

Центральноукраїнський національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України

Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Лівіцький Олександр Миколайович

УДК.621.129: 631.362

ДИСЕРТАЦІЯ
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ
ЕЛЕМЕНТНО-МОДУЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту
(27 - Транспорт)

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело _____ О.М. Лівіцький.

Науковий керівник: Аулін Віктор Васильович, доктор технічних наук, професор

Кропивницький – 2021

АНОТАЦІЯ

Лівіцький О. М. Підвищення надійності автотракторної техніки елементно-модульною системою технічного обслуговування і ремонту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту (Галузь знань 27 - транспорт). – Центральноукраїнський національний технічний університет МОН України. – Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П.Василенка МОН України, Харків, 2021.

Дисертаційна робота виконана відповідно до Національної програми розвитку агропромислового виробництва і соціального відродження села України на 1999-2010 рр, розробленої згідно розпорядження Президента України від 1.12.1998 р., ЗУ "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки" із змінами, внесеними згідно із Законом №3421-IV (3421-15) від 09.02.2006, ВВР, 2006, №22, ст.199, згідно стратегічних пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні на 2007-2012 рр. та 2011-2020рр., а саме - новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромислового комплексу; планів науково-дослідних робіт ЦНТУ за тематикою "Прогнозування експлуатаційної надійності автомобілів для забезпечення якісних транспортних послуг" (№ 0116U008110); "Підвищення надійності транспортних засобів управлінням їх технічним станом" (№ 0116U008055); "Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві" (№ 0116U008111); "Прогнозування технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів на основі отриманої електронної діагностичної інформації про їх технічний стан." (№ 0116U008132).

Метою роботи є підвищення надійності автотракторної техніки шляхом удосконалення підходів технічного сервісу на основі елементно-модульної системи організації виробництва з їх технічного обслуговування і ремонту на підприємствах агропромислового виробництва.

Для здійснення зазначеної мети вирішувалися наступні завдання:

- проаналізувати умови роботи АТТ та можливості зміни її технічного стану в залежності від умов та організації системи ТО і Р підчас її експлуатації;

- теоретично описати ймовірнісну природу зміни технічного стану АТТ з врахуванням показників надійності та діагностичних параметрів;

- на основі закономірностей зв'язку діагностичних параметрів технічного стану і надійності АТТ розробити показник оцінки встановлення раціональної періодичності реалізації операцій її технічного сервісу;

- дати теоретичне обґрунтування можливості управління надійністю АТТ при реалізації елементно-модульної системи її ТО і Р;

- з'ясувати основні методи визначення технічного стану систем та агрегатів АТТ при контролі діагностичних параметрів та оцінці показників надійності під час її експлуатації;

- провести експериментальні дослідження можливості підвищення надійності АТТ елементно-модульною системою її технічного сервісу в експлуатації та дати техніко-економічне обґрунтування розробленим заходам і запропонувати рекомендації для їх впровадження.

Об'єкт дослідження – процеси контролю та управління технічним станом автотракторної техніки під час експлуатації.

Предмет дослідження – закономірності зміни діагностичних параметрів систем та агрегатів автотракторної техніки з розробкою елементно-модульної системи технічного сервісу для підвищення їх надійності.

Методи дослідження. У теоретичних дослідженнях використовувалися методи теорії ймовірностей, теорії надійності, ймовірнісно-статистичні методи дослідження марківських процесів і методи техніко-економічного аналізу та моделювання. Експериментальні дослідження проводилися при використанні методів формування та обробки експериментальних даних. Обробка основних результатів виконувалася на ПК за допомогою системи аналітичних обчислень та пакетів прикладних програм.

Теоретично обґрунтовано, що технічний стан елементів АТТ можливо визначати вектором діагностичних параметрів, отриманих в певний момент часу на конкретному рівні діагностування, а одиниці техніки, модулі та парк машин в цілому – матрицею при безперервному спостереженні на певному проміжку часу. Визначено, що для забезпечення системи управління технічним станом елементів та АТТ в цілому параметри діагностичної інформації подаються у вигляді випадкових функцій та мають певний діапазон реалізацій.

Управлінням технічного стану елементів АТТ можливо оцінити їх експлуатаційну надійність за зміною сукупності діагностичних параметрів. Показано реалізацію виконання технічних дій у відповідний момент часу (напрацювання) на основі випадкової функції зміни їх діагностичних параметрів, детермінована частина яких описує величини граничного, міжремонтного та залишкового ресурсів силових агрегатів АТТ з врахуванням найбільш істотних чинників.

Показано, що збільшенням ймовірності встановлення діагнозу елементів та знаходженням альтернативи прогнозуванню за середньостатистичними значеннями діагностичних параметрів відкривається можливість управління технічним станом систем і агрегатів АТТ.

За допомогою розміченої схеми стану силового агрегату АТТ встановлено залежність ймовірності його перебування в робочому стані на етапах життєвого циклу, з урахуванням інтенсивності відмов, відновлення та проходження технологічних операцій ТО і Р. Отримано формули для оцінки усереднених значень залишкових ресурсів та після проведення ТО1, ТО2 та ТО3 (для тракторів) до КР, а також оцінки коефіцієнтів технічної готовності та технічного використання модулів парку АТТ підприємств АПВ.

Визначено, що згідно запропонованого елементно-модульного підходу одиницю парку АТТ потрібно розглядати у вигляді інформаційної системи, а її ресурсовизначальні системи і агрегати виділити як окремі елементи, що мають свою номенклатуру діагностичних параметрів. Розроблено алгоритм оцінки ефективності реалізації діагностичних параметрів для елементів АТТ під час їх експлуатації. Сформовано процедуру відбору діагностичних параметрів за інформаційно-статистичним критерієм. Проаналізовано методи та необхідне обладнання для визначення параметрів технічного стану елементів та модулів парку АТТ, відібрано ряд методів, що потрібні для дослідження парку АТТ і які адекватно відображають їх технічний стан під час експлуатації. На основі розроблених алгоритмів запропоновано здійснювати прогнозування технічного стану парку АТТ та уточнювати систему їх технічного сервісу під час експлуатації.

Визначено, що технічний стан агрегатів АТТ, що експлуатується на агропідприємствах Кіровоградської області, в значній мірі визначається конкретними умовами господарювання: існуючим парком машин; наявністю кваліфікованого, досвідченого персоналу; ремонтно-обслуговуючою базою; загальним фінансовим станом та іншими факторами. Кількість відмов I та II-ї групи складності при застосуванні планово запобіжної системи ТО і Р знаходиться в майже прийнятних межах, а стосовно III-ї групи існує значне перевищення. Спостерігається підвищення відмов III-ї групи більше ніж у 2 рази у випадку експлуатації морально застарілої техніки. Визначено, що парк АТТ підприємств АПВ Кіровоградської області в середньому складає машини вік яких більше 5...15 років. Це обумовлює необхідність розробки та впровадження нових систем технічного сервісу.

Показано, що силові агрегати першочергово потребують втручання в систему технічного сервісу та реалізації елементно-модульної стратегії для АТТ. Визначено порядок формування діагностичних параметрів контролю технічного стану та показників надійності силових агрегатів, сформовано матриці технічних станів ЦПГ, визначено значення середньої ймовірності відмов та інформативність діагностичних параметрів, виявлено закономірність зміни компресії в циліндрах дизеля під час експлуатації. Для системи змащення дизелів сформовано матрицю технічних станів,

визначено кількість відмов дизелів сімейства КамАЗ та John Deer на різних інтервалах напрацювання, а також значення показників інтенсивності відмов елементів та інформативності діагностичних параметрів. Побудовані математичні моделі: вмісту механічних домішок в робочій оливі, температури спалаху, лужного числа для сімейств КамАЗ і John Deer від напрацювання.

Технічний стан трансмісії парку АТТ досліджували за станом коробки перемикачів передач та головної передачі, розроблено матрицю технічних станів, визначено кількість та інтенсивність відмов елементів трансмісії АТТ сімейства КамАЗ і John Deer з напрацюванням, а також інформативність діагностичних параметрів контролю технічного стану трансмісії. Побудовано регресійні математичні моделі вмісту механічних домішок в робочій оливі, діелектричної проникності, лужного числа трансмісійної оливи від напрацювання АТТ та дано графічну інтерпретацію.

Розроблено алгоритм проведення робіт по управлінню технічного стану АТТ на підприємствах АПВ за планово-запобіжною та елементно-модульною системами з урахуванням кваліфікації виконавців, категорії несправності, стратегії, імовірної похибки, повноти виконання і не виконання робіт ТО та усунення відмов.

На основі реалізації елементно-модульної системи ТО і Р дано напрацювання і перелік діагностичних параметрів їх значення, рівень ймовірності нормальної експлуатації та напрацювання до проведення контролю та ТО для дизелів та трансмісій АТТ сімейства КамАЗ і John Deer. Визначено, що для АТТ КамАЗ 740 термін ТО₂ потрібно зменшити на 9,3 %, щоб забезпечити його експлуатаційну надійність більше рівня 0,9, а обслуговування трансмісії АТТ сімейства КамАЗ можливо збільшити - на 3,4 % відповідно. Визначено, що для елемента АТТ John Deere PowerTech 9,0 l Stage II термін ТО₂ можна збільшити за напрацюванням на 16,1 %, а для трансмісії - потрібно обслуговувати раніше на 8 % напрацювання. Дані розрахунки є ефективними для всього сформованих модулів досліджуваного парку АТТ.

Виявлено, що динаміка зміни показників моторної оливи при елементно-модульній системі є кращою від планово-запобіжної системи, а збільшення терміну напрацювання при елементно-модульній системі ТО і Р, виходячи зі зміни діагностичних показників, складає 20 %. Жорстка регламентація виконання операцій у планово-запобіжній системі зменшує оперативне реагування на зміну технічного стану, а при елементно-модульній системі ТО і Р – комплекс операцій при підтримці працездатного стану АТТ виконується згідно її фактичного стану у нерегламентовані терміни, тобто по необхідності.

Визначено, що проведення адаптивних ТО і Р збільшує ймовірність безвідмовної роботи систем і агрегатів в межах 91...95 %. Показано, що при планово-

запобіжній системі ТО і Р ймовірність безвідмовної роботи силових агрегатів сімейств КамАЗ і John Deer АТТ, для досліджуваних господарств, нижче на 6,7...14,3 % у порівнянні з елементно-модульною системою ТО і Р. Коефіцієнт готовності при елементно-модульній системі ТО і Р вищий у 1,12...1,32 рази у порівнянні з реалізацією планово-запобіжної системи ТО і Р. Сформульовані рекомендації, щодо поліпшення технічного стану АТТ та виконання робіт ТО для тракторів в системі управління технічним станом агрегатів при елементно-модульній системі ТО і Р. Показано, що запропонована елементно-модульна система ТО і Р експлуатації АТТ, на основі прогнозування їх технічного стану на СТОВ "Хуторське" та ТОВ "Агрофірма Колос" при підвищенні надійності парку машин, дозволить отримати чистий прибуток у розмірі 377,3 тис. грн, з можливістю зниження вартості робіт на 8,5...11,2 %.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розв'язанні науково-технічного завдання підвищення надійності АТТ та подальшому розвитку підходу формування стратегії технічного сервісу у напрямку елементно-модульної системи, що на відміну від попередньо відомих враховує приріст діагностичних параметрів, їх інформативність та взаємозв'язок з показниками надійності систем та агрегатів АТТ під час експлуатації.

Вперше:

- запропоновано формувати функцію технічного стану парку АТТ у вигляді матриці діагностичних параметрів, що дає можливість більш детально розділяти окремі агрегати і автотракторну техніку на модулі, для яких в подальшому максимально ефективно розробляється система їх ТО і Р;

- обґрунтовано елементно-модульний підхід покращення технічного стану АТТ на основі приросту ресурсовизначальних діагностичних параметрів, що дає можливість управляти рівнем її надійності за рахунок оперативного встановлення операцій ТО і Р.

Удосконалено метод встановлення періодичності ТО з можливістю прогнозування технічного стану АТТ, що обумовлює зменшення експлуатаційних витрат на парк різномарочних машин та збільшення ефективності її використання в жорстких умовах експлуатації.

Одержали подальший розвиток закономірності взаємозв'язку показників надійності АТТ з діагностичними параметрами, які дають можливість управляти технічним станом підвищувати надійність та удосконалити систему ТО і Р.

Практичне значення отриманих результатів.

Ґрунтуючись на отриманих закономірностях та результатах експериментальних досліджень, технічного стану АТТ при реалізації елементно-модульної системи її ТО і Р, вдалося досягти збільшення ресурсу в 1,13-1,26 раз парку машин під час

експлуатації. Розроблені алгоритми раціональної обробки діагностичної інформації елементів (систем і агрегатів) АТТ дали можливість більш точно визначати технічний стан та зменшити їх відмови в 1,29-1,36 разів, що створило оптимальні умови для збільшення ймовірності безвідмовної роботи.

Результати досліджень прийняті до впровадження на підприємствах СТОВ "Хуторське", ТОВ "Агрофірма Колос" та ТОВ "АТП-2004" при організації технічного сервісу їх парку АТТ та управлінні технічним станом під час експлуатації. Основні положення та результати дисертаційної роботи використовуються при підготовці фахівців за спеціальностями 274 "Автомобільний транспорт" та 275 "Транспортні технології (автомобільний транспорт)", 133 "Галузеве машинобудування".

Ключові слова: дизель, трансмісія, автотракторна техніка, діагностичний параметр, надійність, технічний сервіс, елемент, модуль, парк машин.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У фахових виданнях

1. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М. Транспортні засоби в агропромисловому комплексі та система діагностичного моніторингу їх технічного стану. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2007р. Вип.37. Ч.1. С. 146-154.

2. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Жулай О.Ю. Стан проблеми підвищення ефективності технічного сервісу СГТ в нових умовах господарювання. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2007р. Вип.37. Ч.2. С. 158-162.

3. Аулін В.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Лисенко В.М. Прогнозування довговічності СГТ на основі ресурсної механіки. *Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. 2007. №76(99). С 19-23.

4. Аулін В.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М. Керування зносним станом деталей ДВЗ при триботехнічному відновленні з реалізацією ефекту самоорганізації. *Вісник інженерної академії України*. 2008. №1. С. 106-109.

5. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М., Барановський Д.М. Порівняльний аналіз технічного стану дизелів засобів транспорту в АПК при планово-попереджувальній та адаптивній стратегії ТОР. *Науковий вісник Луганського нац. аграр. університету. Серія: Технічні науки*. 2009. №2. С. 5-8.

6. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Інформаційне забезпечення в системі технічного сервісу, діагностичного моніторингу та охорони праці в с/г виробництві. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2009 р. Вип.39. С. 287-291.

7. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Концепція управління технічним станом і безпекою експлуатації транспортних засобів сільськогосподарського виробництва.

Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. 2010. №6(148). С. 173-177.

8. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Голуб Д.В. Вплив стратегій технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської техніки на її стан, умови і охорону праці операторів. *Вісник Житомирського національного аграрно-екологічного університету: науково-теоретичний збірник.* 2014. Вип. № 2 (45), т.4, ч.ІІ. С. 37-50

9. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація.* 2016. Вип. 29. С.2-12.

10. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Головатий А.О., Дьяченко В.О. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Technical service of agriculture, forestry and transport systems.* 2020. №22. С. 162 - 174.

11. Лівіцький О.М. Вдосконалення технічного сервісу автотракторної техніки в умовах агропромислового виробництва. *Вісник Центральноукраїнського національного технічного університету.* 2021. Вип. 4(35). С 36 - 45.

У закордонних виданнях

12. Аулін В.В., Жулай А.Ю., Ливицький А.Н., Барановский Д.М. Экспериментальная проверка системы диагностического мониторинга технического состояния дизелей транспортных средств. *Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения профессора Вадивасова Д.Г.:* ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". Саратов, 2009. С.5-10.

13. Аулін В.В., Ливицький А., Замота О., Гриньків А. Повышение эффективности использования мобильной сельскохозяйственной техники на предприятиях АПК. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture.* 2016. Vol.18. No.2. P. 117-122.

Матеріали та тези конференції

14. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Голуб Д.В., Жулай О.Ю. Прогнозування потреб в послугах ТО і ремонту за технічним станом двигунів. *Актуальні проблеми та наукові звершення молоді на початку третього тисячоліття.:* матеріали тез І Всеукраїнської наукової конференції студентів, магістрантів, аспірантів і докторантів, 12-14 лист. 2008р. Луганськ: "Елтон-2", 2008. С. 257–261.

15. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Система трибомоніторингу технічного стану МСГТ – інженерно-технічне рішення її безпеки. *Суднова енергетика: стан та*

проблеми: матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, науковців та фахівців. Миколаїв: НУК, 2009. С. 182-184.

16. Аулін В.В., Ігнатенко С.Г., Лівіцький О.М., Долинський М.О., Діагностичний моніторинг технічного стану дизелів транспортних засобів у с/г виробництві. *Молодежь и с/х техника в XXI веке*: матеріали VI-го междунар. форуму молодежи. Харків: ХНТУСХ. 2010. С. 94.

17. Аулін В.В., Кузик О.В., Лівіцький О.М., Лисенко С.В. Обґрунтування зміни режимів тертя в ЦПГ. *Молодежь и с/х техника в XXI веке*: матеріали VI-го междунар. форуму молодежи. Харків: ХНТУСХ. 2010. С. 122.

18. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Системно-адаптивна концепція охорони праці операторів транспортних засобів сільськогосподарського виробництва. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с/г техніки*: матеріали IX-ї Міжнар. наук.-практ. конф., Кіровоград: КНТУ, вип. 1. 2013. С. 214-216.

19. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Статистичний метод розрахунку показників аварійних станів транспортних засобів і транспортного травматизму. *Підвищення надійності машин і обладнання*: збірник тез доповідей VIII Всеукр. науково-практичної конференції студентів та аспірантів, Кіровоград: КНТУ, 2014. С. 171-175.

20. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лівіцький О.М. Дослідження технічного стану системи транспортних засобів "агрегат-олива". *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII міжнародна науково-практична конференція 19-21 жовтня 2015 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 16-19.

21. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лівіцький О.М. Підвищення надійності мобільної та автотранспортної техніки сільськогосподарського виробництва на основі діагностики їх стану. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки*: матеріали X Міжнар. наук.-практичної конференції, Кіровоград: КНТУ, 2015. С.163-164.

22. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лівіцький О.М. Математичний апарат для оцінки діагностичних параметрів та визначення оптимальної їх кількості. *Автомобіль і електроніка. сучасні технології*: матеріали IV міжнародної науково-технічної інтернет-конференції, 17-19 листопада 2015 р., Харків, Україна, 2015. С. 126-128.

23. Аулін В.В., Замота Т.М., Гриньків А.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Перспективність впровадження системи технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки з елементами прогнозування. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації*

сільськогосподарської техніки: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції, Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 245-246.

24. Аулін В.В., Замота О.Н., Ливицький А.Н. Влияние системы технического обслуживания и ремонта на себестоимость грузовых перевозок в сельскохозяйственном производстве. *Крамаровські читання*: зб. тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції, 22-23 лют. 2018 р., м. Київ / НУБіП. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2018. С. 112-115.

25. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Вплив надійності сільськогосподарської та транспортної техніки на оптимальний термін її служби. *Крамаровські читання*: збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції, 21-22 лют. 2019 р., м. Київ. НУБіП. 2019. С. 83-86.

26. Аулін В.В., Панков А.О., Гриньків А.В., Лівіцький О.М., Щеглов А.В. Автоматизація робочих процесів засобів механізації застосуванням розподілених систем управління. *Сучасні проблеми землеробської механіки*: матеріали XXI Міжнародної наукової конференції, Харків: ХНТУСГ. 2020. С.18-19.

27. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Гриньків А.В., Кернус Р.О. Інтелектуальні елементи експертних систем в галузі транспорту і виробництва. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: Збірник наукових матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет конференції, ЦНТУ м.Кропивницький, Україна, 18-19 листопада 2020р. С.151-161.

28. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Гриньків А.В., Головатий А.О., Лисенко С.В. Роль інтелектуальних інформаційних систем у транспортних і виробничих підприємствах та їх класифікація. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: збірник наукових матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет конференції, ЦНТУ м.Кропивницький, Україна 18-19 листопада, 2020 р. С. 167-173.

29. Аулін В.В., Слонь В.В., Лівіцький О.М., Гриньків А.В., Артюх Є.Г. Удосконалення методів і засобів діагностування системи змащення силових агрегатів транспортних засобів. *Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines processes and systems*: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, 14-16 квітня 2021 р. Кропивницький: ЦНТУ. С. 169-174.

30. Системно спрямований підхід до формування інтелектуальної системи технічного сервісу. *Крамаровські читання*: збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції 25-26 лютого 2021 р. м. Київ/НУБіП. – К.: Видавничий центр НУБіП Україна, 2021. – С. 25-32.

Патенти

31. Спосіб експрес-діагностики вмісту води в працюючій моторній оливі: пат. 44523 Україна: МПК(2009) С102М 177/00. №u200903237; заявл. 06.04.2009; опубл. 12.10.2009; Бюл.№ 19.

32. Спосіб автоматичного керування зносом деталей двигуна внутрішнього згорання: пат. 45786 Україна: МПК(2009) F01М 9/00 №u200906111; заявл. 15.06.2009; опубл. 25.11.2009; Бюл.№ 22.

33. Спосіб керування двигуном внутрішнього згорання: пат. 50669 Україна: МПК(2009) F02В 1/00. №u200911039; заявл. 02.11.2009; опубл. 25.06.2010; Бюл.№12.

34. Спосіб керування зносом трибосполучень деталей: пат. 69658 Україна: МПК(2012.01) F01М 7/00. В23Н 5/00. №u201112126; заявл. 17.10.2011; опубл. 10.05.2012; Бюл.№ 9.

ABSTRACT

Livitskyi O.M. Increasing the reliability of automotive vehicles by element-modular system of maintenance and repair. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the scientific degree of the candidate of technical sciences (PhD) in specialty 05.22.20 "Operation and repair of vehicles " (274 – Automobile transport). – Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation was performed in accordance with the National Program for the Development of Agricultural Production and Social Revival of Rural parts of Ukraine for 1999-2010, developed in accordance with the order of the President of Ukraine dated 1.12.1998, the Law "On Priority Areas of Science and Technology" with changes made in accordance with the Law №3421-IV (3421-15) dated 09.02.2006, Supreme Council Information, 2006, №22, art.199, according to strategic priority directions of development of science and technology in Ukraine for 2007-2012 and 2011-2020, namely - the latest and resource-saving technologies in energy, industry and agro-industrial complex; plans of CNTU research works on the topic "Forecasting the operational reliability of cars to ensure the quality of transport services" (№ 0116U008110); "Improving the reliability of vehicles by managing their technical condition" (№ 0116U008055); "Methodology of selection and management of effective use of equipment in agricultural production" (№ 0116U008111); "Forecasting of maintenance and repair of vehicles on the basis of the received electronic diagnostic information on their technical condition." (№ 0116U008132).

The purpose of the work is to increase the reliability of tractor machinery by improving the approaches of technical service on the basis of element-modular system of production organization for their maintenance and repair at agro-industrial enterprises.

To achieve this goal, the following tasks were solved:

- to analyze the operating conditions of tractor technology and the possibility of changing its technical condition depending on the conditions and organization of the system of maintenance and repair during its operation;
- theoretically describe the probabilistic nature of changes in the technical condition of tractor technology, taking into account reliability indicators and diagnostic parameters;
- to develop an indicator for assessing the establishment of rational frequency of operations of its technical service on the basis of communication patterns of diagnostic parameters of a technical condition and reliability of tractor technology;
- to give a theoretical substantiation of possibility of reliability management of tractor technology at realization of element-modular system of its system of maintenance and repair;
- to find out the main methods of determining the technical condition of tractor technology systems and units with the control of diagnostic parameters and evaluation of reliability indicators during its operation;
- to conduct experimental studies of the possibility of increasing the reliability of tractor technology element-modular system of its technical service in operation and to give a feasibility study to the developed measures and to offer recommendations for their implementation.

The object of research - the processes of control and management of the technical condition of motor vehicles during operation.

The subject of research - the patterns of change of diagnostic parameters of systems and units of tractor equipment with the development of element-modular system of technical service to increase their reliability.

Research methods. Theoretical research based on methods of probability theory, reliability theory, probabilistic and statistical methods of research of Markov chain and methods of technical and economic analysis and modeling. Experimental studies were performed using methods of formation and processing of experimental data. Processing of the main results was performed on a PC using a system of analytical calculations and application packages.

It is theoretically substantiated that the technical condition of tractor technology elements can be determined by the vector of diagnostic parameters obtained at a certain point in time at a particular level of diagnosis, and units, modules and vehicle fleet as a whole – as a matrix with continuous observation for a certain period of time. It is determined that to ensure the control system of the technical condition of the elements and tractor technology in general, the parameters of the diagnostic information are given in the form of random functions and have a certain range of implementations.

Management of technical condition of tractor technology elements makes it possible to assess their operational reliability by changing the set of diagnostic parameters. The implementation of technical actions at the appropriate time (operating time) is shown on the basis of a random function of changing their diagnostic parameters, the deterministic part of which describes the values of marginal, maintenance and remaining resources of tractor technology power units taking into account the most significant factors.

It is shown that increasing the probability of diagnosing the elements and finding an alternative to forecasting the average values of diagnostic parameters opens the possibility of controlling the technical condition of tractor technology systems and units.

Using the marked diagram of the state of the tractor technology power unit, the dependence of the probability of its being in working condition at the stages of the life cycle, taking into account the failure rate, recovery and passing of technological operations of maintenance and repair is obtained. Formulas for estimation of average values of remaining resources and after carrying out Maintenance-1, Maintenance-2 and Maintenance-3 (for tractors) to overhaul, and also estimation of coefficients of technical readiness and technical use of modules of tractor technology tractor technology fleet of the agro-industrial production enterprises are received.

It is determined that according to the proposed element-modular approach, the unit of tractor technology fleet should be considered as an information system, and its resource-determining systems and units should be allocated as separate elements that have their own nomenclature of diagnostic parameters. An algorithm for evaluating the effectiveness of the implementation of diagnostic parameters for tractor technology elements during their operation has been developed. The procedure of selection of diagnostic parameters according to the information-statistical criterion is formed. Methods and necessary equipment for determining the parameters of the technical condition of the elements and modules of the tractor technology fleet are analyzed, a number of methods are selected that are required for the study of the tractor technology fleet and which adequately reflect their technical condition during operation. On the basis of the developed algorithms it is offered to carry out forecasting of a technical condition of tractor technology fleet and to specify system of their technical service during operation.

