пробігу ΔL , що розглядається, визначаються з виразів виду:

$$\bar{S}_{\alpha \text{ пр. вл.}}(\Delta L) = [D_{\text{пр}} * \Pi(D_{\text{пр}}) * \Omega_n(\Delta L)] * \frac{1}{\alpha} + \bar{S}_{з.ч.} * W_{\alpha}(\Delta L), \quad (2.101)$$

При збільшенні вимоги по ймовірності α відсутності простоїв через брак ЗЧ і зростання $D_{\text{пр}}$, $\Pi(D_{\text{пр}})$, T_p та загальні середні втрати пр. вл. (ΔL) та $\bar{S}_{cm}(\Delta L)$ зростатимуть. І навпаки, мінімальні складові втрат $\bar{S}_{\alpha}$ пр. вл. (ΔL) і $\bar{S}_{cm}(\Delta L)$ будуть досягатися при оптимальних значеннях ймовірності, що задається, відсутності простою α і зниження складового рівняння (1.72) $D_{\text{пр}}$, $\Pi(D_{\text{пр}})$, T_p (Рис. 2.13).

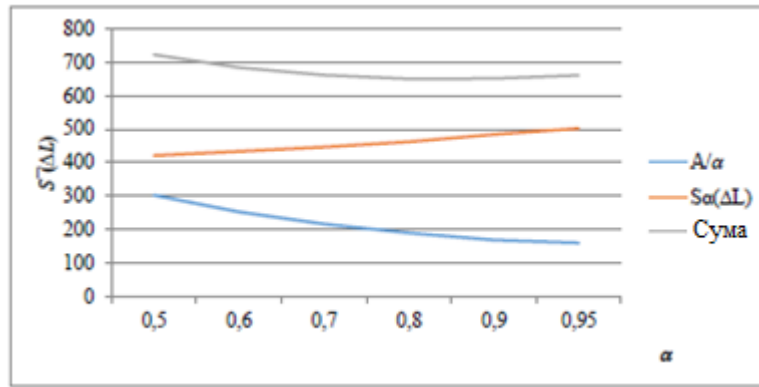


Рисунок 2.13 – Зміна загальних втрат $\bar{S}_{\alpha \text{ пр.вл.}}(\Delta L)$ залежно від середнього часу простою легкових автомобілів в ремонті $D_{\text{пр}}$ і ймовірності α

Реалізація вище представленої моделі дозволяє підійти до розробки методики прогнозування потреби в частинах для легкових автомобілів з урахуванням їхнього просування в районах ділової активності.

Для приватних власників легкових автомобілів при вхідних параметрах, що відбивають середній час простою легкових автомобілів у ремонті, втрати клієнта протягом дня внаслідок простою легкових автомобілів у ремонті виявляються значення оптимальних ймовірностей α відсутності простоїв легкових автомобілів згідно з оптимізаційними функціями $\bar{S}_{\alpha \text{ пр.вл.}}(\Delta L)$ загальних середніх втрат для дистриб'ютора та приватного власника.

Вирішення даної оптимізаційної задачі дозволяє, для розглянутого (або заданого) інтервалу пробігу легкових автомобілів рівного ΔL , виявити оптимальне значення загальних витрат $W_{\alpha}(\Delta L) = [B_{\alpha}(L_{i+1}) - B_{\alpha}(L_i)] + \left[\frac{L_{i+1} - L_i}{L_{\alpha}^n} \right]$ елементів автомобілю. Враховуючи, що замовлення на ЗЧ зазвичай здійснюються помісячно, то в якості інтервалу пробігу легкових автомобілів ΔL , що розглядається, може виступати його місячний пробіг L міс.

Використання результатів моделювання динаміки просування легкових автомобілів марки Audi $Q(t)$ у t -му році на Український ринок та її позитивну тенденцію, діапазон її оптимістичних (верхніх) $Qt_{\text{верх}}$ і песимістичних (нижніх) меж $Qt_{\text{ниж}}$, а також частку $d_t(\text{від } Q(t)) = f(t)$ просування автомобілів в аналізований район ділової активності існуючої та (або) розвиненої дилерської мережі з урахуванням оптимізації загальних видатків

$W_{\alpha}(\Delta L) = [B_{\alpha}(L_{i+1}) - B_{\alpha}(L_i)] + \left[\frac{L_{i+1} - L_i}{L_{\alpha}^{\alpha}} \right]$ елементів по одиничному автомобілю, створює умови визначення потенційної потужності дистриб'юторської системи $M_{\partial ct}$ в t -му році (обсягу запасу елементів - ЗЧ) для тимчасового інтервалу $\Delta L T$, що розглядається, прив'язаного до інтервалу пробігу автомобіля ΔL . При цьому потенційна потужність $M_{\partial ct}$ може бути визначена з виразів:

- для тренду:

$$M_{\partial ct(\text{сред})} = d_t \cdot Q_{t(\text{сред})} \cdot W_{\alpha}(\Delta L) \quad (2.102)$$

- для оптимістичних (верхніх) $Q_{t(\text{верх})}$ меж:

$$M_{\partial ct(\text{верх})} = d_t \cdot Q_{t(\text{верх})} \cdot W_{\alpha}(\Delta L); \quad (2.103)$$

- для песимістичних (нижніх) $Q_{t(\text{ниж})}$ меж:

$$M_{\partial ct(\text{ниж})} = d_t \cdot Q_{t(\text{ниж})} \cdot W_{\alpha}(\Delta L). \quad (2.104)$$

У виразах (2.102)-(2.103) $Q(t)$, $Q_{t(\text{верх})}$ і $Q_{t(\text{ниж})}$ у загальному вигляді визначаються на основі використання полінома n -го ступеня, відповідно для тренду, верхніх та нижніх довірчих меж:

$$Q_t = a_0 + a_1 * t + \dots + a_i * t^i + \dots + a_n * t^n, \quad (2.105)$$

де $a_0, a_1, \dots, a_n$ – коефіцієнти рівняння регресії;

t - наведене поточне значення року на тимчасовому ласі, що розглядається, що приймає значення рівне $t = T - T_0$;

T – змінні значення поточних років;

T_0 – рік прив'язки до початку координат.

Аналітичний опис прогнозу зміни обсягу продажів у вигляді тренду $Q(t) = f(t)$ і його верхніх $Q_{t(\text{верх})}$ і нижніх $Q_{t(\text{ниж})}$ довірчих меж має вигляд:

- для тренду:

$$Q_{t(\text{сред})} = -6,3815 + 66,984t - 37,457t^2 + 9,0181t^3 - 1,0638t^4 + 0,0607t^5 - 0,0013t^6$$

- для

верхньої (оптимістичної) довірчої межі:

$$Q_{t(\text{верх})} = -4,3013 + 66,984t - 37,457t^2 + 9,0181t^3 - 1,0638t^4 + 0,0607t^5 - 0,0013t^6$$

для

нижньої (песимістичної) довірчої межі:

$$Q_{t(\text{ниж})} = -8,4617 + 66,984t - 37,457t^2 + 9,0181t^3 - 1,0638t^4 + 0,0607t^5 - 0,0013t^6$$

Тенденція зміни та прогноз обсягу продажів легкових автомобілів марки Audi на тимчасовому лані з $t = 8$ (2012 рік) по $t = 21$ (2025 рік) представлена на рис. 2.14.

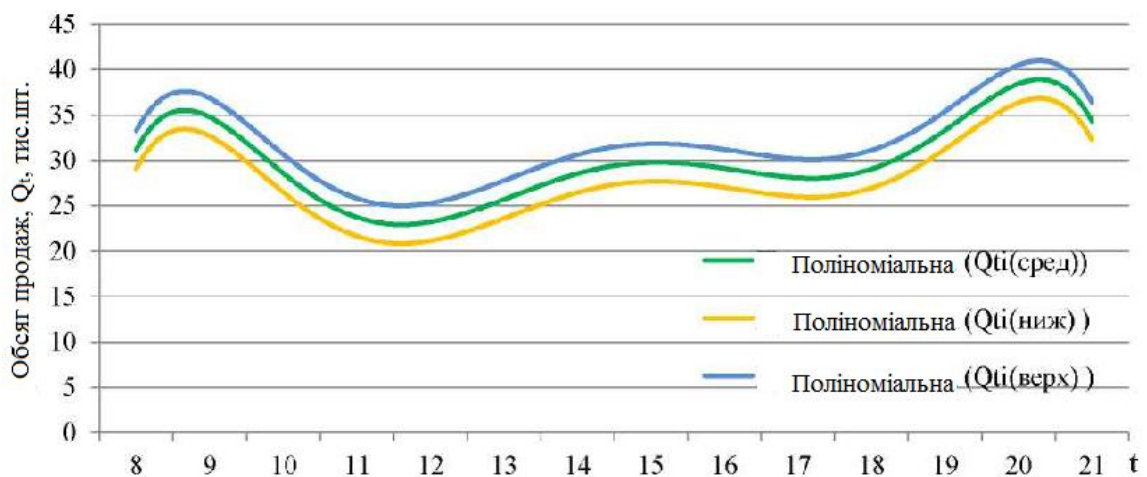


Рисунок 2.14. Тенденція зміни та прогноз обсягу продажів легкових автомобілів марки Audi на тимчасовому лані з $t = 8$ (2012 рік) по $t = 21$ (2025 рік)

Практична реалізація поставлених завдань у цій магістерській роботі передбачає застосування надалі розроблених математичних моделей, представлених у цьому розділі, дозволяє, на основі отримання, обробки та використання необхідної вихідної інформації, підійти до відпрацювання кінцевого завдання цього дослідження, спрямованого визначення потенційних потужностей дистриб'юторських систем постачання ЗЧ для автосервісних виробництв, з урахуванням інтенсивності експлуатації легкових автомобілів та прогнозування їхнього просування у районах ділової активності дилерських мереж СТО.

Висновки по другому розділу

1. Виявлено основні принципові теоретичні та методичні підходи, що безпосередньо впливають на процес вирішення завдань, орієнтованих на прогнозування потреби в запасних частинах для легкових автомобілів з урахуванням їх просування в районах ділової активності та функціонування

дистриб'юторських систем постачання запасних частин на сервісні підприємства дилерської мережі СТО.

2. Встановлено, що вирішення завдань прогнозування потреби в запасних частинах сервісними підприємствами дилерської мережі СТО має передбачати проведення низки етапів послідовних досліджень, що включають оцінку споживчої задоволеності та прогнозування просування легкового транспорту на ринок України, виявлення елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів та вирішення питань забезпечення працездатності легкового транспорту при прогнозуванні потреби запасних частин для дилерських мереж СТО з урахуванням їхнього просування на ринок легкового транспорту.

3. Проведено оцінку споживчої задоволеності та прогнозування просування легкового транспорту на українському ринку. Розроблено методику виявлення елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів, математична модель оптимізації потреби в елементах легкових автомобілів для забезпечення заданого рівня їхньої працездатності та методика прогнозування потреби в запасних частинах для дистриб'юторської системи та дилерської мережі СТО в районах їх ділової активності.

4. Для застосування результатів проведених досліджень моделей та методик вирішення задачі потреби у запасних частинах на реальному виробництві необхідна наявність експериментальних якісних та кількісних даних про надійність легкових автомобілів та оцінних питомих витрат на придбання запасних частин.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НЕОБХІДНОЇ НОМЕНКЛАТУРИ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН НА СКЛАДІ ПІДПРИЄМСТВА ТОВ «БОІНГ АВТО» М. КРОПИВНИЦЬКИЙ

3.1 Основні методи проведення досліджень

Процес експлуатації легкових автомобілів та його ефективність тісно пов'язані з комплексним підходом до виконання різноманітних заходів МТЗ, в т.ч. планування обсягу постачань та управління запасом ЗЧ на підприємстві, починаючи від ланцюжка дистриб'юторської мережі та закінчуючи дилерською мережею СТО.

Грунтуючись на досвіді вітчизняного автомобільного ринку легкових автомобілів закордонного виробництва, а також темпах його високого зростання, можна простежити характерну для нього рису - обмеженість номенклатури деталей, вузлів і агрегатів (запасних частин), які є найбільш споживаними в частині загального обсягу ЗЧ, що витрачаються (у т.ч. враховуються та елементи легкових автомобілів на гарантійному пробігу ТЗ). Своєчасне вжиття заходів щодо забезпечення необхідного рівня працездатності ТЗ може бути засноване на підході до оптимізації організації постачання та планування обсягу потреби та постачання запасних частин в умовах СТО в рамках дилерської мережі. У зв'язку з цим у рамках експериментальних досліджень передбачається формування структури та змісту необхідної інформації, визначення методів її обробки та використання для вирішення завдань прогнозування потреби в елементах легкових автомобілів з урахуванням їхнього просування в районі ділової активності функціонування системи управління запасами на складі підприємства.

Вирішення даної задачі передбачає необхідність наявності експериментальної складової досліджень, націлених на:

- застосування статистичного підходу при отриманні статистичних характеристик надійності елементів легкових автомобілів у процесі експлуатації, абсолютних та питомих витрат на ЗЧ при відновленні їхньої працездатності;
- визначення закономірностей розподілу відмов елементів (запасних

частин) та формування провідних функцій потоків відмов;

- виявлення рівня значущості впливу відмов елементів легкових автомобілів на рівень їхньої працездатності;
- виділення номенклатури елементів (ЗЧ), що лімітують працездатність легкових автомобілів

Перелік даних, що використовуються у магістерській роботі, сформований внаслідок проведення експерименту, заснованого на відстеженні обслуговування та ремонту автомобілів, що експлуатуються на гарантійному пробігу (120 тис. км, 4 роки експлуатації).

Автомобілі, що обслуговуються на дилерських центрах, експлуатувалися в умовах заміського та інтенсивного міського руху.

Термін збору експериментальних даних становив 2 роки (в т.ч. усі сезони зима, літо тощо в період з 2019 по 2021 роки).

У ході експерименту було розглянуто 1000 автомобілів бренду Audi таким як: Audi A3, A4, A6, P5.

Структура елементів легкових автомобілів Audi та їх позначення, що підлягають оцінці експлуатаційної надійності, представлені у таблиці 3.1. Номенклатура компонентів ТЗ (Audi) формувалося на основі аналізу умов та інтенсивності експлуатації зазначених автомобілів, а також несправностей та потоку відмов при використанні інформаційної бази.

Відмови та несправності були класифіковані на основі основних положень, з метою проведення якісної оцінки надійності вузлів та агрегатів легкових автомобілів.

Таблиця 3.1 - Структура та позначення елементів та систем легкових автомобілів Audi

п/п	Найменування елементів легкових автомобілів	Індекс елементів, Е1
1	Підшипник ступичний	Е1
2	Маслоотделитель (перепустки	Е2
3	Клапан регулювання на впускному розподільчому валу (руйнування)	Е3
4	Помпа з термостатом	Е4

5	Клапан турбіни	E5
6	Датчик тиску хладагенту в радіаторі	E6
7	Компресор кондиціонера	E7
8	Рульова рейка	E8
9	Рульовий вал (заклинювання)	E9
10	Опорні підшипники	E 10
11	Мехатронік КПП	E 11
12	Зчеплення КПП	E 12
13	Стартер	E13
14	Ланцюг ГРМ	E14
15	Насос ТНВД	E15
16	Насос Муфти Халдекс	E16
17	Клапан охолоджувальної рідини	E 17

Класифікаційні ознаки з урахуванням специфіки відмов та несправностей, а також їх приклади відображені в таблиці 3.2.

Прийнято поділ отриманих у ході спостереження даних за організаційною та локальною ознаками з урахуванням досвіду та кваліфікації персоналу СТО (інженерів-діагностів). У роботі наведено приклади регулярного контролю технічного стану легкових автомобілів, що враховують напрацювання вузлів та агрегатів, реальних умов експлуатації та обсягів проведених технічних робіт, зокрема. всього переліку виявлених та зареєстрованих відмов та несправностей.

З погляду режиму та умов ряд проведених випробувань належить до класу випробувань, які не підлягають фіксації режиму роботи. Випробування, при поділі з обліку рекомендацій мають такий характер:

- інформаційний, тобто. відомості спрямовані на велику кількість споживачів (в т.ч. клієнтів та співробітників СТО);
- рекомендаційний, який містить у собі певні пропозиції (іноді комерційні), направлені на адресу заводу-виробника, або споживачів. Визначається перелік елементів легкових автомобілів, що лімітують працездатність, виявляються причини виникнення відмов та несправностей. Також формуються рекомендації термінів та специфікації робіт щодо підтримки

справного технічного стану ТЗ.

Таблиця 3.2 - Класифікація відмов та несправностей

Класифікаційна ознака	Види несправностей
1. Вплив на працездатність:	1.1. Відмова елемента викликає відмову автомобіля
	1.2. Відмова елемента не викликає відмови автомобіля (несправність автомобіля)
2. За джерелом та причинами виникнення відмов автомобіля:	2.1. Конструктивні (недоліки конструкції)
	2.2. Виробничі (недосконалість або порушення технології виготовлення)
	2.3. Експлуатаційні (порушення правил технічної експлуатації, кваліфікація персоналу)
	2.4. Деградаційні, зумовлені природними процесами старіння
3. За характером зміни параметра технічного стану:	3.1. Поступові відмови - плавні та монотонні зміни технічного стану
	3.2. Раптові відмови - стрибкоподібні непрогнозовані зміни технічного стану
4. За значимістю впливу на працездатність:	4.1. Аварійна відмова - відмова елемента (елементів), що спричинив дорожньо-транспортну пригоду або загоряння транспортного засобу
	4.2. Критична відмова - відмова, що впливає на зниження дорожньої та екологічної безпеки, що призводить до припинення транспортного процесу та вимагає для його усунення заміни базових
	4.3. Істотна лінійна відмова - викликана погіршенням техніко-експлуатаційних властивостей, що призводить до припинення та (або) порушення розпочатого транспортного процесу
	4.4. Не суттєва відмова - інші відхилення технічного стану від вимог нормативно-технічної документації, що не порушують транспортний процес

У процесі проведення експлуатаційних випробувань та отримання оціночних показників надійності (середніх напрацювань та середньо - квадратичних відхилень напрацювань на відмови) елементів легкових автомобілів (Audi) проводився їх розподіл за класами відновлюваності. Розглядалось питання, чи можливо усунути відмову чи несправність без заміни деталі, вузла чи агрегату чи потрібна повна заміна. Визначення порядку проведення випробувань, числа

об'єктів, а також виділення критеріїв припинення випробувань здійснювалося виходячи з повноти обсягу вихідних даних та проводилося на підставі вибраних планів, таких як [NUN], [NUr], [NUT], [NRr], [NRT] та [NUz]. Із загальної кількості вибраних планів випробувань можна виділити перший (повний) - [NUN], використання якого можливе виключно за наявності великого обсягу даних, і навіть ряд скорочених планів, серед яких [NUT], [NRT]. Для планів [NUr], [NRr] характерна задана кількість відмов. У ході випробувань також можна відзначити період гарантійного пробігу, який супроводжувався передчасним припиненням експерименту через заміну того чи іншого елемента легкових автомобілів до настання критичної точки відмови (граничного пробігу). Проведення передчасних робіт з усунення недоліку, що негативно вплинуло на статистичну вибірку:

- перевизначення (скорочення) тривалості випробувань;
- різні періоди початку або (і) закінчення проведення випробувань;
- вплив організаційних чинників припинення випробувань деяких легкових автомобілів.

Основною умовою при використанні поточного підходу до збору та аналізу інформації про несправності та відмови в числі вузлів або агрегатів легкових автомобілів є постійний контроль за дотриманням умов відповідності показника рівня довірчої ймовірності не нижче $\gamma=0,9$. У той самий час, величина граничної відносної помилки не має перевищувати значення $\delta=0,1$.

Обробка статистичної інформації щодо експлуатаційної надійності та формування закономірностей ймовірностей виникнення відмов, отримання залежностей зміни значень провідних функцій потоків відмов, а також виявлення закономірностей зміни витрат від напрацювання елементів на відмови (у тому числі й питомих витрат) та зв'язок абсолютних та питомих витрат за елементами, що розглядаються, базувалися на використанні відомих положень теорії ймовірностей та математичної статистики та кореляційно – регресійного аналізу.

В основу відображених у ході цієї роботи сукупностей вузлів, деталей та агрегатів легкових автомобілів закладено методики оцінки факторів з використанням «вагового» критерію та вибору послідовних переваг. Також слід

зазначити проведення класифікації несправностей і відмов у ході проведення якісної оцінки параметрів експлуатаційної надійності групи легкових автомобілів, що розглядається.

3.2 Оцінка розподілу відмов елементів легкових автомобілів та витрат на їх придбання

При проведенні експериментальних досліджень зі збору статистичної інформації про експлуатаційну надійність відібраних елементів було отримано оціночні показники: середнє напрацювання на відмову, $\bar{L}_i$, вартість запасних частин (елементів) S_i , питомі витрати на запасні частини (елементів), $S_{\text{пит}}$ (таблиця 3.3.).

Таблиця 3.3 – Оціночні показники відібраних елементів

№ п/п	Найменування елементів легковихавтомобілів	Індекс елементів, E_i	Середнє напрацювання на відмову з ТЗ, що відмовили, $\bar{L}_i$ 1 тис. км	Вартість ЗЧ, E_i у.о.	Питомі витрати на ЗЧ, (E_i), $S_{\text{пит}}$, у.о./1000 км
1	Ступічний підшипник	E_1	50,8	250	4,921
2	Маслорозділювач (пропуски згоряння)	E_2	60,3	100	1,658
3	Клапан регулювання на впускному розподільчомк валу (руйнування)	E_3	79,9	50	0,626
4	Помпа с термостатом	E_4	44,15	150	3,398
5	Клапан турбіни	E_5	71,55	100	1,398
6	Датчик тиску хладагену в радіаторі	E_6	72,2	30	0,416
7	Компресор кондиціонера	E_7	76	400	5,263
8	Рульова рейка	E_8	100	2000	20,000
9	Рульовий вал (заклинювання)	E_9	28,55	300	10,508
10	Опорні підшипникм	E_{10}	63,8	100	1,567
11	Мехатронік КПП	E_{11}	63,3	1800	28,436
12	ЗчепленняКПП	E_{12}	23,35	950	40,685
13	Стартер	E_{13}	60	650	10,833
14	Цеп ГРМ	E_{14}	95	1300	13,684
15	Насос ТНВД	E_{15}	45	630	14,000
16	Насос Муфти Халдекс	E_{16}	75,15	350	4,657
17	Клапан охолоджуючої рідини	E_{17}	61,75	180	2,915

При подальшій обробці отриманих оціночних характеристик було проведено аналіз співвідношень їх з елементами легкових автомобілів, що розглядаються, а також отримано ряд залежностей між показниками (Рис. 3.1 - 3.6).