It is determined that the technical condition of tractor technology units operated at agricultural enterprises of Kirovohrad region is largely determined by specific management conditions: the existing fleet of machines; availability of qualified, experienced staff; repair and maintenance base; general financial condition and other factors. The number of failures of the I and II groups of complexity in the application of the planned safety system maintenance and repair is within almost acceptable limits, and for the III group there is a significant excess. There is an increase in failures of the third group more than 2 times in the case of operation of

obsolete equipment. It is determined that the tractor technology park of the enterprises of agro-industrial production of the Kirovograd area on the average are the cars older than 5...15 years. This necessitates the development and implementation of new technical service systems.

It is shown that power units primarily require intervention in the system of technical service and implementation of element-module strategy for tractor technology. The order of formation of diagnostic parameters of technical condition control and reliability indicators of power units is determined, matrices of technical conditions of cylinder-piston group are formed, values of average probability of failures and informativeness of diagnostic parameters are determined, regularity of compression change in diesel cylinders during operation is revealed. A matrix of technical conditions has been formed for the diesel lubrication system, the number of failures of KamAZ and John Deer family diesels at different operating intervals has been determined, as well as the values of failure rates of elements and informativeness of diagnostic parameters. Mathematical models are constructed: the content of mechanical impurities in the working oil, flash point, alkaline number for the KamAZ and John Deer families from operating time.

The technical condition of tractor technology fleet transmissions was investigated by the condition of the gearbox and the main transmission, a matrix of technical conditions was developed, the number and intensity of failures of tractor technology transmission elements of the KamAZ and John Deer family were determined, as well as the informativeness of diagnostic parameters. Regression mathematical models of the content of mechanical impurities in the working oil, dielectric constant, alkaline number of transmission oil from tractor technology operating time are constructed and a graphical interpretation is given.

An algorithm for managing the technical condition of tractor technology at the enterprises of agro-industrial production on the planned safety level and element-modular systems, taking into account the qualifications of performers, the category of failure, strategy, probable error, completeness and failure to perform maintenance work and troubleshooting is developed.

Based on the implementation of the element-modular system of maintenance and repair the operating time and list of diagnostic parameters of their values, the level of probability of normal operation and time to control and maintenance for diesels and tractor technology transmissions of the KamAZ and John Deer family is given. It is determined that for KamAZ 740 tractor technology the maintenance-2 term should be reduced by 9.3% to ensure its operational reliability more than 0.9, and the service of KamAZ tractor technology transmission can be increased by 3.4%, respectively. It is determined that for the tractor technology element John Deere PowerTech 9.0 1 Stage II the term maintenance-2 can be increased by 16.1%, and for the transmission - you need to conduct technical service earlier

by 8%. These calculations are effective for all formed modules of the studied tractor technology fleet.

It was found that the dynamics of changes in engine oil indicators in the element-modular system is better than the planned safety system, and the increase in service life in the element-module system of maintenance and repair, based on changes in diagnostic parameters, is 20%. Strict regulation of operations in the planned safety system reduces the rapid response to changes in technical condition, and in the element-modular system of maintenance and repair - a set of operations to maintain the working condition of tractor technology is performed according to its actual state in unregulated terms, i.e., as needed.

It is determined that carrying out adaptive maintenance and repair increases the probability of trouble-free operation of systems and units within 91 ... 95%. It is shown that at the planned and preventive maintenance and repair the probability of trouble-free operation of power units of the KamAZ and John Deer tractor technology families, for the studied farms, is lower by 6.7...14.3% in comparison with the element-modular maintenance and repair system. The coefficient of readiness in the element-modular system of maintenance and repair is 1.12...1.32 times higher than the implementation of the planned safety system of maintenance and repair. Recommendations for improving the technical condition of tractor technology and maintenance work for tractors in the system control of technical condition of units at element-modular system of maintenance and repair will allow you to get a net profit of 377.3 thousand UAH, with the possibility of reducing the cost of work by 8.5...11.2%.

The scientific novelty of the obtained results lies in the solution of the scientific and technical problem of increasing the reliability of tractor technology and further development of the approach to forming a strategy of technical service in the direction of element-modular system, which in contrast to the previously known data takes into account the increase of diagnostic parameters, their informativeness reliability of tractor technology systems and units during operation.

For the first time:

- it is offered to form function of a technical condition of tractor technology fleet in the form of a matrix of diagnostic parameters that gives the chance to divide in more detail separate units and autotractor equipment on the modules for which in the future as effectively as possible the system of maintenance and repair is developed;

- the element-modular approach of improvement of a technical condition of tractor technology on the basis of increase of resource-determining diagnostic parameters that gives the chance to manage a level of its reliability due to operative establishment of operations of maintenance and repair is substantiated.

The method of establishing the frequency of maintenance with the ability to predict the technical condition of tractor technology, which reduces the operating costs of the fleet of different brands and increase the efficiency of its use in hard operating conditions.

The regularity of the relationship between the indicators of tractor technology reliability and diagnostic parameters, which make it possible to manage the technical condition, increase the reliability and improve the system of maintenance and repair.

The practical significance of the results.

Based on the obtained laws and the results of experimental research, the technical condition of tractor technology in the implementation of the element-modular system of its maintenance and repair, it was possible to increase the resource of the fleet by 1.13-1.26 times during operation. Developed algorithms for rational processing of diagnostic information of tractor technology elements (systems and units) made it possible to more accurately determine the technical condition and reduce their failures by 1.29-1.36 times, which created optimal conditions for increasing the probability of failure.

The results of the research were accepted for implementation at the enterprises Agricultural Ltd. "Khutorske", LLC "Agrofirma Kolos" and LLC "ATP-2004" in the organization of technical service of their tractor technology fleet and management of technical condition during operation. The main principles and results of the dissertation are used in the training of specialists in the specialties 274 "Automobile Transport" and 275 "Transport Technologies (Automobile Transport)", 133 "Industrial Engineering".

Keywords: diesel, transmission, autotractor equipment, diagnostic parameter, reliability, technical service, element, module, fleet of machines.

LIST OF PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

In professional publications

1. Aulin V.V., Zhulai O.Iu., Livitskyi O.M. Transportni zasoby v ahropromyslovomu kompleksi ta systema diahnostychnoho monitorynhu yikh tekhnichnoho stanu. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia s/h mashyn. 2007r. Vyp.37. Ch. 1. S. 146-154
2. Aulin V.V., Livitskyi O.M., Zhulai O.Iu. Stan problemy pidvyshchennia efektyvnosti tekhnichnoho servisu SHT v novykh umovakh hospodariuvannia. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia s/h mashyn. 2007r. Vyp.37. Ch. 2. S. 158-162
3. Aulin V.V., Lysenko S.V., Livitskyi O.M., Lysenko V.M. Prohnozuvannia dovhovichnosti SHT na osnovi resursnoi mekhaniky. Zbirnyk naukovyi prats Luhanskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky. 2007. №76(99). S 19-23.
4. Aulin V.V., Lysenko S.V., Livitskyi O.M. Keruvannia znosnym stanom detalei DVZ pry trybotekhnichnomu vidnovlenni z realizatsiieiu efektu samoorhanizatsii. Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy. 2008. №1. S. 106-109.

5. Aulin V.V., Zhulai O.Iu., Livitskyi O.M., Baranovskyi D.M. Porivnialnyi analiz tekhnichnoho stanu dyzeliv zasobiv transportu v APK pry planovo-poperedzhuvalnii ta adaptyvunii stratehii TOR. Naukovyi visnyk Luhanskoho nats. ahrar. universytetu. Serii: Tekhnichni nauky. 2009. №2. S. 5-8.

6. Aulin V.V., Livitskyi O.M. Informatsiine zabezpechennia v systemi tekhnichnoho servisu, diahnostychnoho monitorynhu ta okhorony pratsi v s/h vyrobnytstvi. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia s/h mashyn. 2009 r. Vyp.39. S. 287-291.6.

Aulin V.V., Livitskyi O.M. Informatsiine zabezpechennia v systemi tekhnichnoho servisu, diahnostychnoho monitorynhu ta okhorony pratsi v s/h vyrobnytstvi. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia s/h mashyn. 2009 r. Vyp.39. S. 287-291.

7. Aulin V.V., Livitskyi O.M. Kontseptsiiia upravlinnia tekhnichnym stanom i bezpekoiu ekspluatatsii transportnykh zasobiv silskohospodarskoho vyrobnytstva. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. Volodymyra Dalia. 2010. №6(148). S. 173-177.

8. Aulin V.V., Livitskyi O.M., Holub D.V. Vplyv stratehii tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu mobilnoi silskohospodarskoi tekhniky na yii stan, umovy i okhoronu pratsi operatoriv. Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahrarno-ekolohichnoho universytetu: naukovo-teoretychnyi zbirnyk. 2014. Vyp. № 2 (45), t.4, ch.II. S. 37-50

9. Aulin V.V., Livitskyi O.M., Zamota O.M. Metodolohiia vyboru ta upravlinnia efektyvnistiu vykorystannia tekhniky u silskohospodarskomu vyrobnytstvi. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia. 2016. Vyp. 29. S.2-12.

10. Aulin V.V., Hrynkiv A.V., Lysenko S.V., Livitskyi O.M., Holovatyi A.O., Diachenko V.O. Pryntsypy pobudovy ta funktsionuvannia kiberfizychnoi systemy tekhnichnoho servisu avtotransportnoi ta mobilnoi silskohospodarskoi tekhniky. Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv. Technical service of agriculture, forestry and transport systems. 2020. №22. S. 162 - 174.

11. Livitskyi O.M. Vdoskonalennia tekhnichnoho servisu avtotraktornoj tekhniky v umovakh ahropromyslovoho vyrobnytstva. Visnyk Tsentralnoukrainskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. 2021. Vyp. 4(35). S 36 - 45.

In foreign publications

12. Aulin V.V., Zhulai A.Iu., Lyvytskyi A.N., Baranovskyi D.M. Экспериментальная проверка системы диагностики монитора технического состояния дизельных транспортных средств. Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения профессора Вадывасова Д.Н.: FHOУ VPO "Saratovskiy HAU". Saratov, 2009. S.5-10.

13. Aulin V.V., Lyvytskyi A., Zamota O., Hrynkiv A. Povyshenye efektyvnosti yspolzovaniya mobylnoi sel'skokhoziaistvennoi tekhniky na predpriyatiakh APK. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2016. Vol.18. No.2. P. 117-122.

Proceedings and abstracts of the conference

14. Aulin V.V., Livitskyi O.M., Holub D.V., Zhulai O.Iu. Prohnozuvannia potreb v posluhakh TO i remontu za tekhnichnym stanom dvyhuniv. Aktualni problemy ta naukovy zvershennia molodi na pochatku tretoho tysiacholittia.: materialy tez I Vseukrainskoi naukovoii konferentsii studentiv, mahistrantiv, aspirantiv i doktorantiv, 12-14 lyst. 2008r. Luhansk: "Elton-2", 2008. S. 257–261.

15. Aulin V.V., Livitskyi O.M. Systema trybomonitorynhu tekhnichnoho stanu MSHT – inzhenerno-tekhnichne rishennia yii bezpeky. Sudnova enerhetyka: stan ta problemy: materialy IV mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv, naukovtsiv ta fakhivtsiv. Mykolaiv: NUK, 2009. S. 182-184.

16. Aulin V.V., Ihnatenko S.H, Livitskyi O.M., Dolynskyi M.O., Diahnostychnyi monitorynh tekhnichnoho stanu dyzeliv transportnykh zasobiv u s/h vyrobnytstvi. Molodezh y s/kh tekhnika v XXI veke: materyaly VI-ho mezhdunar. foruma molodezhy. Kharkov: KhNTUSKh. 2010. S. 94.

17. Aulin V.V., Kuzyk O.V., Livitskyi O.M., Lysenko S.V. Obhruntuvannia zminy rezhymiv tertia v TsPH. Molodezh y s/kh tekhnika v XXI veke: materyaly VI-ho mezhdunar. foruma molodezhy. Kharkov: KhNTUSKh. 2010. S. 122.

18. Aulin V.V., Livitskyi O.M. Systemno-adaptyvna kontsepsiia okhorony pratsi operatoriv transportnykh zasobiv silskohospodarskoho vyrobnytstva. Problemy konstruiuvannia, vyrobnytstva ta ekspluatatsii s/h tekhniki: materialy IX-yi Mizhnar. nauk.-prakt. konf., Kirovohrad: KNTU, vyp. 1. 2013. S. 214-216..

19. Aulin V.V., Livitskyi O.M. Statystychnyi metod rozrakhunku pokaznykiv avariinykh staniv transportnykh zasobiv i transportnoho travmatyzmu. Pidvyshchennia nadiinosti mashyn i obladnannia: zbirnyk tez dopovidei VIII Vseukr. naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv ta aspirantiv, Kirovohrad: KNTU, 2014. S. 171-175.

20. Aulin V.V., Hrynkiv A.V., Livitskyi O.M. Doslidzhennia tekhnichnoho stanu systemy transportnykh zasobiv "ahrehat-olyva". Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu: materialy VIII mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia 19-21 zhovtnia 2015 roku: zbirnyk naukovykh prats / Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet [ta in.]. Vinnytsia: VNTU, 2015. S. 16-19.

21. Aulin V.V., Hrynkiv A.V., Livitskyi O.M. Pidvyshchennia nadiinosti mobilnoi ta avtotransportnoi tekhniki silskohospodarskoho vyrobnytstva na osnovi diahnostyky yikh

stanu. Problemy konstruiuvannya, vyrobnytstva ta ekspluatatsii s.-h. tekhniki: materialy X Mizhnar. nauk.-praktychnoi konferentsii, Kirovohrad: KNTU, 2015. S.163-164.