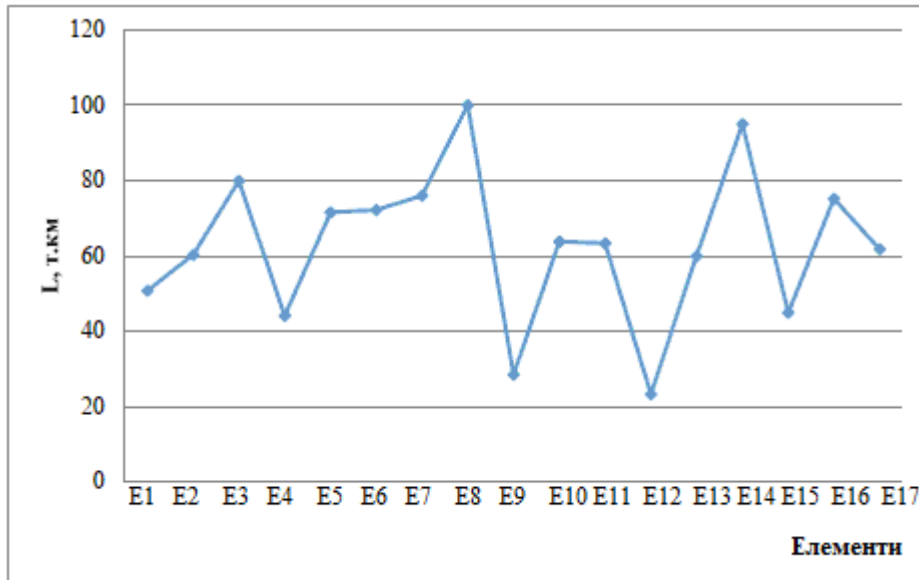


Рисунок 3.1 – Напрацювання елементів легкових автомобілів на відмову

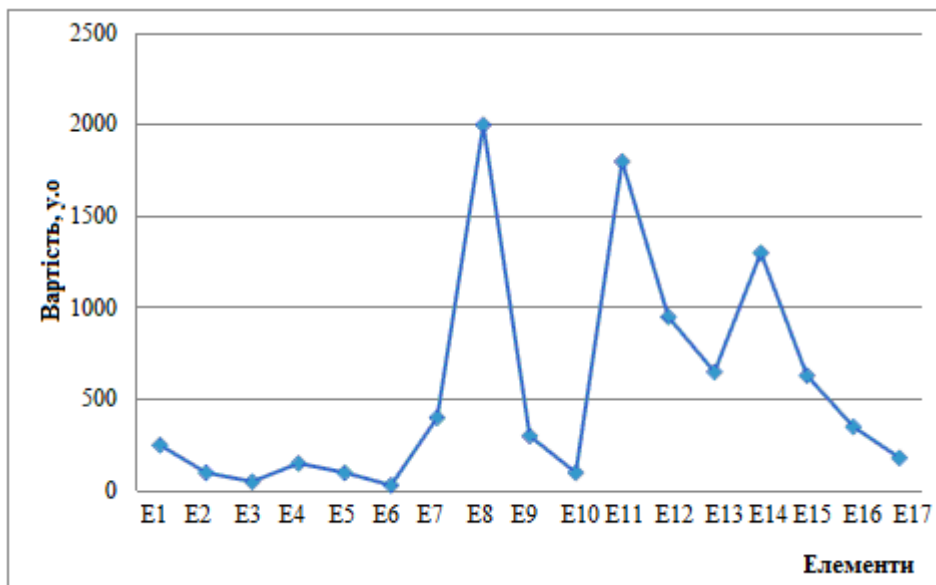


Рисунок 3.2 - Вартість відібраних елементів (запасні частини)

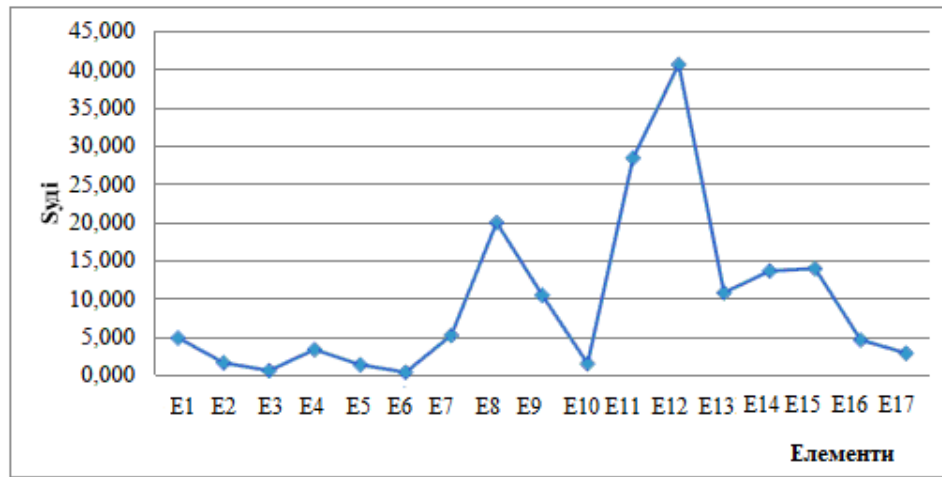


Рисунок 3.3 - Питомі витрати елементів, що замінюються (запасні частини) на 1000 км.

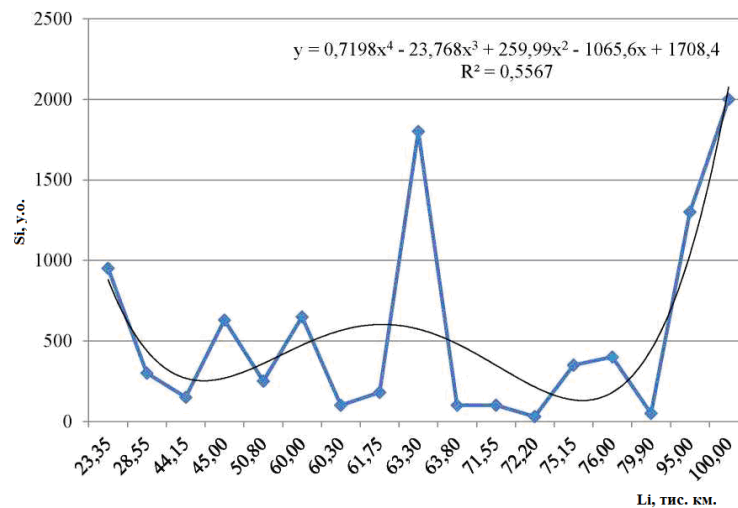


Рисунок 3.4 - Залежність абсолютних витрат за запасні частини від напрацювання на відмову

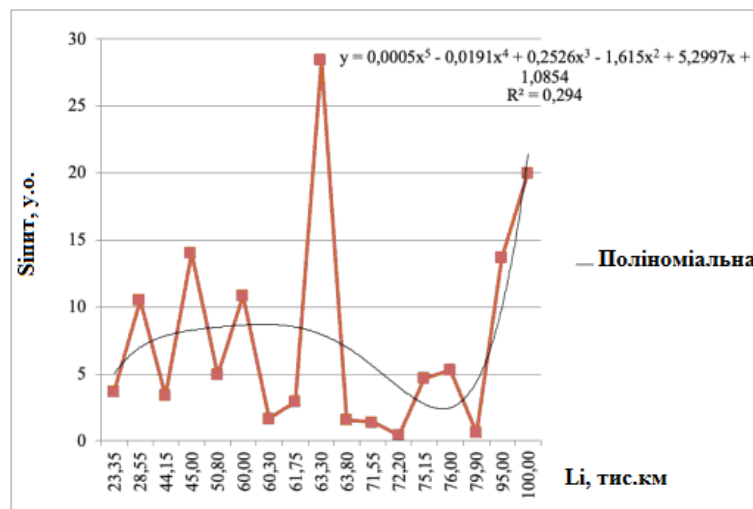


Рисунок 3.5 - Залежність питомих витрат за запасні частини від напрацювання на відмову

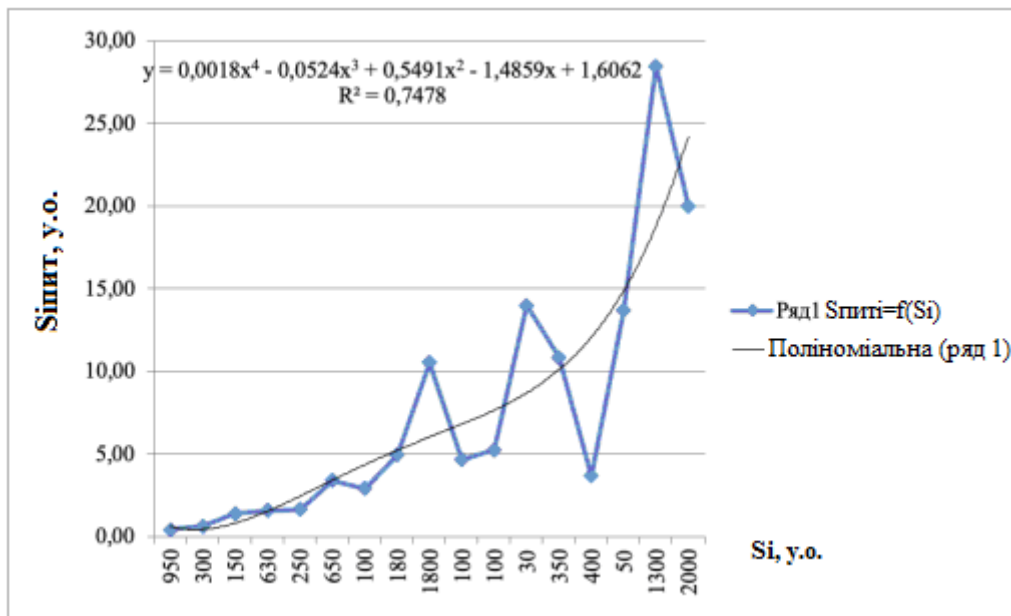


Рисунок 3.6 - Залежність питомих витрат за запасні частини від абсолютних витрат

З отриманих залежностей можна зробити висновок, що однозначне рішення, ґрунтуючись лише з витратах, приймати недостатньо коректно, тому необхідно виявити елементи, лімітують надійність на вирішення завдань, визначених у цій дисертаційній роботі.

3.3 Виявлення елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів

Відповідно до розробленої математичної моделі (розділ 2.3) вирішено завдання виявлення елементів, що лімітують працездатність. Для подальшого розгляду та вирішення поставлених завдань, пов'язаних з оптимізацією та прогнозуванням потреби в елементах легкових автомобілів з урахуванням їх просування у районі ділової активності функціонування дистриб'юторських систем постачання запасних частин у дилерську мережу СТО. Сукупність елементів, подана нижче, у таблиці 3.4, була визначена з впливу на працездатність легкових автомобілів.

Таблиця 3.4 - Характеристики елементів, що впливають на працездатність легкових автомобілів

№ п/ п	Найменування елемента	Позначення елемента	Рівень впливу на працездатність Q_i/Ω_{ii} оціночний показник			Скмарне значення оцінки $\Omega_{\Sigma i}$	Вартість запасної частини C, у.о.	Середнє напрацювання на відмову $\bar{l}$, т.км.	Піомі витрати на запасні частини Si
			Q1	Q2	Q3				
			$\Omega_{i1} = 10$	$\Omega_{i21} = 6$	$\Omega_{i31} = 3$				
1.	Ступічний підшипник	E ₁		+		6	250	50,8	4,921
2	Маслорозділювач (пропуски згоряння)	E ₂		+		6	100	60,3	1,658
3	Клапан регулювання на впускному розподільчому валу	E ₃	+	+		16	50	79,9	0,626
4	Помпа с термостатом	E ₄		+		6	150	44,1	3,398
5	Клапан турбіни	E ₅	+		+	13	100	71,5	1,398
6	Датчик тиску хладагенту в радіаторі	E ₆			+	3	30	72,2	0,416
7	Компресор кондиціонера	E ₇		+	+	9	400	76	5,263
8	Рульова рейка	E ₈	+	+		16	2000	100	20,000
9	Рульовий вал (заклинювання)	E ₉		+	+	9	300	28,5	10,508
10	Опорні підшипникм	E ₁₀			+	3	100	63,8	1,567
11	Мехатронік КПП	E ₁₁	+	+		16	1800	63,3	28,436
12	Зчеплення КПП	E ₁₂	+	+	+	19	950	23,3	40,685
13	Стартер	E ₁₃	+			10	650	60	10,833
14	Цеп ГРМ	E ₁₄	+	+		16	1300	95	13,684
15	Насос ТНВД	E ₁₅		+	+	9	630	45	14,000
16	Насос Муфти Халдекс	E ₁₆		+	+	9	350	75,1	4,657
17	Клапан охолоджуючої рідини	E ₁₇		+	+	9	180	61,7	2,915

Після проведених розрахунків було визначено найважливіші елементи з погляду їхнього впливу працездатність легкових автомобілів. Значення, що знаходяться вище нижньої межі інтегральної результуючої ознаки $\bar{R}_\gamma^H$ потрапляють у категорію запасних частин, які мають високий рівень значущості для працездатного стану транспортного засобу таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Виявлення елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів

№ п/п	Найменування елемента	Позначення елемента	Нормування значення бальних оцінок	Нормування масиву питомих витрат	Значимість (інтегральна) елементів	Нижня межа результуючої ознаки	Елементи лімітуючі працездатність
			K_i	M_i	R_i		
1.	Ступічний підшипник	E_1	1,225	0,443	0,543	1,310	
2	Маслорозділювач (пропуски згорання)	E_2	1,225	0,149	0,183		
3	Клапан регулювання на впускному розподільчому валу (руйнування)	E_3	3,268	0,056	0,184		
4	Помпа с термостатом	E_4	1,225	0,306	0,375		
5	Клапан турбіни	E_5	2,655	0,126	0,334		
6	Датчик тиску хладогену в радіаторі	E_6	0,613	0,037	0,023		
7	Компресор кондиціонера	E_7	1,838	0,474	0,871		
8	Рульова рейка	E_8	3,268	1,800	5,882		E_8
9	Рульовий вал (заклинювання)	E_9	1,838	0,946	1,738		E_9
10	Опорні підшипникм	E_{10}	0,613	0,141	0,086		
11	Мехатронік КПП	E_{11}	3,268	2,559	8,363	1,310	E_{11}
12	Зчеплення КПП	E_{12}	3,881	3,661	14,209		E_{12}
13	Стартер	E_{13}	2,042	0,975	1,991		E_{13}
14	Цеп ГРМ	E_{14}	3,268	1,232	4,025		E_{14}
15	Насос ТНВД	E_{15}	1,838	1,260	2,316		E_{15}
16	Насос Муфти	E_{16}	1,838	0,419	0,770		
17	Клапан	E_{17}	1,838	0,262	0,482		

Залежності, знайдених показників пронормованих значень бальних оцінок K_i , питомих витрат M_i та значущість (інтегральна) елементів R_i , відображені на графіках на Рис. 3.7 – 3.9.