22. Aulin V.V., Hrynkiv A.V., Livitskyi O.M. Matematychnyi aparat dlia otsinky diahnostychnykh parametriv ta vyznachennia optimalnoi yikh kilkosti. Avtomobil i elektronika. suchasni tekhnolohii: materialy IV mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii, 17-19 lystopada 2015 r., Kharkiv, Ukraina, 2015. S. 126-128.

23. Aulin V.V., Zamota T.M., Hrynkiv A.V., Livitskyi O.M., Zamota O.M. Perspektyvnist vprovadzhennia systemy tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu mobilnoi silskohospodarskoi ta avtotransportnoi tekhniki z elementamy prohnozuvannya. Problemy konstruiuvannya, vyrobnytstva ta ekspluatatsii silskohospodarskoi tekhniki: materialy XI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, Kropyvnytskyi: TsNTU, 2017. S. 245-246.

24. Aulin V.V., Zamota O.N., Lyvytskyi A.N. Vlyianyie systemy tekhnicheskoho obsluzhyvanyia y remonta na sebestoymost hruzovykh perevozok v selskokhoziaistvennom proyzvodstve. Kramarovski chytannia: zb. tez dopovidei V Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 22-23 liut. 2018 r., m. Kyiv / NUBiP. K.: Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy, 2018. S. 112-115.

25. Aulin V.V., Livitskyi O.M., Zamota O.M. Vplyv nadiinosti silskohospodarskoi ta transportnoi tekhniki na optimalnyi termin yii sluzhby. Kramarovski chytannia: zbirnyk tez dopovidei VI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 21-22 liut. 2019 r., m. Kyiv. NUBiP. 2019. S. 83-86.

26. Aulin V.V., Pankov A.O., Hrynkiv A.V., Livitskyi O.M., Shcheglov A.V. Avtomatyzatsiia robochykh protsesiv zasobiv mekhanizatsii zastosuvanniam rozpodilenykh system upravlinnia. Suchasni problemy zemlerobskoi mekhaniki: materialy XXI Mizhnarodnoi naukovo konferentsii, Kharkiv: KhNTUSH. 2020. S.18-19.

27. Aulin V.V., Livitskyi O.M., Hrynkiv A.V., Kernus R.O. Intelektualni elementy ekspertnykh system v haluzi transportu i vyrobnytstva. Innovatsiini tekhnolohii rozvytku ta efektyvnosti funktsionuvannya avtomobilnoho transportu: Zbirnyk naukovykh materialiv mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet konferentsii, TsNTU m.Kropyvnytskyi, Ukraina, 18-19 lystopada 2020r. S.151-161.

28. Aulin V.V., Livitskyi O.M., Hrynkiv A.V., Holovatyi A.O., Lysenko S.V. Rol intelektualnykh informatsiinykh system u transportnykh i vyrobnychykh pidpriemstvakh ta yikh klasyfikatsiia. Innovatsiini tekhnolohii rozvytku ta efektyvnosti funktsionuvannya avtomobilnoho transportu: zbirnyk naukovykh materialiv mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet konferentsii, TsNTU m.Kropyvnytskyi, Ukraina 18-19 lystopada, 2020 r. S. 167-173.

29. Aulin V.V., Slon V.V., Livitskyi O.M., Hrynkiv A.V., Artiukh Ye.H. Udoskonalennia metodiv i zasobiv diahnostuvannya systemy z mashchennia sylovykh ahrehativ transportnykh zasobiv. Pidvyshchennia nadiinosti i efektyvnosti mashyn, protsesiv i

system. Improving the reliability and efficiency of machines processes and systems: materialy III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 14-16 kvitnia 2021 r. Kropyvnytskyi: TsNTU. S. 169-174.

30. Systemno spriamovanyi pidkhid do formuvannia intelektualnoi systemy tekhnichnoho servisu. Kramarovski chytannia: zbirnyk tez dopovidei VIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii 25-26 liutoho 2021 r. m. Kyiv/NUBiP. K.: Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukraina, 2021. S. 25-32.

Patents

31. Sposib ekspres-diahnostyky vmistu vody v pratsiuiuchii motornii olyvi: pat. 44523 Ukraina: MPK(2009) S102M 177/00. №u200903237; zaiavl. 06.04.2009; opubl. 12.10.2009; Biul.№ 19.

32. Sposib avtomatychnoho keruvannia znosom detalei dvyhuna vnutrishnoho zghorannia: pat. 45786 Ukraina: MPK(2009) F01M 9/00 №u200906111; zaiavl. 15.06.2009; opubl. 25.11.2009; Biul.№ 22.

33. Sposib keruvannia dvyhunom vnutrishnoho zghorannia: pat. 50669 Ukraina: MPK(2009) F02B 1/00. №u200911039; zaiavl. 02.11.2009; opubl. 25.06.2010; Biul.№12.

34. Sposib keruvannia znosom trybospoluchen detalei: pat. 69658 Ukraina: MPK(2012.01) F01M 7/00. B23H 5/00. №u201112126; zaiavl. 17.10.2011; opubl. 10.05.2012; Biul.№ 9.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ.....	24
ВСТУП.....	25
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ У АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ЇЇ СТАНУ ТА ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ.....	31
1.1 Аналіз умов роботи автотранспортної техніки та зміни надійності її систем та агрегатів в процесі експлуатації.....	31
1.2 Аналіз існуючих систем технічного обслуговування і ремонту автотракторної техніки у агропромисловому виробництві.....	37
1.3 Технічне діагностування як основа раціональної системи технічного обслуговування і ремонту автотракторної техніки.....	44
1.4 Характеристика методів удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту та підвищення технічного стану автотракторної техніки.....	49
Висновки по розділу 1. Мета і завдання досліджень.....	60
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДТРИМКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА РІВНЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ ЕЛЕМЕНТНО- МОДУЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ.....	62
2.1 Імовірнісна природа технічного стану елементів автотракторної техніки.....	62
2.2 Зв'язок діагностичної інформації елементів автотракторної техніки з показниками їх експлуатаційної надійності.....	67
2.3 Метод оцінки міждіагностичних інтервалів при незначному числі діагностування технічного стану елементів автотракторної техніки.....	71
2.4 Математичне моделювання раціональної періодичності ремонтно-обслуговуючих впливів на елементи АТТ та модулів парку машин.....	78

2.5 Управління експлуатаційною надійністю елементів автотракторної техніки в елементно-модульній системі технічного обслуговування та ремонту.....	80
Висновки по розділу 2.....	90
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ АТТ, МОДУЛІВ ПАРКУ МАШИН В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ПОБУДОВИ ЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ТО І Р	92
3.1 Структура і програма дослідження зміни технічного стану елементів АТТ та парку машин в цілому в процесі експлуатації.....	92
3.2 Формування номенклатури елементів АТТ та модулів парку машин, що експлуатуються на підприємствах агропромислового виробництва.....	94
3.3 Комплекс методик визначення ресурсовизначальних елементів АТТ та формування для них раціональної номенклатури діагностичних параметрів під час експлуатації в жорстких умовах АПВ	96
3.4 Формування номенклатури обладнання для діагностування елементів АТТ, модулів в парку машин та методики визначення діагностичних параметрів.....	106
3.4.1 Дослідження фізико-хімічних показників моторної і трансмісійної оливи.....	106
3.4.2 Визначення дисперсного складу забруднень моторної і трансмісійної оливи.....	107
3.4.3 Визначення діелектричної проникненості робочих моторних і трансмісійних оливи.....	110
3.4.4 Визначення основних характеристик спряжень деталей систем і агрегатів двигуна.....	112
3.5 Методи формування модулів в парку АТТ.....	113
3.6 Метод формування бази даних та функції технічного стану елементів АТТ та модулів парку машин для певного рівня надійності.....	113
3.7 Елементно-модульний метод організації технічного сервісу для підтримки технічного стану елементів АТТ.....	116

3.8 Розробка технології застосування елементно-модульної стратегії ТО і Р АТТ.....	123
Висновки по розділу 3.....	126
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ЕЛЕМЕНТНО-МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ ТО І Р.....	128
4.1 Загальна характеристика парку автотракторної техніки, що експлуатується в агропідприємствах Кіровоградської області.....	128
4.2 Формування діагностичних параметрів технічного стану та показників надійності дизелів АТТ з напрацюванням при реалізації ЕМС ТО і Р.....	135
4.3 Формування діагностичних параметрів технічного стану та показників надійності трансмісії АТТ з напрацюванням при реалізації ЕМС ТО і Р.....	145
4.4 Діагностична інформація про технічний стан систем і агрегатів автотракторної техніки підчас експлуатації.....	150
4.5 Розробка технічних дій для впровадження елементно-модульної системи ТО і Р для парку АТТ.....	152
4.6 Результати застосування діагностичної інформації для елементів автотракторної техніки різними системами ТО і Р.....	155
4.7 Вплив зміни системи ТО і Р на рівень показників надійності АТТ підприємств АПВ.....	161
4.8 Техніко-економічне обґрунтування доцільності використання елементно-модульного підходу в системі технічного обслуговування і ремонту автотранспортної техніки підприємств АПВ та рекомендації для впровадження запропонованих заходів	167
Висновки по розділу 4.....	171
ВИСНОВКИ.....	175
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	179
ДОДАТКИ (А, Б, В).....	195

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ

АТТ – автотракторна техніка;

ТО і Р – технічне обслуговування і ремонт;

АТП – автотранспортне підприємство;

АПВ – агропромислове виробництво;

КШМ – кривошипно-шатунний механізм;

ГРМ – газорозподільчий механізм;

ЦПГ – циліндро-поршнева група;

КР – капітальний ремонт;

ПЗС – планово-запобіжна система;

ЩО – щоденне обслуговування;

ПР – поточний ремонт;

СМО – система масового обслуговування;

ТМО – теорія масового обслуговування;

ЕМС – елементно-модульна система;

ІЗ – інформаційне забезпечення;

ПК – персональний компютер;

ПР – поточний ремонт;

КПП – коробка перемикання передач;

ГП – головна передача;

СМ – система мащення;

ПММ – паливно-мастильні матеріали.

СТОВ – сільськогосподарське товариство з обмеженою відповідальністю;

ТОВ - товариство з обмеженою відповідальністю.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Розвиток підприємств, які експлуатують автотракторну техніку (АТТ) на даний час в Україні має свої особливості. Це передусім наявність різномарочності одиниць техніки та значна різниця в її напрацюванні. Експлуатація такого парку машин створює передумови розвитку нового підходу і стратегії технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р). При цьому реалізація системи ТО і Р містить додаткові складності, які полягають в тому, що існуючі парки АТТ включають в себе окремі машини, що мають значний рівень фізичного і морального зносу. Існують також фірми і підприємства, які не в повній мірі дотримуються регламентів технічного сервісу і в більшості випадків максимально використовують весь ресурс техніки під час її експлуатації. Все це значно ускладнює організацію виробництва з ТО і Р парків АТТ та вимагає вдосконалення підходів та методів управління їх технічним станом.

Підвищення надійності АТТ та ефективності її використання має базуватися на основі розвитку засобів і методів технічної діагностики та нових технологій обробки, перетворення і використання діагностичної інформації, спрямованої на оптимізацію управлінських рішень для підвищення якості роботи технічного сервісу. У зв'язку з цим вдосконалення організації виробництва з ТО і Р парків АТТ і управління технічним станом транспортних і технологічних машин є безумовно актуальним науково-технічним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами та темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до Національної програми розвитку агропромислового виробництва і соціального відродження села України на 1999-2010 рр, розробленої згідно розпорядження Президента України від 1.12.1998 р., ЗУ "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки" із змінами, внесеними згідно із Законом №3421-IV (3421-15) від 09.02.2006, ВВР, 2006, №22, ст.199, згідно стратегічних пріоритетних напрямів

розвитку науки і техніки в Україні на 2007-2012 рр. та 2011-2020рр., а саме - новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі; планів науково-дослідних робіт ЦНТУ за тематикою "Прогнозування експлуатаційної надійності автомобілів для забезпечення якісних транспортних послуг" (№ 0116U008110); "Підвищення надійності транспортних засобів управлінням їх технічним станом" (№ 0116U008055); "Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві" (№ 0116U008111); "Прогнозування технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів на основі отриманої електронної діагностичної інформації про їх технічний стан." (№ 0116U008132).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення надійності автотракторної техніки шляхом удосконалення підходів технічного сервісу на основі елементно-модульної системи організації виробництва з їх технічного обслуговування і ремонту на підприємствах агропромислового виробництва.

Для здійснення зазначеної мети вирішувалися наступні завдання:

- проаналізувати умови роботи АТТ та можливості зміни її технічного стану в залежності від умов та організації системи ТО і Р під час її експлуатації;

- теоретично описати ймовірнісну природу зміни технічного стану АТТ з врахуванням показників надійності та діагностичних параметрів;

- на основі закономірностей зв'язку діагностичних параметрів технічного стану і надійності АТТ розробити показник оцінки встановлення раціональної періодичності реалізації операцій її технічного сервісу;

- дати теоретичне обґрунтування можливості управління надійністю АТТ при реалізації елементно-модульної системи її ТО і Р;

- з'ясувати основні методи визначення технічного стану систем та агрегатів АТТ при контролі діагностичних параметрів та оцінці показників надійності під час її експлуатації;

- провести експериментальні дослідження можливості підвищення надійності АТТ елементно-модульною системою її технічного сервісу в експлуатації та дати техніко-економічне обґрунтування розробленим заходам і запропонувати рекомендації для їх впровадження.

Об'єкт дослідження – процеси контролю та управління технічним станом автотракторної техніки під час експлуатації.

Предмет дослідження – закономірності зміни діагностичних параметрів систем та агрегатів автотракторної техніки з розробкою елементно-модульної системи технічного сервісу для підвищення їх надійності.