Рисунок 3.7 – Залежність пронумерованих витрат від пронормованого впливу на працездатність

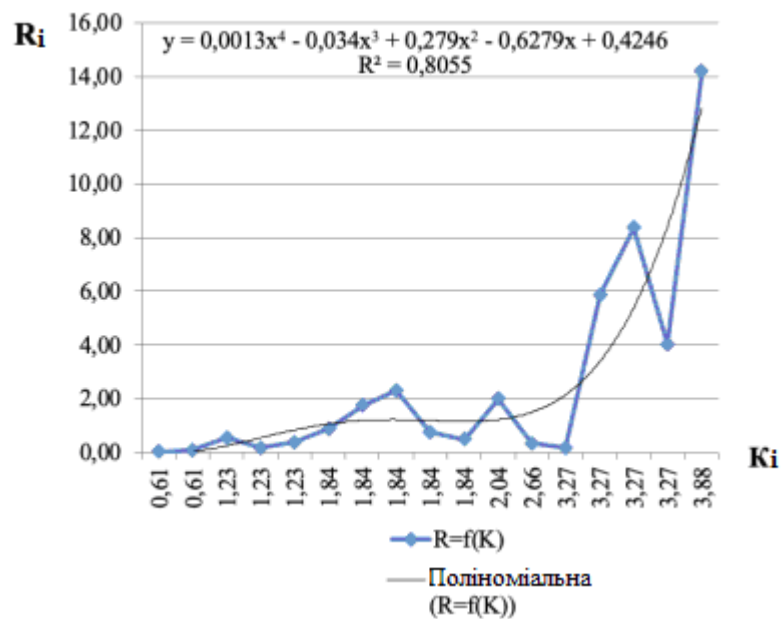


Рисунок 3.8 – Одночасна значимість елементів від впливу на працездатність



Рисунок 3.9 - Одночасна значимість елементів від пронормованих витрат

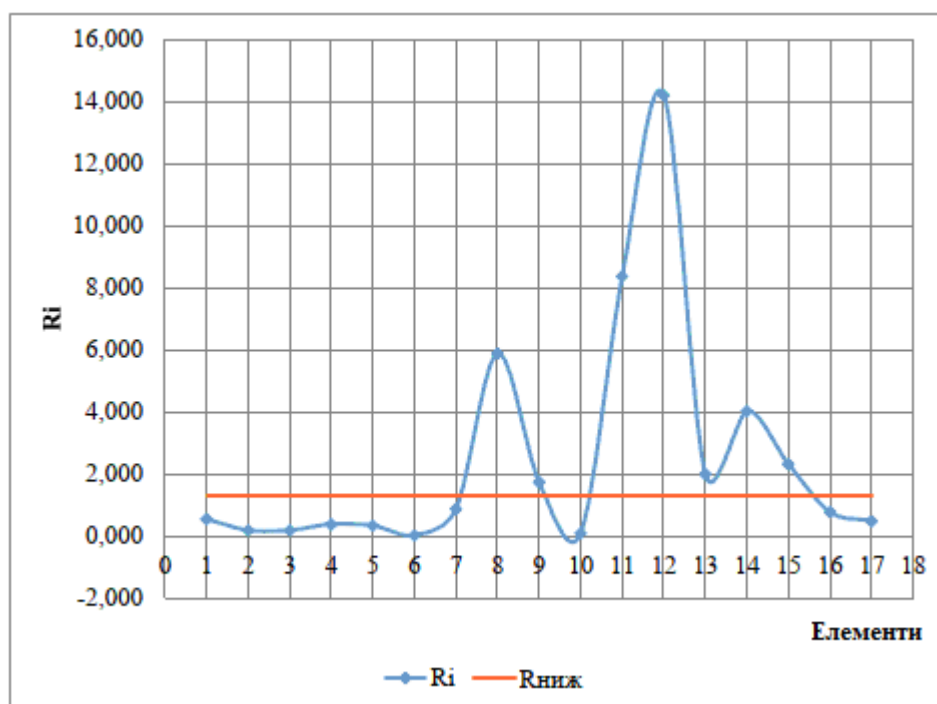


Рисунок 3.10 - Елементи, які відібрані та лімітують працездатність легкових автомобілів

За результатами розрахунків були виявлені елементи, що лімітують працездатність легкових автомобілів, такі як: рульова рейка (Е8), рульовий вал (Е9), мехатронік КПП (Е11), зчеплення КПП (Е12), стартер (Е13), ланцюг ГРМ (Е14), насос ТНВД (Е15). З графіка 3.10 видно, що значення критерію цих

елементів знаходиться вище знайденої нижньої довірчої межі критерію $\bar{R}_\gamma^H$.

3.4 Визначення закономірностей розподілу відмов елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів

Для продовження дослідження було визначено основні закономірності розподілу відмов елементів (запасних частин), що лімітують працездатність легкових автомобілів. У таблиці 3.6. відображено результати проведеної оцінки вузлів та агрегатів автомобілів бренду Audi за показником працездатності з поділом по відмовим та несправностям.

Таблиця 3.6 - Результати проведеної оцінки вузлів та агрегатів автомобілів бренду Audi за показником працездатності з поділом за відмовами та несправностями

№ п/п	Найменування елемента	Позначення елемента	Показатели надёжности		
			Середнє напрацювання l , тис. км	Коефіцієнт варіації, $v(l)$	Гамма відсоткове напрацювання, l_γ , тис. км, для $\gamma = 0,9$
1.	Ступічний підшипник	E ₁	50,8	0,292	31,77/ 3,18
2	Маслорозділювач (пропуски згоряння)	E ₂	60,3	0,100	52,52/ -
3	Клапан регулювання на впускному розподільчому валу (руйнування)	E ₃	79,9	0,163	63,20
4	Помпа с термостатом	E ₄	44,15	0,211	32,22 / 9,91
5	Клапан турбіни	E ₅	71,55	0,290	44,95
6	Датчик тиску хладагенту в радіаторі	E ₆	72,2	0,197	53,92 / 0,77
7	Компресор кондиціонера	E ₇	76	0,126	63,69/-
8	Рульова рейка	E ₈	100	0,123	84,17/ -
9	Рульовий вал (заклинювання)	E ₉	28,55	0,368	15,08/ -
10	Опорні підшипникм	E ₁₀	63,8	0,192	48,09/ -
11	Мехатронік КПП	E ₁₁	63,3	0,155	50,70/ -
12	Зчеплення КПП	E ₁₂	23,35	0,330	13,49
13	Стартер	E ₁₃	60	0,142	49,04/ -
14	Цеп ГРМ	E ₁₄	95	0,122	80,12/ -
15	Насос ТНВД	E ₁₅	45	0,216	32,53/ -
16	Насос Муфти Халдекс	E ₁₆	75,15	0,172	58,56/ -
17	Клапан охолоджуючої рідини	E ₁₇	61,75	0,161	48,99/ -

Графіки диференціальних функцій розподілу напрацювань на відмову для відібраних елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів відображені на рис. 3.11 - 3.17.

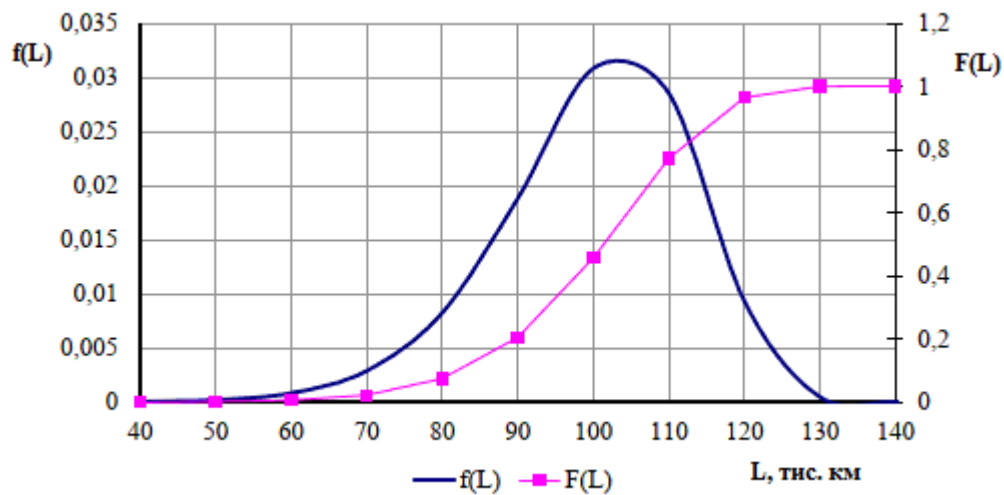


Рисунок 3.11 – Диференційна функцій розподілу напрацювань на відмову 8-го елемента

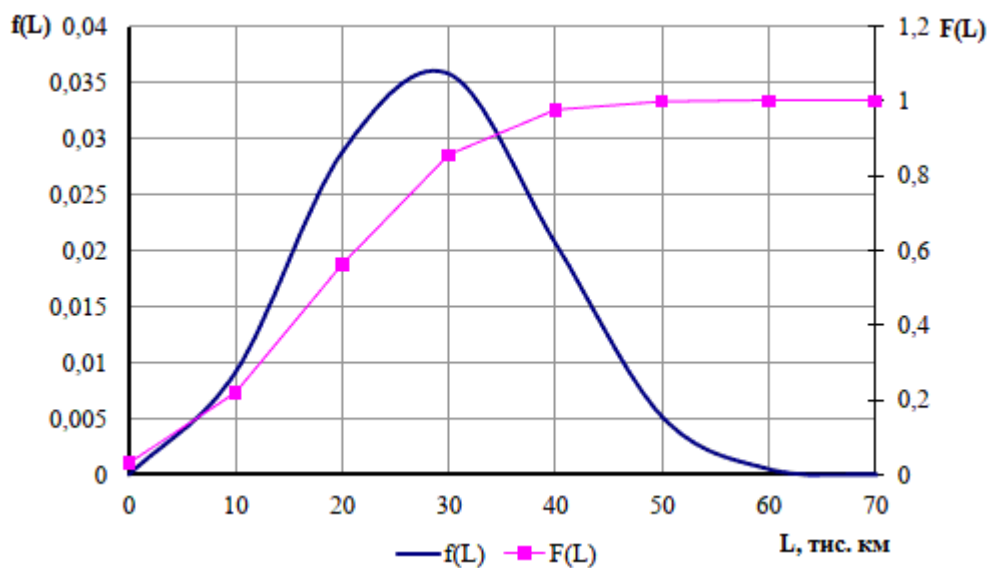


Рисунок 3.12 – Диференційна функцій розподілу напрацювань на відмову 9-го елемента