Методи дослідження. У теоретичних дослідженнях використовувалися методи теорії ймовірностей, теорії надійності, ймовірнісно-статистичні методи дослідження марківських процесів і методи техніко-економічного аналізу та моделювання. Експериментальні дослідження проводилися при використанні методів формування та обробки експериментальних даних. Обробка основних результатів виконувалася на ПК за допомогою системи аналітичних обчислень та пакетів прикладних програм.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розв'язанні науково-технічного завдання підвищення надійності АТТ та подальшому розвитку підходу формування стратегії технічного сервісу у напрямку елементно-модульної системи, що на відміну від попередньо відомих враховує приріст діагностичних параметрів, їх інформативність та взаємозв'язок з показниками надійності систем та агрегатів АТТ під час експлуатації.

Вперше:

- запропоновано формувати функцію технічного стану парку АТТ у вигляді матриці діагностичних параметрів, що дає можливість більш

детально розділяти окремі агрегати і автотракторну техніку на модулі, для яких в подальшому максимально ефективно розробляється система їх ТО і Р;

- обґрунтовано елементно-модульний підхід покращення технічного стану АТТ на основі приросту ресурсовизначальних діагностичних параметрів, що дає можливість управляти рівнем її надійності за рахунок оперативного встановлення операцій ТО і Р.

Удосконалено:

- метод встановлення періодичності ТО з можливістю прогнозування технічного стану АТТ, що обумовлює зменшення експлуатаційних витрат на парк різномарочних машин та збільшення ефективності її використання в жорстких умовах експлуатації.

Одержали подальший розвиток:

- закономірності взаємозв'язку показників надійності АТТ з діагностичними параметрами, які дають можливість управляти технічним станом підвищувати надійність та удосконалювати систему ТО і Р.

Практичне значення отриманих результатів. Ґрунтуючись на отриманих закономірностях та результатах експериментальних досліджень, технічного стану АТТ при реалізації елементно-модульної системи її ТО і Р, вдалося досягти збільшення ресурсу в 1,13-1,26 раз парку машин підчас експлуатації. Розроблені алгоритми раціональної обробки діагностичної інформації елементів (систем і агрегатів) АТТ дали можливість більш точно визначати технічний стан та зменшити їх відмови в 1,29-1,36 разів, що створило оптимальні умови для збільшення ймовірності безвідмовної роботи.

Результати досліджень прийняті до впровадження на підприємствах СТОВ "Хуторське", ТОВ "Агрофірма Колос" та ТОВ "АТП-2004" при організації технічного сервісу їх парку АТТ та управлінні технічним станом підчас експлуатації. Основні положення та результати дисертаційної роботи використовуються при підготовці фахівців за

спеціальностями 274 "Автомобільний транспорт" та 275 "Транспортні технології (автомобільний транспорт)", 133 "Галузеве машинобудування"

Особистий внесок здобувача: аналіз системи діагностики та обробки інформації визначення технічного стану АТТ у сільськогосподарському виробництві [1, 2, 5, 6, 22]; дослідження надійності АТТ з можливістю управління ресурсом її системи та агрегатів на різних етапах експлуатації [3, 4, 7, 12, 15-17, 21, 25, 26, 29, 31-34]; розробка методів раціонального визначення періодичності технічних операцій обслуговування і ремонту техніки [9, 13, 14, 18 – 20, 24, 27, 28]; формування закономірностей та алгоритмів визначення ефективності функціонування стратегій технічного сервісу техніки під час експлуатації [8, 10, 11, 23, 30].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи представлялися, обговорювалися та були позитивно схвалені на наукових конференціях: I Всеукраїнській науковій конференції студентів, магістрантів, аспірантів і докторантів "Актуальні проблеми та наукові звершення молоді на початку третього тисячоліття" (м. Луганськ, 2008 р.); IV Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів, науковців та фахівців. (м. Миколаїв, 2009 р.); IV міжнародному форумі молоді "Молодь і с/г техніка в ХХІ століття" (м. Харків, 2010 р.); IX Міжнародна науково-практична конференція. "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с/г техніки" (м. Кіровоград, 2013 р.); VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та аспірантів "Підвищення надійності машин і обладнання" (м. Кіровоград, 2014 р.); VIII міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту" (м. Вінниця, 2015 р.); X Міжнародній науково-практичній конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки. (Кропивницький, 2015 р.); IV міжнародній науково-технічній інтернет-конференції "Автомобіль і електроніка. сучасні технології" (м. Харків,

2015 р.); XI Міжнародній науково-практичній конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки (м. Кропивницький, 2017 р.); V-VI Міжнародній науково-технічній конференції "Крамаровські читання" (м. Київ, 2018-2019 р.); XXI Міжнародній науковій конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (м. Харків, 2020 р.); Міжнародній науково-практичній інтернет конференції: "Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту" (м. Кропивницький, 2020 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines processes and systems" (м. Кропивницький, 2021 р.); VIII Міжнародної науково-технічної конференції "Крамаровські читання" (м. Київ, 2021 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 34 наукових праць, в тому числі, 11 статей у наукових фахових виданнях України, 17 публікацій тез наукових конференцій, 4 патенти України на винахід та 1 стаття і 1 теза у закордонних виданнях.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел із 151 найменувань на 15 сторінках та додатків на 10 сторінках. Основний обсяг роботи викладено на 152 сторінках і містить 27 таблиць та 35 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ У АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ЇЇ СТАНУ ТА ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ

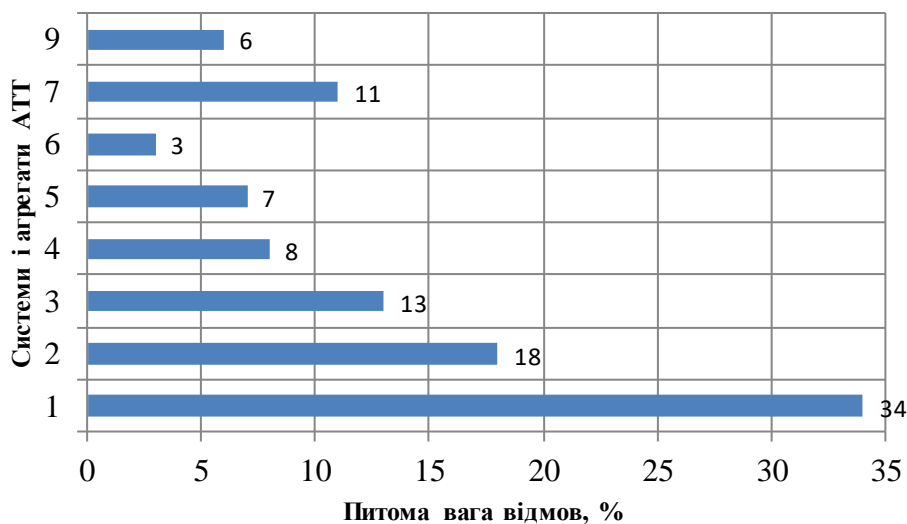
1.1 Аналіз умов роботи автотранспортної техніки та зміни надійності її систем та агрегатів в процесі експлуатації

Виробництво сільськогосподарської продукції – надзвичайно складний багатофакторний процес, що вимагає цілого комплексу науково-технічних, організаційних, правових та соціальних заходів [1, 2]. Через неефективну, морально та фізичну застарілу техніку і технології її використання сільське господарство України досі знаходиться в кризовій ситуації [3]. Транспортні підрозділи підприємств агропромислового виробництва (АПВ) беруть участь практично у всіх стадіях відтворення та у сфері обігу і споживання. При цьому АТТ не має чітко виражених технологічних і галузевих бар'єрів [4], а її використання має широкий спектр дії. АТТ є одночасно засобом АПВ продукції і засобом її обігу.

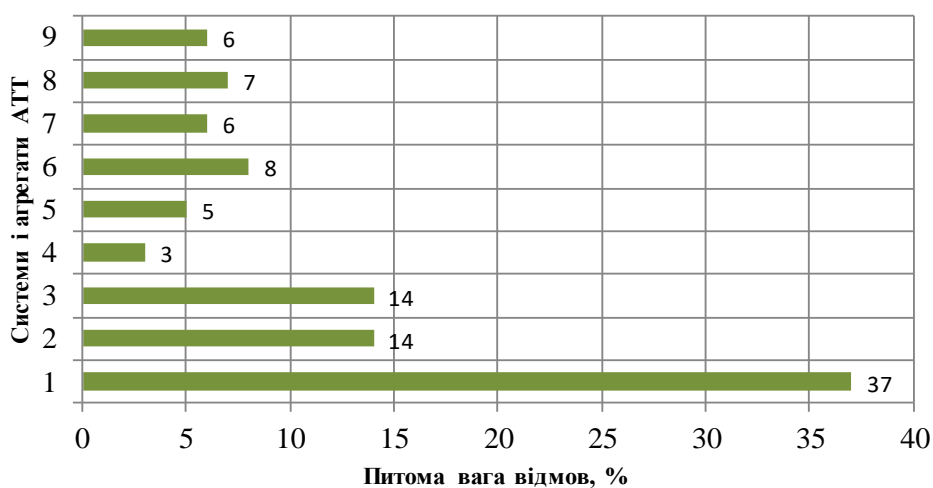
В експлуатації технічний стан деталей, вузлів, систем та агрегатів АТТ безперервно змінюється. Передусім це пов'язано з процесами зношування, корозії, накопиченням втоми, деформації, забруднення [5]. Через необоротний характер зазначених процесів знижується або втрачається працездатність техніки, спостерігаються її відмови і несправності [6]. Розподіл відмов агрегатів (на прикладі дизеля) та систем АТТ при їх експлуатації представлено на рис. 1.1. [7-9].

Наведені дані свідчать, що значний вплив на загальну надійність АТТ здійснюють саме двигун, трансмісія та ходова частина. При значному їх впливі на загальну надійність АТТ, виникає необхідність отримання вчасної та достовірної інформації про їх технічний стан [10]. В Україні в

АПВ переважного застосування набула АТТ з дизелями марок ЯМЗ, John Deere, МТЗ хоча широко присутні й інші виробники.



а



б

1 – Двигун; 2 – Трансмсія; 3 – Ходова частина; 4 – Система керування; 5 – Гальмівна система; 6 – Гідропривід; 7 – Електрообладнання; 8 – Робоче навісне обладнання; 9 – інші

Рис. 1.1 – Діаграми розподілу відмов автотранспортної техніки в агропромисловому виробництві (питома вага відмов в процесі експлуатації, %): а) автомобілі; б) колісні трактори

Отримання достовірної і необхідної інформації про технічний стан систем і агрегатів АТТ на сьогодні недостатньо через низький ступінь їх діагностованості [11].

Жорсткі умови експлуатації АТТ у АПВ приводять до того, що, ресурс дизелів складає 26...47% у порівнянні з аналогами, що працюють в інших галузях [11, 12]. Експлуатація дизелів в умовах АПВ збільшує знос деталей в 2,0...4,9 рази у порівнянні з їх використанням в звичайних умовах експлуатації АТТ [13]. Реалізація технологічних операцій у АПВ відбувається при роботі дизелів АТТ на режимах середнього і найбільшого навантаження - в межах від граничної потужності до найбільшого крутного моменту, що створює максимальні механічні та теплові навантаження на їх деталі [7].

Найбільш істотними факторами, що дозволяють більш повно використати запланований ресурс силових агрегатів АТТ при нормальній експлуатації, є неприпустимість перегрівів; своєчасна заміна оливи; справність повітряних, оливних та паливних фільтрів; застосування якісних паливно-мастильних матеріалів та ін [14]. Головною і постійно діючою причиною зміни їх технічного стану є зношування деталей [15]. Характерним є одночасна дія різних видів зношування, співвідношення яких залежать від конструкції, технології виготовлення деталей, якості використовуваних експлуатаційних матеріалів, зовнішніх умов [16]. Дуже часто при експлуатації АТТ у АПВ відбуваються відмови паливної апаратури, газорозподільного механізму (ГРМ), кривошипно-шатунного механізму (КШМ), зокрема циліндро-поршневої групи (ЦПГ) [17].

Зношування деталей паливної апаратури і ГРМ значно погіршує роботу дизеля, однак ці деталі порівняно легко й швидко можна замінити. Більш небезпечний по наслідках знос та руйнування деталей ЦПГ [16]. Застосування високоякісних моторних олив і примусова система охолодження дозволяє значно полегшити умови роботи її рухомих спряжень. По оцінках закордонних експертів, за останні 30 років тільки в

результаті поліпшення якості моторних оливо підвищено в 1,5 рази ресурс автотракторних дизелів без істотної зміни їхньої конструкції [18]. Однак у будь-якому агрегаті неминучі ситуації, коли навіть найбільш якісні оливи не в змозі захистити спряження деталей або окремі ділянки контактних поверхонь від зношування. через наступні причини:

- недостатня кількість оливи в зоні тертя ("оливне голодування") у моменти холодних пусків дизеля, при забрудненні оливних каналів, при змиві оливного шару паливом;

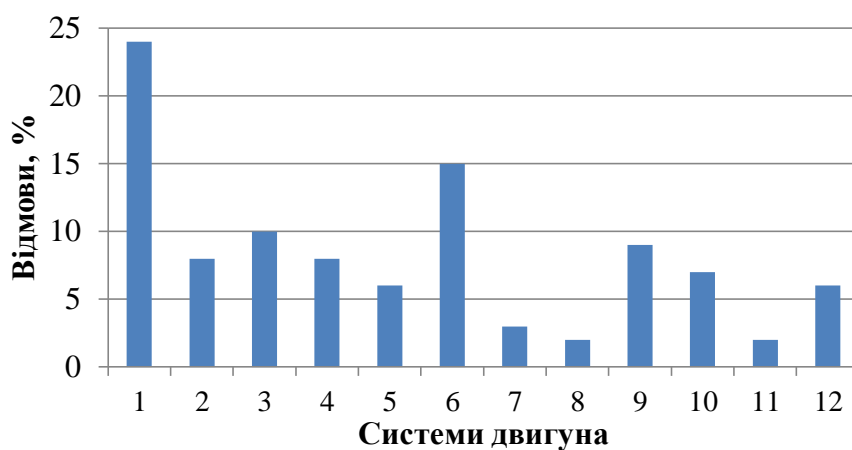
- локальний перегрів оливи в окремих фрикційних спряжень деталей через підвищене тепловиділення або погіршеного тепловідводу від них.

При зношуванні верхньої частини гільз циліндрів і формуванні в них конусності й еліпсності збільшується витікання паливоповітряної суміші зі стиснутого об'єму через зазор спряження "гільза – кільце" й знижується величина компресії - тиску, до якого стискується паливоповітряна суміш перед запаленням [18, 19]. Внаслідок зменшення компресії погіршується повнота згорання палива, зменшується потужність, підвищуються нагаровідкладення й перегрів поршнів, збільшується токсичність відпрацьованих газів [20]. Незгоріле паливо по стінках гільз циліндрів стікає в картер і розбавляє моторну оливу. Розведена паливом олива не має необхідних герметизуючих й мастильних властивостей, внаслідок чого підвищується прорив газів в картер, відбувається перегрів оливи у всьому її об'ємі, збільшується витрата і падає тиск оливи в системі, починається знос деталей КШМ і ГРМ [4, 12, 20].

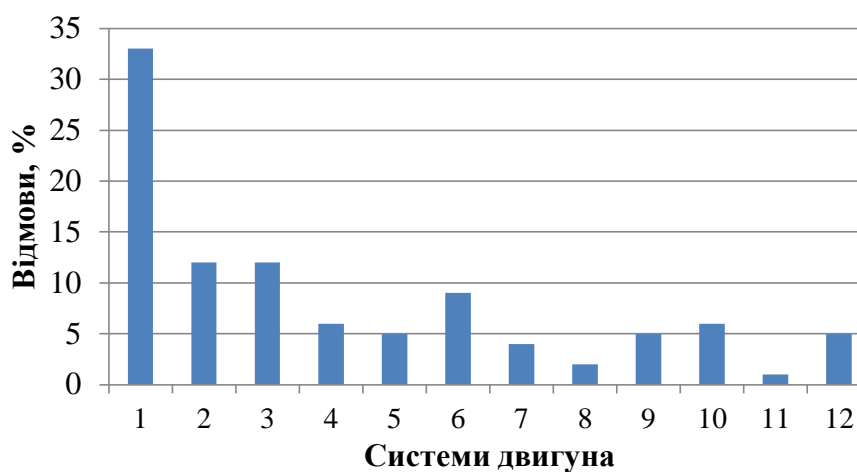
Тиск на тонкий шар оливного середовища між стінкою гільзи циліндра і поршневыми кільцями змінюється: в межах 0,15...0,3 МПа в зоні компресійного і 0,5...1,30 МПа в - зоні оливоз'ємного кілець [21]. При цьому швидкість поршня змінюється від нульової в мертвих точках до 15м/с, а за певних умов тиск може досягати 2,0 МПа. Температура цієї плівки теж різко змінюється. Верхня поршнева канавка в сучасних дизелях

нагрівається до 270...280 °С, а за наявності наддуву - до 300...350 °С [15, 22].

Аналіз літературних джерел та досвід експлуатації дизелів АТТ в умовах АПВ [1, 2, 5, 7, 15, 20, 21] дав можливість визначити розподіл відмов їх систем та елементів (рис. 1.2), а також з'ясувати питомі витрати на ремонт та внаслідок простою техніки.



а



б

1 – КШМ; 2 – ЦПГ; 3 – ГРМ; 4 – Система охолодження; 5 – Система мащення; 6 – Система живлення; 7 – Корпусні деталі; 8 - Маховик; 9 – Ущільнюючі елементи; 10 – Пусковий двигун; 11 – Впускний та випускний колектори; 12 – ін.

Рис. 1.2. Розподіл відмов систем дизеля АТТ у період припрацювання (а) та експлуатації до першого КР (б)

При цьому було враховано зміну надійності систем та окремих деталей дизелів АТТ в початковий період експлуатації та до капітального ремонту (КР). В початковий період експлуатації найбільший відсоток відмов мають деталі КШМ (23...29%) (в тому числі ЦПГ (7...11%)), системи живлення (18...23%), ГРМ (10...14%), система охолодження (9...11%) [20]. В процесі експлуатації до капітального ремонту картина відмов виглядає наступним чином: КШМ (33...39%) (в тому числі ЦПГ (14...15%)), ГРМ (14...16%), системи живлення (11...14%), система охолодження (8...10%) [15]. Наведений розподіл відмов передусім характеризує роботу систем дизеля на етапах його експлуатації.

Для початкового періоду експлуатації характерним є зміщення відмов у бік раптових, аварійних. Це так званий період “випалювання” конструктивних та технологічних дефектів. В цей період ресурсні відмови практично відсутні через незначне напрацюванням елементів дизеля [23].

Періоду нормальної експлуатації властиві поступові відмови, які через нарощування інтенсивності зношування можуть проявитися як аварійні. На цьому періоді можливе виконання ремонту та заміни одиничних елементів систем дизеля, наприклад, заміна поршневих кілець, поршневих пальців, розточка колінчастого валу під ремонтний розмір, заміна чи ремонт клапанів, заміна форсунок та ін. [24]. Виявлено, що питома вага відмов КШМ з ЦПГ і ГРМ є суттєвою протягом усіх періодів експлуатації. Затрати внаслідок простою техніки і питомі витрати у відношенні до загальних витрат на ремонт у період припрацювання та експлуатації відповідно складають: КШМ – 47,5 і 35,5%; (зокрема ЦПГ – 31,8 і 24,2%); корпусні деталі – 14,8 і 15,1%; ГРМ – 12,7 і 9,3; система охолодження – 4,1 і 10,3%; система живлення – 2,8 і 5,1% [25].

Наведені дані свідчать про те, що вклад спряжень деталей систем і агрегатів в загальну надійність АТТ залежить не лише від питомої ваги відмов, але і від затрат, які вони обумовлюють внаслідок простою на ремонт. Для забезпечення надійності агрегатів АТТ на належному рівні,

виявлення та попередження їх відмов необхідно володіти інформацією про зміну технічного стану в кількісних та якісних характеристиках [26]. Це передбачає застосування певного алгоритму пошукових, компенсуючих та коректуючих дій. В такому випадку необхідно вдосконалювати стратегії і тактики ТО і Р, що здійснюють вплив на експлуатаційну надійність АТТ у АПВ на основі впровадження відповідних технологічних сервісних систем.

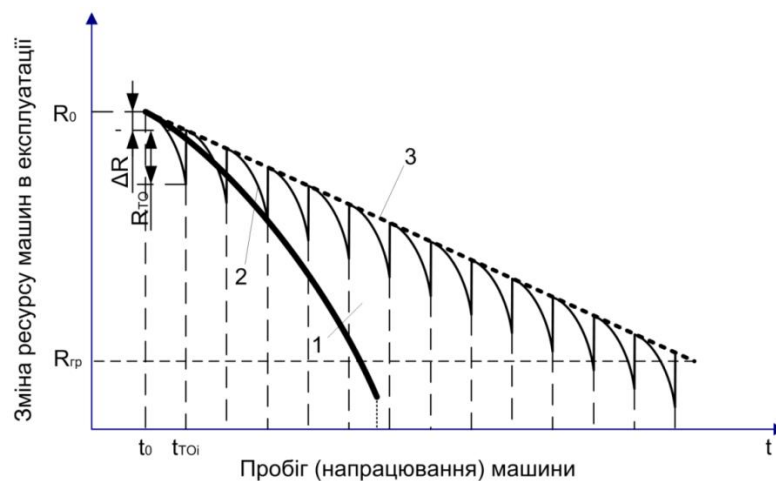
1.2. Аналіз існуючих систем технічного обслуговування і ремонту автотракторної техніки у агропромисловому виробництві

У підвищенні надійності функціонування та ефективності використання АТТ у АПВ велика роль належить методам удосконалення систем ТО і Р машин. Під системою ТО і Р розуміють сукупність принципів, правил і методів виконання технічних впливів по забезпеченню працездатного стану систем і агрегатів АТТ [15]. При цьому ТО служить для підтримки технічно справного стану техніки, а ремонт – відновлення технічного стану [8].

Більшість дослідників питання удосконалення системи ТО і Р розглядає з точки зору забезпечення надійності машин в результаті обслуговування і ремонту [3, 4, 6, 8, 27]. В той час фінансово-економічний стан підприємств АПВ, що мають на своєму балансі АТТ, в значній мірі залежить від її технічного стану [16]. Вибір стратегії організації ТО і Р АТТ в сучасних умовах має здійснюватися на основі системного аналізу зміни технічного стану машин в процесі експлуатації і зміни витрат на їх обслуговування [27], основна процедура якого - побудова узагальненої моделі, що відображає взаємозв'язок окремих складових системи технічного сервісу [29]. У зв'язку з цим одним з основних стратегічних пріоритетів підвищення надійності та ефективності роботи АТТ у АПВ є вдосконалення систем забезпечення працездатності машин на основі критерію мінімуму витрат їх ТО і Р. Існуючі варіанти систем ТО і Р

засновані на проведенні профілактичних технічних впливів або на усунення пошкоджень після відмови елементів систем і агрегатів машин [30].

До останнього часу єдиною, офіційно чинною є планово-запобіжна система (ПЗС) ТО і Р [31]. Вивчення досвіду експлуатації АТТ у АПВ свідчить, що ПЗС ТО і Р дозволила досить дбайливо і раціонально витратити ресурс машин за рахунок виконання регламентованих технічних впливів [32]. При цьому період експлуатації АТТ неодноразово перевищував амортизаційний термін служби [33]. Прагнення в даний час до збільшення продуктивного часу за рахунок скорочення терміну перебування у ТО і Р та витрат на забезпечення працездатності машин призводить в кінцевому рахунку до скорочення тривалості їх служби (рис.1.3).



1 – загальний ресурс машин при відсутності ТО; 2 – зміна ресурсу при різній періодичності ТО; 3 – загальний ресурс машини при виконанні ТО; ΔR – втрачений ресурс в процесі експлуатації; $R_{ТО}$ – відновлюваний ресурс при ТО; R_0 – початковий ресурс при, $t=t_0$; $R_{гp}$ - граничний ресурс, при $t=t_{гp}$.

Рис. 1.3. Залежність зміни ресурсу АТТ від періодичності їх обслуговування за плановою запобіжною системою ТО і Р

В такому випадку використання ТО і Р для парку різномарочних машин є недоцільним при відмовленні від регламентованих технічних

впливів. В той час регламент проведення ТО і Р повинен бути більш індивідуальним для кожного об'єкта спостереження [34]. Це може бути досягнуто тільки при підвищенні інформативності про технічний стан машин [27]. В даний час для забезпечення справності і працездатності АТТ, крім ПЗС застосовуються заявочна, які здійснюється за потребою, тобто по фактичному стану машин. При цьому система ТО і Р, а також система на основі планової діагностики технічного стану базується на основі проведення технічного діагностування [35] як самостійного виду ремонтно-профілактичного впливу (рис. 1.4).