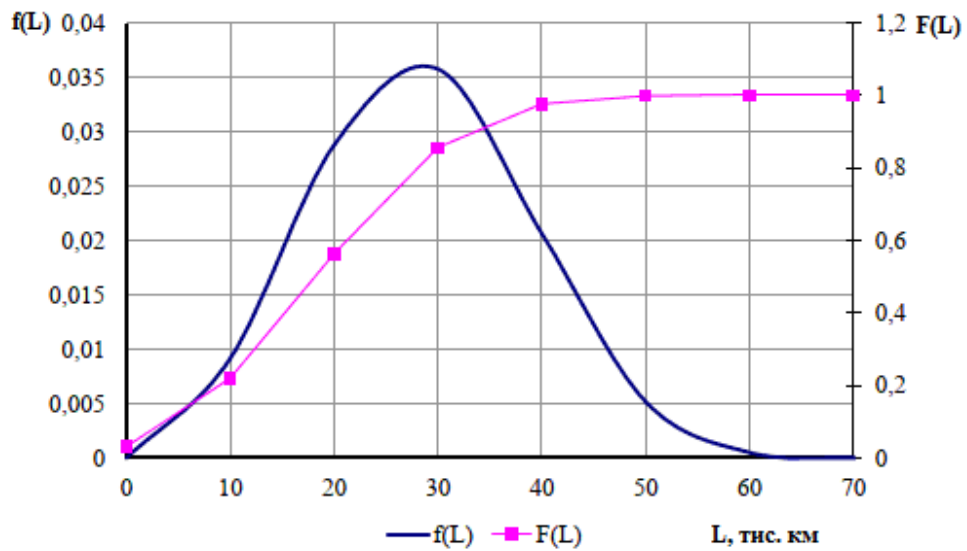


Рисунок 3.13 – Диференційна функцій розподілу напрацювань на відмову 11-го елемента

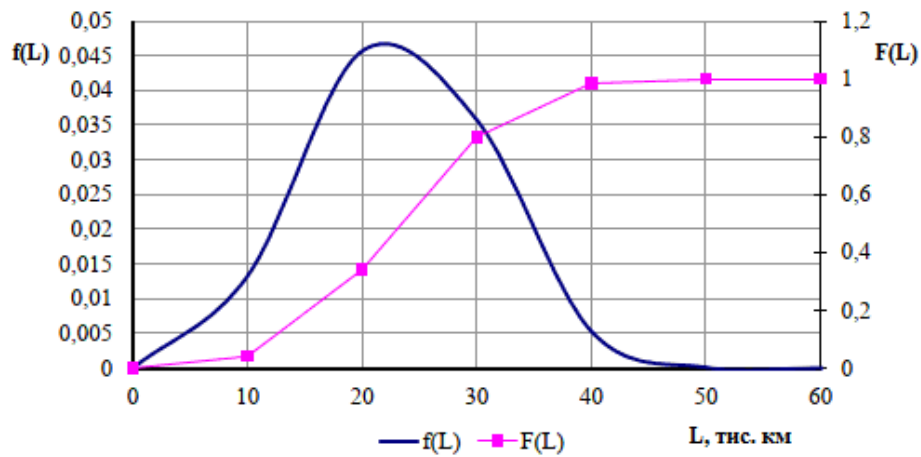


Рисунок 3.14 – Диференційна функцій розподілу напрацювань на відмову 12-го елемента

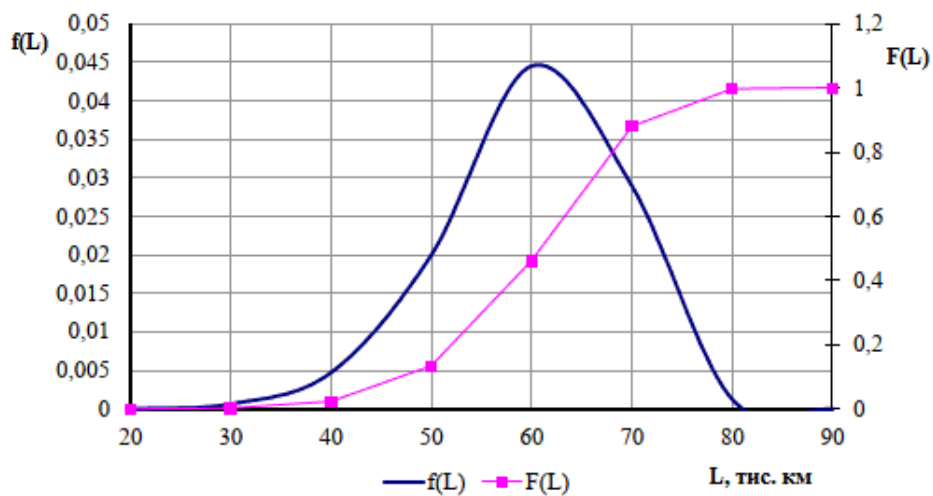


Рисунок 3.15 – Диференційна функцій розподілу напрацювань на відмову 13-го елемента

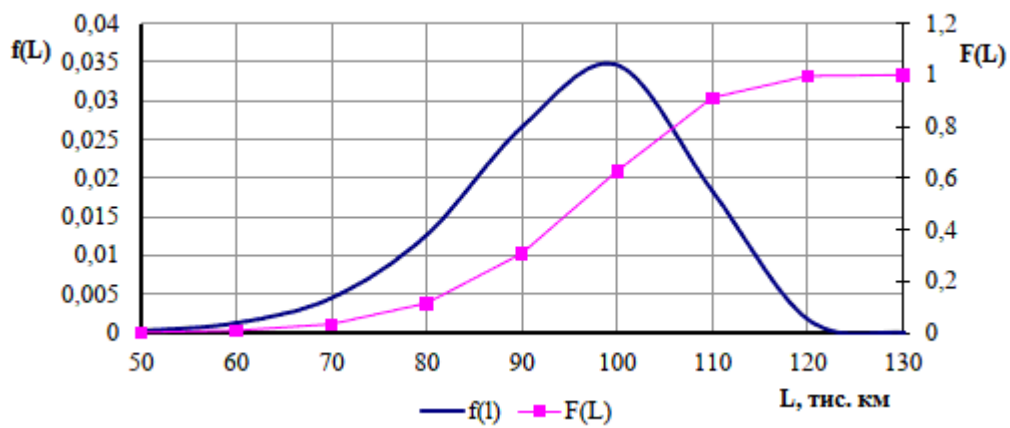


Рисунок 3.16 – Диференційна функцій розподілу напрацювань на відмову 14-го елемента

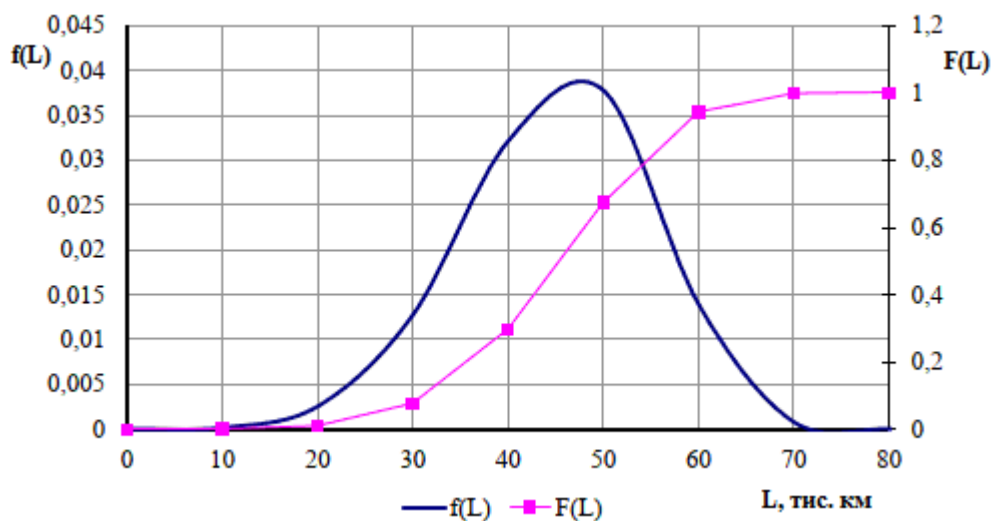


Рисунок 3.17 – Диференційна функцій розподілу напрацювань на відмову 15-го елемента

Отримані результати були використані для реалізації моделі оптимізації роботи дилерської мережі СТО у районі ділової активності.

Під час обробки експериментальних даних розглядали можливість використання асимптотичних залежностей провідної функції потоку відмов. В якості змінних для $\Omega(x \in L_{ij})$ виступають напрацювання L_{ij} на відмову i -го елемента

У загальному вигляді $\Omega(L_{ij})$ визначається з виразу (3.1):

$$\Omega(L_{ij}) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(L_{ij}) , \quad (3.1)$$

де $F_n(L_{ij})$ – інтегральна функція ймовірності виникнення n -го за рахунком відмови на пробігу L_{ij} для i -го елемента

В якості основи для створення методів розрахунку потреб підприємств автомобільного сервісу в ЗЧ можуть бути використані дані про потік відмов вузлів, деталей та агрегатів ТЗ, а також асимптотичні залежності. Обробка отриманої в ході експерименту інформації заснована на поточних розробках провідних у цій галузі вчених, різних науково-дослідних центрів, а також стандартів лабораторій та базисних розробок.

Запропонована модель охоплює найпоширеніші процеси відновлення вузлів та агрегатів легкових автомобілів. У разі простого процесу відновлення функція розподілу напрацювань на відмову буде постійною і матиме вигляд $F_1(L) = F_{i,j+1}(L) = F(L)$. Другий процес відновлення (загальний) має відмінність – обмеженість рівності функції розподілу, яка не поширюється на перший метод і має вигляд $F_1(L) = F_{i,j+1}(L) = F(L)$. Залежності, відповідні асимптотичному виду, дозволяють як вихідні дані отримувати досить точні оціночні значення параметрів $\Omega(L_{ij})$, а також їх інтервальні значення. Особливо ці функції найбільш актуальні для загальних методів відновлення, які спрямовані на підтримку транспортних засобів у справному стані (відновлення працездатного стану). Оцінюючи рівня запасу вузлів і агрегатів (запасних частин) практично застосовуються саме залежності цього виду.

На підставі перерахованого вище можливо проведення оцінки провідних функцій параметра потоку відмов на пробігу L (тобто числа відмов) виходячи з асимптотичних виразів, представлених у вигляді виразу (3.2):

$$\Omega(L) = \frac{L}{\bar{L}_1} + 0,5 \left(\frac{\sigma_1^2}{\bar{L}_1^2} - 1 \right) \quad (3.2)$$

де L - поточне значення напрацювання аналізованого елемента;

$\bar{L}_1$ оцінка математичного очікування напрацювання елемента на першу відмову (середнє напрацювання на першу відмову);

σ_1^2 - оцінка середньоквадратичного відхилення напрацювання на першу відмову.

Для провідної функції потоку відмов елементів легкових автомобілів, для хвильового процесу можна записати:

$$\Omega_n(L) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[1 - \sum_{k=0}^n \frac{(\lambda L)^k}{k!} * \exp(-\lambda L) \right], \quad (3.3)$$

Потреби в запасних частинах (елементах) автомобіля з його пробігом визначено за провідною функцією відмов (Рис. 3.18 – 3.23)

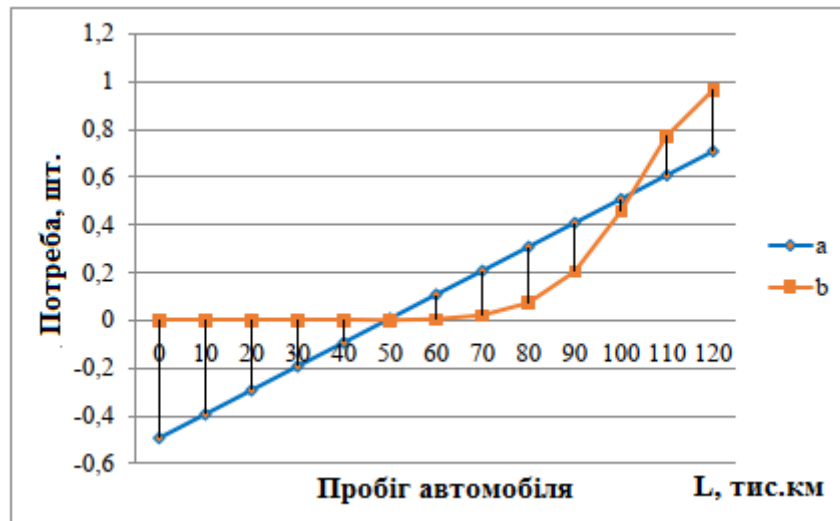


Рисунок 3.18- Потреба запчастини (елемента) E8 за провідною функцією потоку відмов

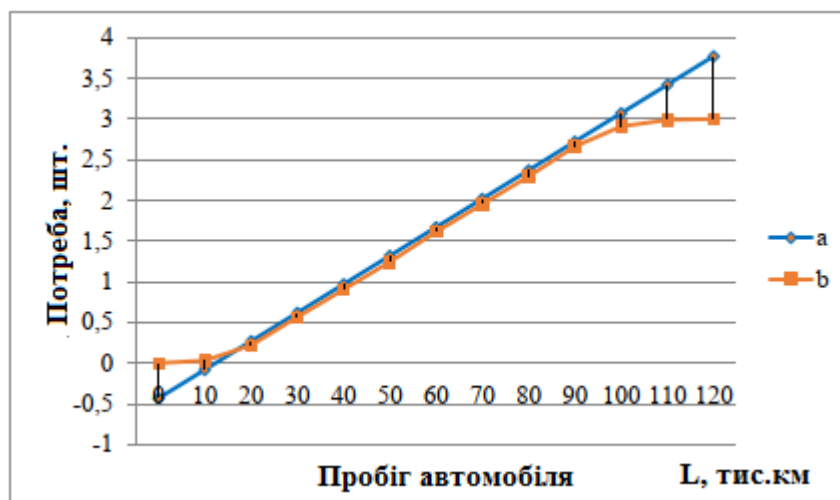


Рисунок 3.19- Потреба запчастини (елемента) E9 за провідною функцією потоку відмов

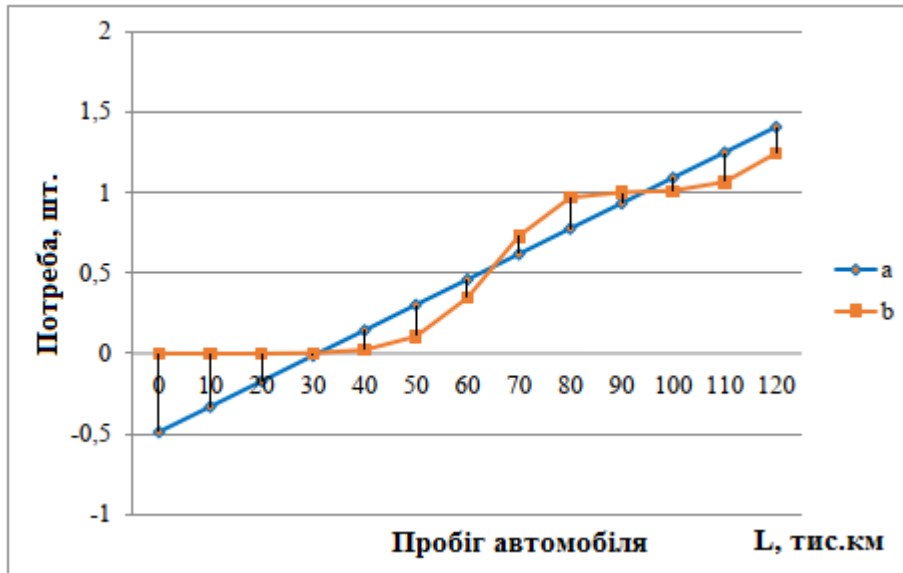


Рисунок 3.20- Потреба запчастини (елемента) E11 за провідною функцією потоку відмов

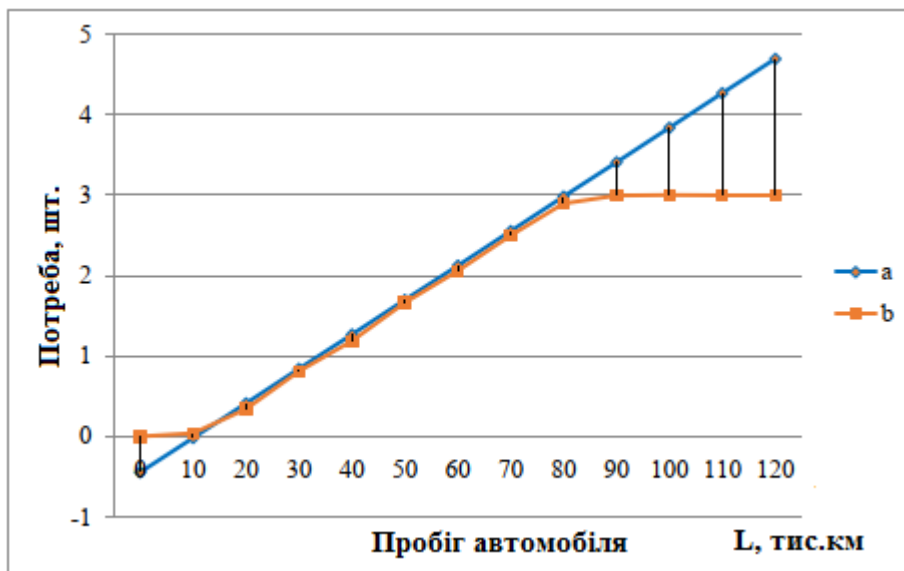


Рисунок 3.21- Потреба запчастини (елемента) E12 за провідною функцією потоку відмов

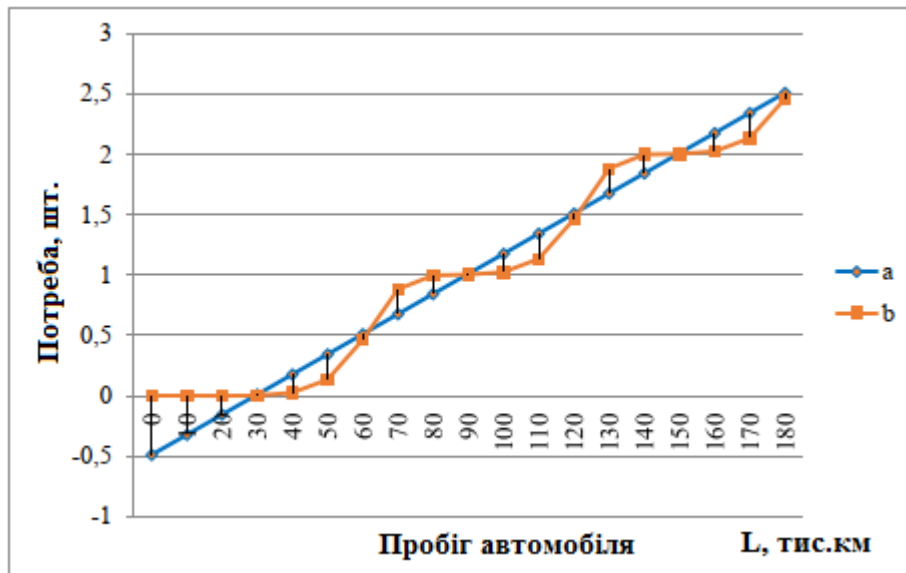


Рисунок 3.22- Потреба запчастини (елемента) E13 за провідною функцією потоку відмов

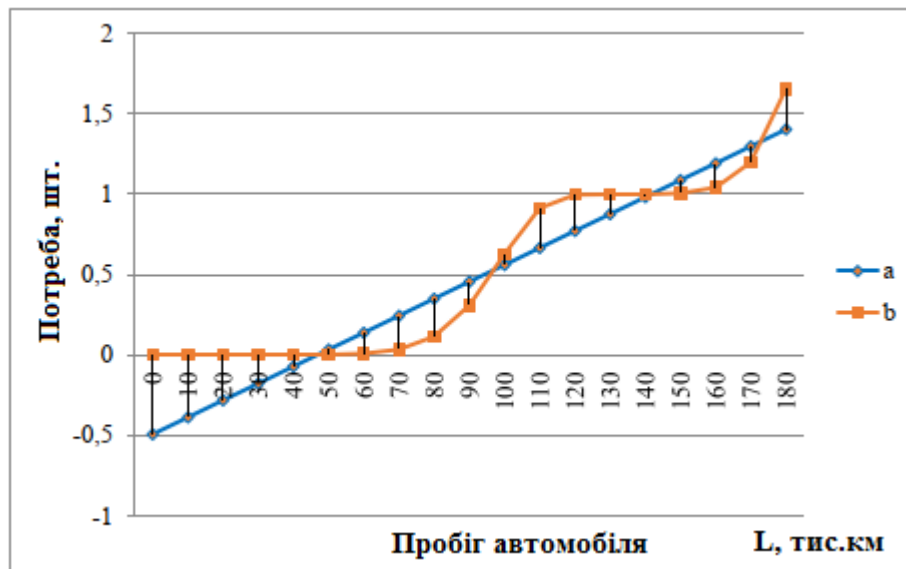


Рисунок 3.23- Потреба запчастини (елемента) E14 за провідною функцією потоку відмов

Можна бачити, що потреба в ЗЧ легкового автомобіля Audi має різну закономірність, що слід враховувати при організації роботи складу та підвищенні його ефективності.

Висновки по третьому розділу

1. Отримано статистичні характеристики експлуатаційної надійності елементів легкових автомобілів (оцінок математичного очікування та

середньоквадратичного відхилення напрацювань на відмови елементів), абсолютних та питомих витрат на запасні частини при відновленні їх працездатності.

2. Визначено закономірності розподілу відмов елементів та формування провідних функцій потоків відмов.

3. Виявлено рівень значущості впливу відмов елементів легкових автомобілів на рівень їхньої працездатності.

4. 4. Визначено номенклатуру елементів, що лімітують працездатність (або «критичних» за працездатністю) легкових автомобілів.

РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБИ КІЛЬКОСТІ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ДЛЯ МЕРЕЖІ СТО

4.1. Методика прогнозування потреби та оптимізації кількості запасних частин дилерської мережі станцій технічного обслуговування

Розглянемо методику оптимізації та прогнозування потреби у запасних частинах для дилерської мережі СТО з урахуванням економічної кон'юнктури, умов експлуатації та працездатності легкових автомобілів (рис. 4.1).