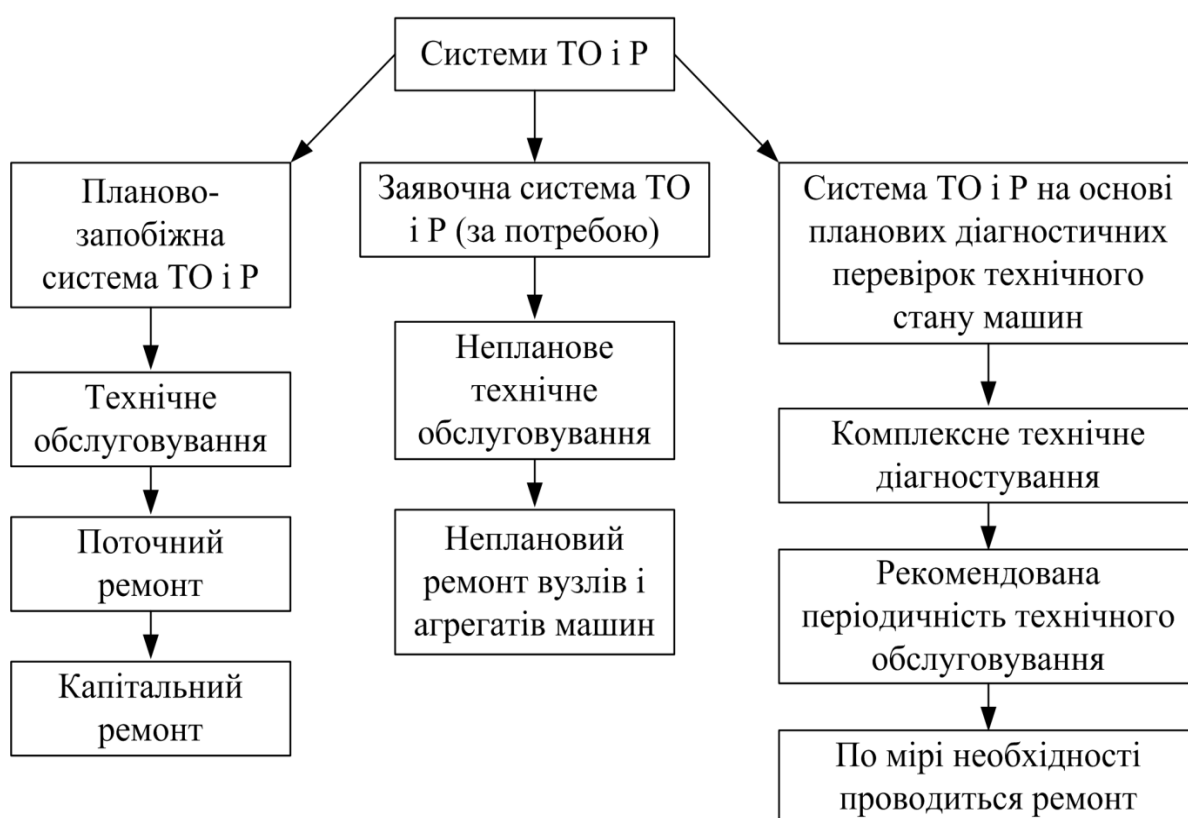


Рис. 1.4. Системи технічного обслуговування і ремонту автотракторної техніки, що експлуатуються у агропромисловому виробництві

Планово-запобіжна система ТО і Р АТТ в Україні дісталася у спадок. До її появи існували відповідні «Інструкції», які регламентували особливості виконання ТО і Р машин. На зміну інструкціям прийшло

"Положення про профілактичне обслуговування автомобілів". В ньому вперше були прийняті принципи ПЗС забезпечення працездатності. Цим документом введена трьох-ступенева система ТО: ЩО – щоденний огляд, ТО-1, ТО-2. З 1994 р. в Україні, було прийнято «Положення про профілактичне обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту» (далі «Положення – 94»). Це положення передбачало альтернативу періодичності ТО за пробігом (напрацювання) АТТ у вигляді періодичності кількості спаленого палива [15]. У 2010 р. було затверджено наказ №173 "Про затвердження Правил технічної експлуатації тракторів, масохідних шасі, самохідних сільськогосподарських, дорожньо-будівельних і меліоративних машин, сільськогосподарської техніки, інших механізмів". Даний наказ передбачає проводити ТО і Р за відповідний пробіг (напрацювання) регламентований заводами виробниками з врахуванням кліматичних та експлуатаційних умов та впровадження трьохсистемну стратегію обслуговування: ТО-1, ТО-2, ТО-3 та КР.

Зазначені положення передбачають наступні технічні впливи: ТО в період обкатки; щоденне обслуговування; перше технічне обслуговування; друге технічне обслуговування; третє технічне обслуговування; сезонне технічне обслуговування; поточний ремонт (ПР); капітальний ремонт; технічне обслуговування під час консервації АТТ; технічне обслуговування та ремонт АТТ на лінії [36]. ТО-1, ТО-2 або ТО-3 (рекомендується здійснювати згідно даних приведених в табл. 1.1.

Зазначимо, що у випадку коли періодичність обслуговування АТТ відрізняється від періодичності, визначеної документацією заводу-виробника, то виконується, шляхом врахування інформації в документації заводу-виробника з врахуванням коефіцієнтів корегування, а сезонне обслуговування виконується для підготовки об'єкта до використання в осінньо-зимових чи весняно-літніх умовах і здійснюється двічі на рік – весною та восени [15].

Таблиця 1.1

Періодичність ТО автотракторної техніки.

Тип АТЗ	Періодичність, видів технічного обслуговування			
	ЩО	ТО-1	ТО-2	ТО-3
Автомобілі вантажні, причепа і напівпричепа	Один раз на робочу добу	4000 км	16000 км	-
Трактори		400 мото- год	1600 мото-год	6400 мото- год

Періодичність ТО, може бути зменшена власником АТТ до 23% у залежності від умов експлуатації. За таких умов, ремонт – комплекс операцій щодо відновлення справності або працездатності АТТ. Для реалізації ПР можливе застосування знеособленого або комбінованого методів [37]. Знеособленість ремонту полягає у швидкій заміні несправного вузла, системи або агрегату АТТ, які ремонтують, справним новим чи заздалегідь відремонтованим з іншої АТТ, тобто зводиться лише до демонтажно-монтажних операцій. Не знеособленість не допускає таку заміну і АТТ очікує на повернення з ремонту свого агрегату [38]. Сутність комбінованого методу ПР полягає в тому, що для тимчасового швидкого відновлення працездатності АТТ несправні вузли, системи і агрегати заміняють "чужими", оскільки на відновлення "своїх" потрібен тривалий час через значну трудомісткість або ж відсутність запасних частин. Після того, як ці агрегати відновлені, вони встановлюються на "свою" АТТ [39].

Розв'язанню проблеми підвищення експлуатаційної надійності АТТ присвячено багато робіт вітчизняних і зарубіжних вчених, таких як Авдонькін Ф.М., Аулін В.В., Барзилович Є.Ю., Барлоу Р., Бідняк М.Н., Біліченко В.В., Волков В.П., Варфоломєєв В.М., Говорущенко М.Я., Кузнецов Є.С., Міхлін В.М., Несвітський Я.І., Полянський О.С., Сараєв А.В., Хазов Б.Ф. та ін. Всі вони виділяли, як одну з основних умов досягнення відповідного рівня надійності – оптимальну експлуатацію.

Найважливішим теоретичним питанням удосконалення управління технічним станом АТТ є вибір прогресивних технічних напрямів і систем забезпечення їх експлуатаційної надійності [15, 40]. Оскільки система ТО і Р на певному етапі розвитку формується на основі досягнутого наукового рівня теоретичних і експериментальних досліджень, то вона періодично повинна уточнюватися і вдосконалюватися. Алгоритм реалізації діючої в Україні системи ТО і Р АТТ представлено на рисунку 1.5.

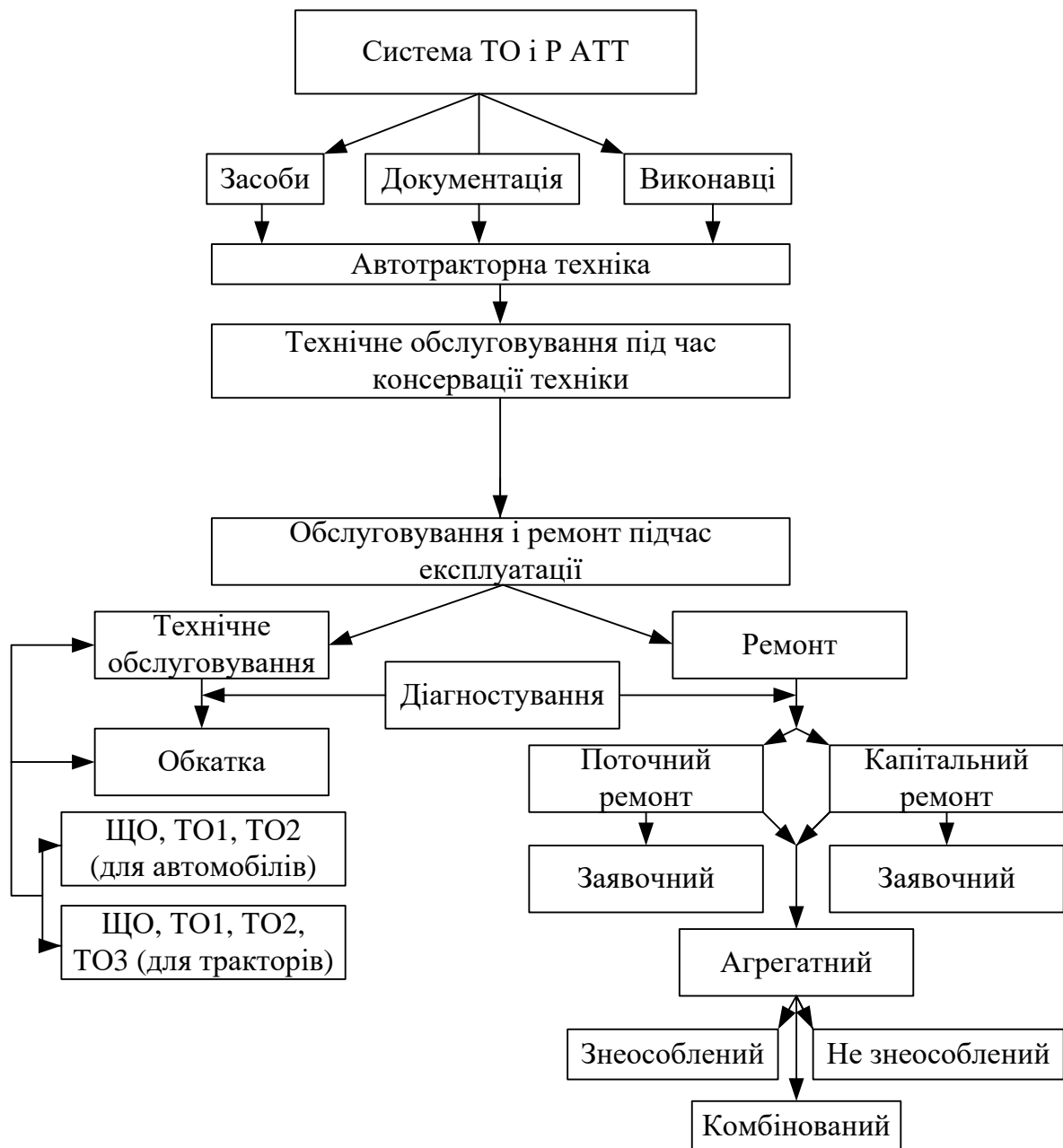


Рис. 1.5. Алгоритм реалізації діючої в Україні системи ТО і Р АТТ

На теперішній час при забезпеченні експлуатаційної надійності АТТ існує тенденція переходу від планово-запобіжної системи ТО і Р до системи обслуговування за технічним станом [41, 42]. Система обслуговування і ремонту за станом має три види робіт: обов'язкові, контрольньо-діагностичні, усунення виявлених несправностей [43]. В міру вдосконалення методів і засобів діагностування об'єм обов'язкових робіт зменшується, в такому випадку можливе застосування в "чистому вигляді" тактики ТО і Р за станом [43, 44]. В цій системі обов'язкові роботи і діагностування є плановими, а усунення несправностей або виявлення відмов носить прогностичний та запобіжний характер [45].

Для транспортних, сільськогосподарських, будівельних та інших машин застосовується третя система (змішана), яка об'єднує в собі елементи першої і другої. В свою чергу змішана система ТО і Р в залежності від методу встановлення періодичності і об'єму технічних впливів поділяється на середньостатистичну і діагностичну [46]. Для середньостатистичної системи в якості основного математичного апарату широко застосовується теорія ймовірності і математична статистика, а для діагностичної – теорія експлуатаційної надійності, що об'єднує в розумних межах детерміновані і ймовірнісні розрахунки [47-49]. Особливу увагу потрібно приділяти вивченню фізики відмов, процесів зношування і старіння.

Для забезпечення достатнього рівня надійності АТТ під час експлуатації на підприємствах АПВ, мінімізації витрат і підтримання її в працездатному стані, а також для забезпечення максимальної ефективності використання, на теперішній час, гостро постало питання у розробці нової або удосконаленні існуючої системи ТО і Р [43, 50]. Це дозволить забезпечити необхідний рівень експлуатаційної надійності та працездатності АТТ при залученні сучасних засобів та заходів мінімізації витрат.

Таким чином, при модульній структурі парку машин, в якій АТТ групується за певними ознаками, застосування єдиної системи ТО і Р стає недоцільним. Потрібна більш гнучка, диференційована система, заснована на визначенні технічного стану кожного елемента як об'єкта діагностування. Така система ТО і Р машин повинна бути адаптивною та елементно-модульною, тобто враховувати технічний стан структурних елементів вузлів, систем і агрегатів АТТ і бути спрямованою на реалізацію певних технічних дій кожного модуля парку машин.

1.3 Технічне діагностування як основа раціональної системи технічного обслуговування і ремонту автотракторної техніки

В сучасних умовах у багатьох випадках організація ремонтно-обслуговуючих робіт в достатній мірі не відповідає технологічному змісту [51], а це одна з істотних причин, що породжують недоліки у використанні АТТ у АПВ. Існуюча стратегія і ПЗС ТО і Р АТТ у АПВ не в змозі забезпечити необхідний рівень інформації та умов проведення повноцінного управління технічного стану [52]. Для підвищення ефективності процесу експлуатації техніки, весь масив отриманої інформації бажано структурувати по наступним напрямкам отримання інформації: про безвідмовність, термін служби, ремонтпридатність, про ефективність експлуатації [53]. Все це може бути враховано в іншому підході до реалізації ТО і Р парку АТТ.

Важливим у цьому напрямку є інформаційне забезпечення всіх етапів експлуатаційного циклу вузлів, систем і агрегатів АТТ [54]. Інформаційне забезпечення – це засоби і способи збору, накопичення, обробки і використання даних про процеси розробки і експлуатації систем, результатів аналізу відмов і дефектів, даних про зміну документації, порушення стабільності виробництва, зриви термінів і інші чинники відхилень від запланованого ходу розробки і застосування

техніки, а також дані по вжитим заходам попередження, контролю і захисту від наслідків цих відхилень [55]. Поняття "інформаційне забезпечення" безпосередньо зв'язане з поняттям "моніторинг технічного стану", і у зв'язку з вибором стратегії ТО і Р, останнє потребує деяких уточнень [56].