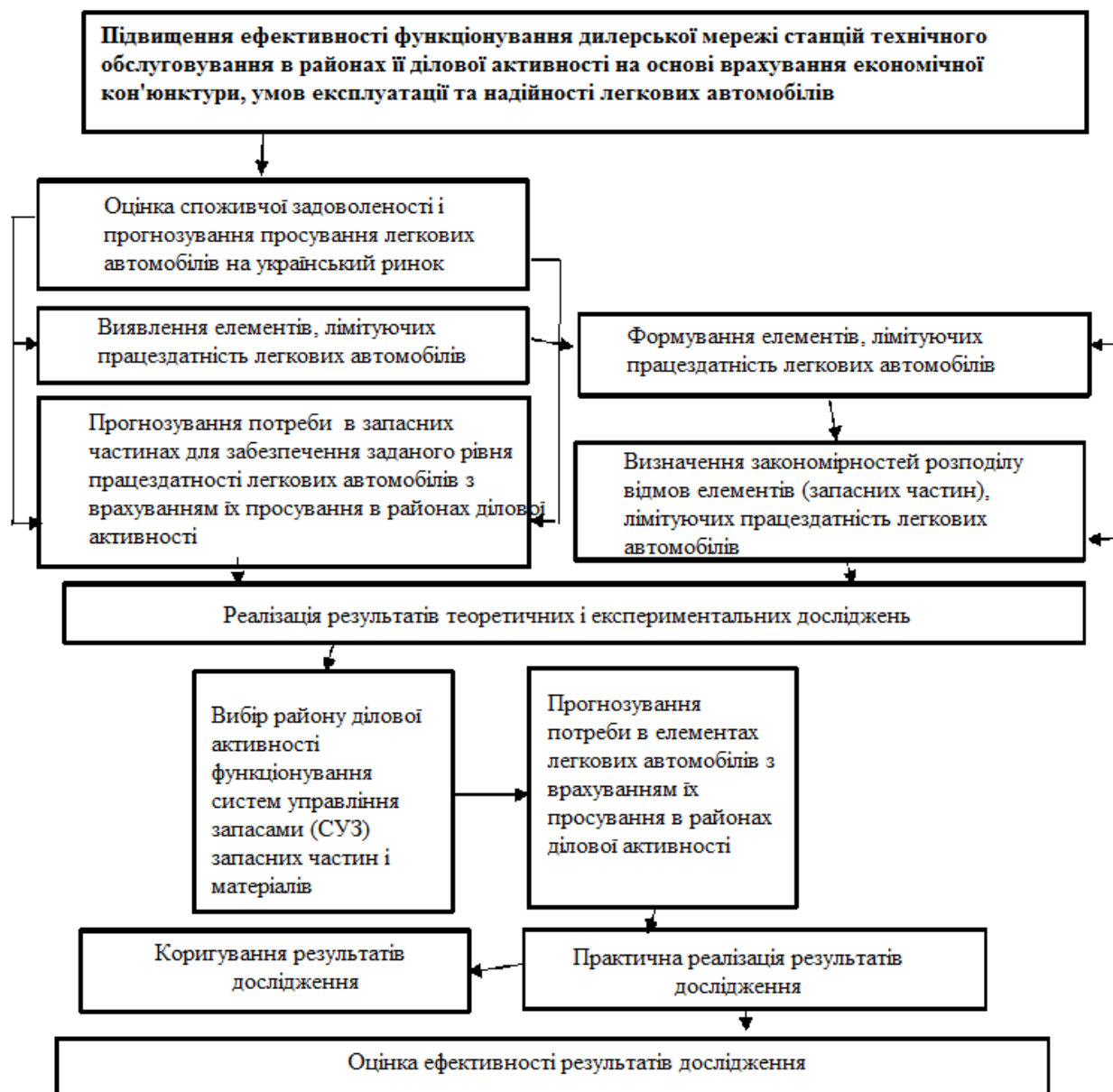


Рисунок 4.1 - Методика оптимізації та прогнозування потреби у запасних частинах для формування запасів на складах підприємств дилерської мережі СТО

Відповідно до представленої вище структурою проведення досліджень на першому етапі проведено аналіз переваг автовласниками, що пропонуються на ринок легкових автомобілів, з виділенням марок, що володіють найбільш високим рівнем задоволеності, що визначається з нормованої випадкової величини індексу задоволеності Z_i .

У процесі дослідження проведено аналіз та моделювання для прогнозування обсягів продажів легкових автомобілів $Q(t) = f(t)$ при використанні статистичних даних. Аналітичний опис прогнозу зміни обсягу продажу у вигляді тренду (на основі використання поліному (2.8)) та його верхніх та нижніх довірчих меж.

Далі слідує процедура виявлення елементів, що лімітують працездатність легкових автомобілів. Вона включає виконання низки наступних етапів.

На першому етапі з урахуванням типових відмов елементів, що виявляються, і наслідків їх впливу на працездатність ТЗ в цілому визначені рівні впливу Q_j .

На другому етапі для кожного рівня впливу (Q_j , Q_2 і Q_3) по аналізованому елементу E_i проведена бальна оцінка впливу відмов елементів на працездатність ТЗ, а також визначено загальний сумарний вплив $\Omega_{\Sigma i}$ на всі рівні Q_j .

Обробка масиву бальних оцінок $\{\Omega_{ij}\}$ для обраного варіанта шкалювання, відображеного в (1.21), дозволяє виконати оцінку математичного очікування $\bar{\Omega}$, середньоквадратичного відхилення $\sigma(\Omega)$ і коефіцієнта варіації $v(\Omega)$

$$\bar{\Omega}_i = \frac{\sum_{j=1}^m \Omega_{ij}}{m}; \quad \sigma(\Omega_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\Omega_{ij} - \bar{\Omega}_i)^2}{m-1}}; \quad v(\Omega_i) = \frac{\sigma(\Omega_i)}{\bar{\Omega}_i} \quad (4.1)$$

де i – індекс елемента легкових автомобілів;

j – індекс рівня впливу відмов елементів на працездатність легкових автомобілів;

k – індекс порядкового номера елемента легкових автомобілів, що розглядається, $k = \overline{(1, K)}$;

m – кількість рівнів впливу відмов елемента на працездатність легкових автомобілів;

n – загальна кількість аналізованих елементів, що оцінюються з позицій вимог лімітування їх працездатності.

При цьому впорядкування впливу відмов елементів працездатність легкових

автомобілів загалом здійснюється через займані місця згідно з умовою (4.2).

$$\lambda_{\Omega_i} = \begin{cases} \min \text{ для } \Omega_{\Sigma_i} \Rightarrow \max \\ \max \text{ для } \Omega_{\Sigma_i} \Rightarrow \min \end{cases} \quad (4.2)$$

На третьому етапі виявлено статистичні характеристики математичного очікування $\bar{\Omega}_{\Sigma}$ та середньоквадратичного відхилення $\sigma(\Omega_{\Sigma})$ сумарних бальних оцінок для масиву $\{\Omega_{\Sigma_i}\}, i = \overline{(1, n_Q)}$, тобто:

$$\bar{\Omega}_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{n_Q} \Omega_{\Sigma_i}}{n_Q} \quad (4.3)$$

На четвертому етапі виконано нормування $\{\Omega_{\Sigma_i}\}$ по $\sigma(\Omega_{\Sigma})$, тобто формується масив для (K_i) :

$$K_i = \frac{\Omega_{\Sigma_i}}{\sigma(\Omega_{\Sigma})} \quad (4.4)$$

На п'ятому етапі з вихідної номенклатури сукупності елементів $\{E_i\}_{i=1}^n$ обрані найбільш значущі елементи легкових автомобілів, як у небезпеці наслідків виходу з ладу, так і за витратами придбання.

Виходячи з умов накладення подій щодо показників K і M та використовуючи принцип невизначеності Лапласа (рівноймовірності впливу K та M на результуючу ознаку) визначено одночасну значущість елементів з позиції їх впливу на працездатність легкових автомобілів та витрати на їх відновлення:

$$R_i = K_i * M_i. \quad (4.5)$$

Далі визначено нижню довірчу межу $\bar{R}_Y''$:

$$\bar{R}_Y'' = \bar{R} - U_Y * \frac{\bar{R}}{\sqrt{\eta_{Ri} * n_R}} \quad (4.6)$$

де $\eta_{Ri} = \frac{\bar{R}^2}{\bar{\sigma}^2(R)}$ - є параметрами форми розподілу показника R_i що враховує одночасно, згідно (4.5) пронормовані значення K_i і M_i :

$$\eta_{Ri} = \frac{\bar{R}^2}{\bar{\sigma}^2(R)}, \quad (4.6)$$

Остаточню, після обчислень, відібрано елементи, що лімітують працездатність, згідно наступних умов:

$$R_i \geq \bar{R}_Y'' , \quad (4.8)$$

$$n_R \leq \begin{cases} n_K = n_M \\ n_K \neq n_M \end{cases} \quad (4.9)$$

Зазначимо, що даним умовам відповідають оцінки найбільш "критичних" елементів легкових автомобілів, що лімітують працездатність.

1. Визначено потребу у запасних частинах для легкових автомобілів з урахуванням їхнього просування у районах ділової активності даного підприємства.

2. Практична реалізація математичної моделі прогнозування норм витрати B_a загальної витрати W_a на інтервалі пробігу ΔL , а також сумарних втрат $\overline{S}_\alpha(\Delta L)$ в залежності від заданого рівня α , що відображає ймовірність відсутності простоїв через брак запасних частин.

Представлена на наведених нижче графіках 4.1 і 4.2 на прикладі елемента Е9. На рис. 4.1. і 4.2 представлена практична реалізація оцінки норми запаса запасних частин на складі ТОВ «БОІНГ АВТО».

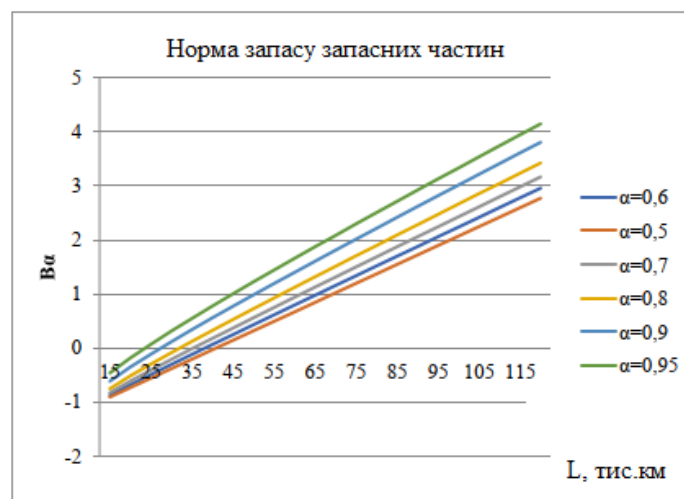


Рисунок 4.2 – Оцінка норми запасу запасних частин

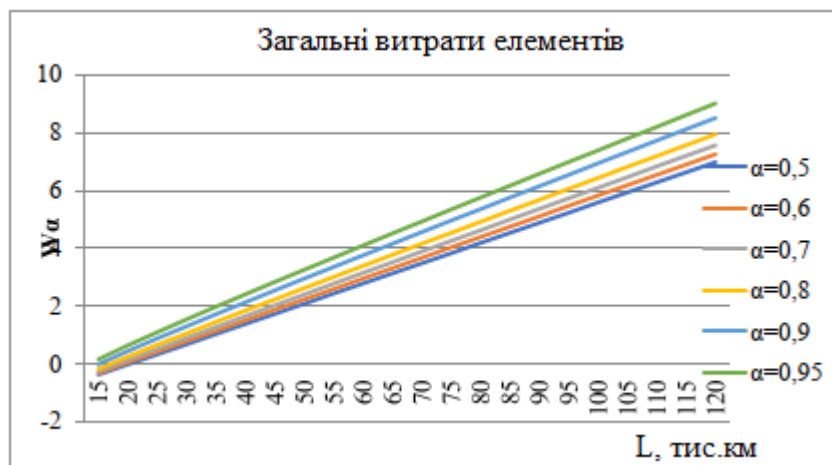


Рисунок 4.3 Оцінка загальної витрати елементів

Характер зміни загальних середніх втрат для дистриб'ютора та приватного власника $\bar{S}_\alpha \text{ ч. вл. } (\Delta L)$ або легкових автомобілів працюючого в режимі таксі та дистриб'ютора $\bar{S}_{\alpha\tau}(\Delta L)$ для заданої ймовірності відсутності простою α в аналізованому інтервалі пробігу ΔL для прикладу елемента Е9 на Рис. 4.3 дано відповідні графічні відображення.

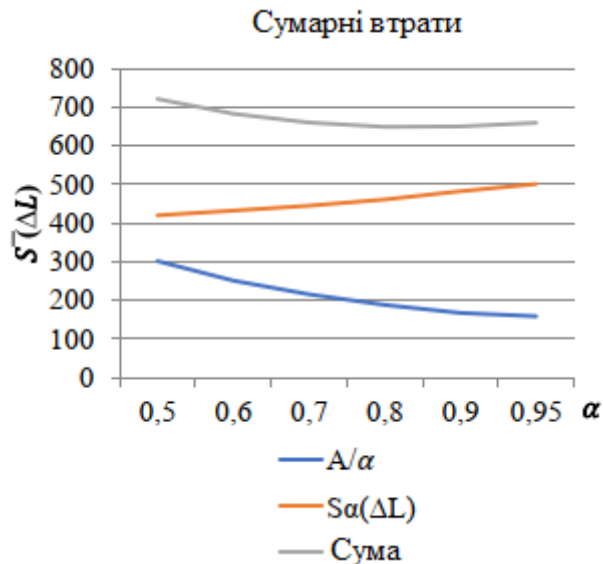


Рисунок 4.4 – Оцінка сумарних втрат дилерської мережі СТО

Все це свідчить, що представлена модель дозволяє цілеспрямовано підійти до прогнозування потреб у частинах для легкових автомобілів з урахуванням їхнього просування в районах ділової активності в рамках функціонування дилерської мережі СТО.

4.2 Оцінка обсягу запасних частин дистриб'юторської системи, що взаємодіє з мережею дилерських СТО

Річний обсяг запасних частин дистриб'юторської системи (На прикладі Е9).

Інтервал 1 рік $\Delta L = 20$ т.км/рік

$$\Omega_n(\Delta L) = 0,7; \alpha_{opt} = 0,7$$

$$W_\alpha(\Delta L) = 1,48852 \approx 1,489$$

$$\text{Втрати} \Rightarrow A = D_{пр} \cdot \Pi(D_{пр}) \cdot \Omega_n(\Delta L) \cdot \frac{1}{\alpha} = 107,76$$

$$S_{\alpha}(\Delta L) = 445,55$$

$$S_{\alpha} = S_{\Sigma}(\Delta L) = 553,32$$

Розрахунок оптимального значення при $\alpha = 0,5 \dots 0,95$ представлений у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок оптимального значення обсягу запасів запасних частин дистриб'юторської системи

Показник	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,7$	$\alpha = 0,8$	$\alpha = 0,9$	$\alpha = 0,95$
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
A/α	150,86206	125,718	107,758	94,2887	83,8122	79,4010
$S_{\alpha}(\Delta L)$	420,31523	432,423	445,564	461,152	483,027	501,503
Сума	571,17730	558,141	553,323	555,441	566,839	580,904

Графічне відображення даних таблиці 4.1 наведено на Рис. 4.5.

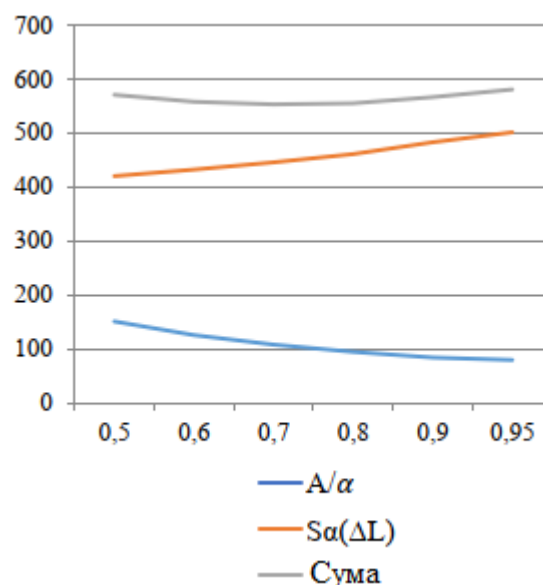


Рисунок 4.5 – Обсяг запасів запасних частин дистриб'юторської системи (на рік) M_{get}

$$\bar{Q}(t)_{2023} = 25 \cdot 10^3 \quad \bar{Q}(t)_{2023} = 30 \cdot 10^3 - \text{середня межа}$$

$$Q^B(t)_{2023} = 27,5 \cdot 10^3; \quad Q^B(t)_{2023} = 32,5 \cdot 10^3 - \text{верхня межа}$$

$$Q^H(t)_{2023} = 22,5 \cdot 10^3; \quad Q^H(t)_{2023} = 27,5 \cdot 10^3 - \text{нижня межа}$$

$$M_{get} = d_t \cdot \bar{Q}_t \cdot W_{\alpha}(\Delta L) = \begin{cases} 2021\text{г.} \rightarrow 0,3 \cdot 25 \cdot 10^3 \cdot 1,489 = 11168 \\ 2023\text{г.} \rightarrow 0,3 \cdot 30 \cdot 10^3 \cdot 1,489 = 13401 \end{cases}$$

$$M_{get}^B = d_t \cdot Q_t^B \cdot W_{\alpha}(\Delta L) = \begin{cases} 2021\text{г.} \rightarrow 0,3 \cdot 27,5 \cdot 10^3 \cdot 1,489 = 12284 \\ 2023\text{г.} \rightarrow 0,3 \cdot 32,5 \cdot 10^3 \cdot 1,489 = 14518 \end{cases}$$

$$M_{get}^H = d_t \cdot Q_t^H \cdot W_{\alpha}(\Delta L) = \begin{cases} 2021\text{г.} \rightarrow 0,3 \cdot 22,5 \cdot 10^3 \cdot 1,489 = 10051 \\ 2023\text{г.} \rightarrow 0,3 \cdot 27,5 \cdot 10^3 \cdot 1,489 = 12284 \end{cases}$$

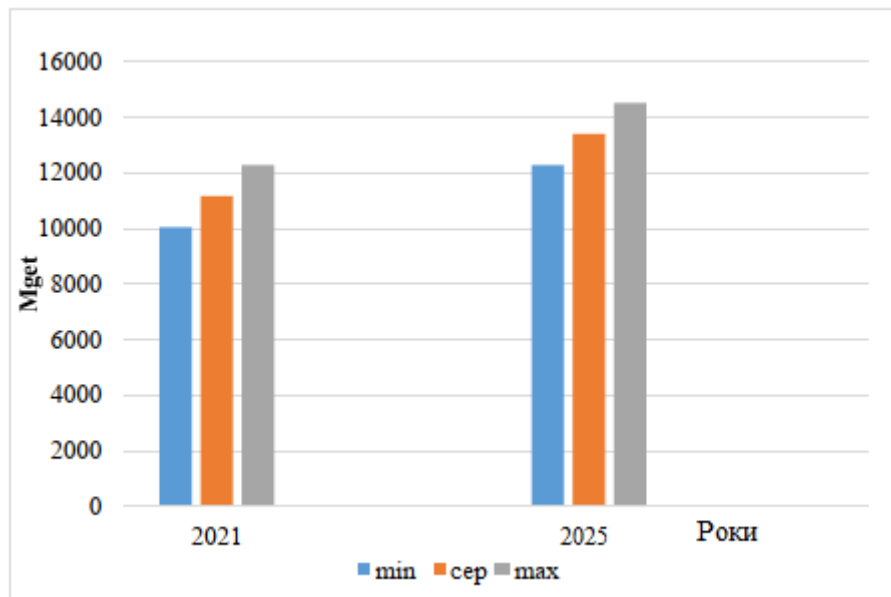


Рисунок 4.6 – Прогноз необхідного обсягу запасів запасних частин дилерської мережі

Отримані результати дозволили об'єктивно підійти до кінцевої розробки рекомендацій по оптимізації потреби в запасних частинах критичних за працездатністю у межах дилерської мережі СТО.

Висновки по четвертому розділу

1. Розроблено методику оптимізації потреби в запасних частинах критичних за працездатністю в рамках дилерської мережі СТО з урахуванням економічної кон'єктури, умов експлуатації, інтенсивності та працездатності легкових автомобілів.

2. Проведено оцінку ефективності та практичної значущості впровадження методики, використання якої уможливорює зниження витрат та втрат на підтримку працездатності автомобілів як для власників автомобілів, так і для дилерських сервісних центрів у діапазоні від 10 до 16,2 %.

3. При цьому зниження потенційних втрат клієнтів, які користуються послугами автосервісу, при зміні ймовірності відсутності очікування α становить до 47,8%. Це у свою чергу дозволить суттєво підвищити продуктивність та ефективність дилерського обслуговування.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено методику прогнозування динаміки продажів із кластеризацією та виділенням легкових автомобілів з найбільшим індексом споживчої задоволеності (від 84,7),.
2. Проведено аналіз інформації про динаміку інтенсивності експлуатації та показників експлуатаційної надійності з виявленням якісних та кількісних показників.
3. Виявлено елементи, критичні за рівнем працездатності, що дозволило сформулювати функцію потоку відмов елементів для відібраних легкових автомобілів. Середнє напрацювання на відмову елементів, що лімітують працездатність досліджуваних легкових автомобілів, склало 63 тис.км.
4. Розроблено методику прогнозування потреби та оптимізації кількості запасних частин, проведено оцінку ефективності її функціонування для обраних елементів легкових автомобілів з урахуванням динаміки просування їх на ринку та прогнозованих тенденцій у зміні економічної кон'юнктури.
5. Розроблено математичну модель прогнозування потреби у запасних частинах, адекватність моделювання становить 91,8%. Розроблено результуючий показник значущості елементів R_i з позиції їх впливу на працездатність та витрати на відновлення.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки для виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою "Транспортні технології (автомобільний транспорт)" / [уклад. : В. В. Аулін, А. В. Гриньків, С. В. Лисенко та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. експлуатації та ремонту

2. Аулін В.В., Голуб Д.В., Замуренко А.С., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Дьяченко В.О. Теоретичний системно-спрямований підхід до визначення інтегрального показника ефективності реалізації операцій в транспортних системах // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2021. Вип. 4(35). С.232-247.

Режим доступу: <http://www.kntu.kr.ua/?view=science&id=60>

3. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень / В. В. Аулін, Д. В. Голуб, В. В. Біліченко, А. С. Замуренко // Вісник машинобудування та транспорту. - Вінниця : ВНТУ, 2020. - № 1(11). - С. 4-10.

Режим доступу: <https://vmt.vntu.edu.ua/index.php/vmt/article/view/187>

4. Аулін В.В. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК / В.В. Аулін, Д.О. Великодний, В.О. Дьяченко // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.8-11.

Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2018_62_3

5. Методологія оптимізації транспортних технологій: метод. рекомендації до практ. занять для здобувачів вищої освіти другого (освітнього) рівня спеціальності 275 – Транспортні технології / уклад. : В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків, А.О. Головатий; М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 68 с.

6. Управління транспортними системами: метод. рекомендації до практ. занять для здобувачів вищої освіти другого (освітнього) рівня спеціальності 275 – Транспортні технології / уклад. : В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків, А.О.

Головатий; М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 56 с.

7. Плекан У.М., Ляшук О.Л., Аулін В.В., Цьонь О.П., Матвіїшин А.Й. Логістична стратегія автотранспортного підприємства. Організаційні аспекти формування Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 6(37) ч.ІІ. С.75-82.

Режим доступу: http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/37_II/37_II_Plekan.html

8. Аулін В. В., Лисенко С. В., Гриньків А. В., Голуб Д. В., Головатий А. О. Логістика постачання транспортних і виробничих підприємств, фірм, компаній: Навчальний посібник під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2022. – 325 с.

Режим доступу: <http://www.kntu.kr.ua/?view=article&id=825>

9. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Голуб Д.В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем / монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 503 с.

Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/11251>

10. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В. В. Аулін, А. В. Гриньків, А. О. Головатий [та ін.] ; під заг. ред. В. В. Ауліна. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. - 428с.

Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10540>

11. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Чернай А.Є., Голуб Д.В., Головатий А.О. Теоретичне обґрунтування управління функціонуванням технічними та транспортними системами на основі методів системної теорії інформації // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2021. Вип. 4(35). С.178-189.

Режим доступу: <http://www.kntu.kr.ua/?view=science&id=60>

12. Аулін В.В. Критерії реалізації процесів забезпечення та підвищення надійності і ефективності функціонування транспортних систем / В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк:

Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.12-16.

13. Горяїнов О.М. Транспортні технології і логістика. Книга 1. Теорія і практика дисципліни «Вантажні перевезення» (для транспортних технологів): Підручник. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2013. – 490 с.

14. Савченко, Л.В. Взаємодія видів транспорту : навч. посіб. - К. : НТУ, 2010.- 96 с

15. І.Г. Смирнова, Т.В. Косарева. Транспортна логістика. Навчальний посібник. Київ, центр учбової літератури, 2008 рік., 220с.

16. Алькема В.Г., Сумець О.М. Логістика. Теорія та практика. Навчальний посібник. - К.: «Видавничий дім «Професіонал», 2008. - 272с.

17. Кальченко А.Г. Логістика: Підручник. - Вид. 2-ге, без змін. - К.:КНЕУ, 2006. - 284с.

18. І.М. Сокур, Л.М. Сокур, В.В. Герасимчук. Транспортна логістика. Навчальний посібник. Київ, центр учбової літератури, 2009 рік., 220с.

19. Крикавський Є. Логістика. Основи теорії: підручник. Львів: НУ «Львівська політехніка» (Інформаційно-видавничий центр «ІНТЕЛЕКТ+» Інституту післядипломної освіти); «Інтелект-Захід», 2004. 416с.

20. Горбачов П.Ф. Основи теорії транспортних процесів і систем :навчальний посібник / П.Ф. Горбачов, Н.В. Пономарьова, Є.В. Любий, Т.В.Волкова. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 192 с.