Згідно ГОСТ 30848-2003 (ИСО 13380:2002) "Діагностування машин по робочим характеристикам. Загальні положення", аналіз технічного стану – виявлення сутності, закономірностей, тенденцій, причин процесів деградації машин на основі моніторингу технічного стану з метою прогнозування, планування, являє собою коректування, управління й прийняття рішень. Моніторинг технічного стану є виявленням і збором інформації (знань) в даних спостереженнях, що характеризують технічний стан машини [57]. Звичайно, при виявленні виду технічного стану елементів (вузлів, систем, агрегатів) АТТ розуміють отримання достовірної інформації, вчасно та в достатньому обсязі [58].

На сучасному етапі розвитку АТТ в процесі експлуатації, ТО і Р, технічна діагностика одержала своє логічне продовження у вигляді розвитку автоматизованих систем контролю та бортових електронних засобів діагностики (БЕЗД) [59 - 62]. Штатні модулі діагностики дозволяють контролювати параметри майже всіх електронних систем АТТ, включаючи комплексну систему управління двигуном [21]. Наявні штатні бортові системи, виготовлені, навіть такими відомими виробниками електронного обладнання як BOSCH, MATCO, ZECA та іншими, не дозволяють повною мірою продіагностувати деякі системи та агрегати АТТ [63].

Забезпечення надійності систем агрегатів АТТ в експлуатації потребує розробки підходу до отримання якісної інформації на основі прийнятної системи управління їх технічним станом [64]. Вирішення даного питання АТТ досягається застосуванням стратегій діагностування та системою ТО і Р для забезпечення показників надійності при

системному аналізі інформаційного забезпечення на основі системи управління технічним станом [65]. В свою чергу [15], моніторинг повинен включати інформацію про технічний стан агрегатів для оцінки досягнутого рівня надійності, прийняття стратегічних рішень конструктором, виробником та забезпечення працездатного стану експлуатаційником при виконанні машиною певних технологічних операцій на основі системи технічного сервісу АТТ.

Перехід до планування ремонту і обслуговування об'єктів на основі результатів діагностування їх технічного стану передбачає виконання діагностичних перевірок не тільки перед виконанням ТО, але і в проміжках між проведенням планового ТО [66]. Тобто, діагностування має стати засобом моніторингу технічного стану кожного об'єкта: елементів машини, окремої машини, модулів і парку машин в цілому. Для цього потрібні методи і засоби, які дають можливість прогнозувати зміну технічного стану машин, запобігати їх поломки, при необхідності коректувати періодичність ТО і Р, збільшувати час роботи машини за допомогою ремонтів у сприятливий момент з урахуванням залишкового ресурсу їх елементів [67, 68].

Технічне діагностування як самостійний технічний вплив дозволяє вирішити наступні завдання:

- перевірка справності елементів машини;
- пошук дефектів і несправностей;
- визначення обсягу робіт при ТО або ПР машини;
- отримання інформації для прогнозування технічного стану вузлів, систем, агрегатів і АТТ в цілому.

Прогнозування технічного стану АТТ як одна з функцій управління, системи ТО і Р, особливо в складних умовах експлуатації [69, 70] АПВ являється проблематичним, з технічної точки зору, через нестабільність і мінливість режимів експлуатації АТТ, що призводить до помилок прогнозу технічного стану та неможливості його використання в подальшому [71].

Однак прогнозування все ж залишається важливим елементом в управлінні технічним станом АТТ, тому потребує подальшого розвитку його методів реалізації під час експлуатації [72]. Методи прогнозування технічного стану машин, що базується на діагностичних перевірках, можливо розділити на евристичні та математичні [73-76].

Сучасна АТТ представляє собою складні динамічні системи, що мають велику кількість елементів з різними принципами дії, режимами роботи, процедурами обслуговування та умовами експлуатації [77]. Однак є багато машин, на яких досить проблематичною є установка будь-яких датчиків для фіксування певних параметрів і організація передачі діагностичної інформації [78]. Все це обумовлює обмеженість вихідної бази системи діагностування і призводить до зниження рівня достовірності прийнятих рішень про актуальні і прогнози технічні стани АТТ [79].

Крім того, в діагностуванні технічного стану машин їх вузлів, систем та агрегатів часто використовуються евристичні методи, що базуються на досвіді фахівців, їх інтуїції і творчості [80]. У процесі виконання своїх функцій фахівці за допомогою органів зору, слуху і т.д. сприймають зміни рівнів і характеру шуму, вібрації, кольору, запаху та інших параметрів елементів машин, відзначають виникнення різного роду стукотів, скрипів, фіксують ряд інших факторів, які відіграють значну роль в процесі визначення поточного технічного стану та подальших експлуатаційних дій [81]. Область застосування евристичних методів це, в основному, безпосереднє визначення та прогнозування типу або місця локалізації дефекту елементів машин [82], хоча вони можуть бути застосовні і при вимірюванні інтенсивності відмов чи іншої зміни параметра.

На відміну від евристичних методів використання математичних методів прогнозування технічного стану машин засноване на побудові чітко сформульованих і структурованих математичних моделей [83, 84]. Недоліком таких методів є деяке спрощення поточних реальних процесів і прийняття гіпотези про збереження основних тенденцій зміни основних діагностичних

параметрів для періоду прогнозування. Це не дозволяє враховувати все різноманіття взаємопов'язаних факторів умов експлуатації АТТ.

Машина як об'єкт моніторингу АТТ має певну структуру у вигляді комплексу спільно працюючих деталей та їх спряжень, що характеризуються значенням певних параметрів [85]. Для визначення технічного стану придатні ті параметри її елементів, які можуть бути виміряні без розбирання машин, тобто діагностично симптоматичні [86].

В якості діагностично симптоматичних можуть служити параметри:

- вихідні або функціональні (потужність двигуна, подача насоса, витрати палива чи електроенергії і т.п.) [87];
- герметичності спряжень деталей (максимальний тиск, що створюється гідронасосом, кількість газів, які прориваються в картер, угар оливи і т.п.) [88];
- робочих процесів (температура води і оливи, ступінь стиснення робочої суміші в двигуні і т.п.) [89];
- супутні процеси (шум вібрація, зміна концентрації продуктів зносу в оливі, склад вихлопних газів, нагрівання підшипників і т.п.) [90, 91].

До діагностичних параметрів, як до носіїв інформації про технічний стан об'єкта спостереження, пред'являються вимоги: однозначності, чутливості, стабільності, інформативності, а також швидкості, вартості і точності діагностування [92].

Натомість для реалізації таких вимог необхідно сформулювати наступні вимоги для підбору діагностичних параметрів:

- контрольовані діагностичні параметри повинні мати однозначний кількісний взаємозв'язок з первинними діагностичними параметрами технічного стану [93];
- вимірювання діагностичних параметрів повинне забезпечуватися по можливості простими, портативними технічними засобами, що не вимагають спеціальної кваліфікації персоналу [94];
- технічні засоби повинні бути метрологічно атестовані, коли це

необхідно [95];

- діапазон зміни контрольованих діагностичних параметрів в процесі роботи механізму від стану "добре" до стану "неприпустимо" повинен бути достатньо великим для своєчасного виявлення дефектів, що зароджуються і достовірного прогнозування залишкового ресурсу механізмів [96];

- вартість виконання робіт по контролю вторинних діагностичних параметрів і час їх виконання повинна бути істотно нижчою, ніж при ревізії механізмів [97];

- достовірність контролю по вторинних діагностичних параметрах повинна не бути нижчою 80% [98];

- діагностичні параметри контролю повинні бути по можливості універсальними для діагностики однакових дефектів однотипної техніки або його вузлів [99].

Висловлений перелік не є вичерпним і може доповнюватися ще якими-небудь вимогами залежно від конкретних особливостей елементів АТТ і тих дефектів, які в них можуть з'являтися, але задоволення контрольованих діагностичних параметрів даному переліку є обов'язковим. Тому вибір діагностичних параметрів та їх контроль є важливим фактором, який враховується під час управління технічним станом АТТ в експлуатації.

1.4 Характеристика методів удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту та підвищення технічного стану автотракторної техніки

Будь-яка нова технологія, методика або система з часом стає застарілою і потребує удосконалення або заміни. Питанню удосконалення системи ТО і Р присвячено багато робіт вітчизняних і закордонних вчених [9, 15, 18, 42]. Дослідження пов'язані з цими питаннями узагальнювалися,

аналізувалися і за допомогою передових технологій та засобів, визначалися можливі шляхи його розв'язання.

Однією з таких можливостей є побудова методики оперативного управління працездатністю АТТ на основі енергетичного підходу (за сумарною витратою палива) з обґрунтуванням режимів виконання технічних дій, а також коректування їх періодичностей і трудомісткостей на основі діагностичної інформації [100]. Запропонована математична модель вибору варіанту реалізації системи технічних впливів, що ґрунтується на техніко-економічному ККД конкретного підприємства, що не завжди в повній мірі оцінює техніко-технологічний потенціал підприємства.

Також було розглянуто методи визначення та оцінки ресурсу силових агрегатів машин з урахуванням умов експлуатації, а також індивідуальних особливостей АТТ [101]. Обґрунтовано управління ресурсом в конкретних умовах експлуатації за енергетичними параметрами за витратою палива, швидкістю руху та обсягом виконаної транспортної роботи. В такому напрямку розроблялися методики прогнозування витрат запасних частин [80, 102] і періодичності заміни оливи в силових агрегатах, які базуються на результатах діагностування.

Вдосконалення системи ТО і Р, на основі встановлення зв'язку між показниками надійності двигунів та їх окремих елементів та витратами на проектування, виробництво та експлуатацію можливо, але це потребує значного технічного розвитку підприємства [15]. Зазначене покладено в основу системного підходу до формування властивостей надійності в гарантійний і післягарантійний періоди експлуатації. Встановлені закономірності зміни показників безвідмовності нових і відремонтованих двигунів в залежності від обсягів і змісту профілактичних ремонтно-обслуговуючих робіт [103]. Обґрунтовано метод визначення терміну служби двигунів за критерієм окупності з урахуванням розподілу витрат на ТО і Р за роками експлуатації.

Додаткова реалізація теоретичних положень, необхідна для забезпечення надійності при експлуатації складних багатомашинних систем. В даному випадку можливо перейти від оцінки окремих показників надійності машин до оцінки їх реальної продуктивності, з урахуванням рівня надійності [104]. Подібна концепція розглянута і в роботі [105], в якій обґрунтовується доцільність застосування моніторингу витрати палива для розрахунку і прогнозування раціональної періодичності технічних впливів.

Підчас експлуатації необхідно значну увагу приділяти контролю і прогнозуванню залишкового ресурсу силових агрегатів машин, що дозволяє забезпечити підвищення ефективності експлуатації машин за рахунок оптимізації планування режиму їх використання, раціональної організації ремонтних і профілактичних робіт [106]. Це сприяє скороченню витрат на обслуговування АТТ та підвищує її надійність.

Важливим напрямком удосконалення системи ТО і Р транспортних машин є розробка методу корегування періодичності технічних впливів по елементам машин, якій зводиться до визначення оптимальних періодів їх обслуговування, виходячи з критерію ефективності [107, 108]. Але в даному випадку доцільно розглянути методи застосування оперативного управління періодичністю ТО і Р на основі діагностичної інформації.

Раціональним вирішенням питання удосконалення системи ТО і Р є впровадження автоматизованого проектування нормативів ТО і Р на основі технології експертних систем [109, 110], яка дає можливість отримати оптимальний перелік робіт ТО, а також визначити відносну вартість витрат на запасні частини і витратні матеріали, що полегшує їх контроль.

Створення методологічних основ контролю технічного стану систем і агрегатів автомобілів в експлуатації на основі вимог системи сертифікації послуг з ТО і Р [111], дає можливість створити закономірності зміни технічного стану без довгострокового діагностування. Передбачається

введення в систему ТО і Р додаткових робіт по заміні експлуатаційних матеріалів й додатковому змащуванні більш навантажених елементів автомобіля [112]. Виконання попереджувальних ремонтів двигунів з метою зменшення експлуатаційних витрат і забезпечення достатнього рівня їх безвідмовної роботи. Обґрунтовується також періодичність і алгоритм діагностування, при визначенні оптимального моменту виконання попереджувальних ремонтів [113].

Широкого розповсюдження набрала модель формування безвідмовної роботи автомобілів з врахуванням варіації періодичності ТО та методика оперативного визначення, скоригованих під певні умови експлуатації, нормативів періодичності ТО із заданим рівнем надійності [114].

В даному випадку найбільш значимими чинниками, що впливають на ресурс автотранспортної техніки є: періодичність ТО і Р; умови експлуатації; якість їх конструкції; рівень кваліфікації ремонтних робітників і обладнання при проведенні операцій ТО і Р.

Використання методу оцінки рівня технічного стану АТТ шляхом систематизації множини експлуатаційних показників [115], який дає можливість виявити резерви покращення якості проведення технічних впливів на основі корегування періодичності ТО і прогнозування обсягу робіт. Даний метод потребує додаткового розроблення теоретичних основ і методологічних принципів управління працездатністю автопоїздів з використанням діагностичної інформації, що дозволяє підвищити якість виконання ремонтно-обслуговуючих робіт.

Ряд проведених досліджень свідчать, що ТО і Р необхідно виконувати за технічним станом основних вузлів, систем і агрегатів АТТ з врахуванням умов експлуатації на основі діагностичної інформації [116]. Визначено, що основою системи технічного сервісу АТТ є структура і нормативи ТО і Р. Структура ТО визначається видами відповідних технічних впливів і їх числом, переліком виконуваних операцій, їх періодичністю і

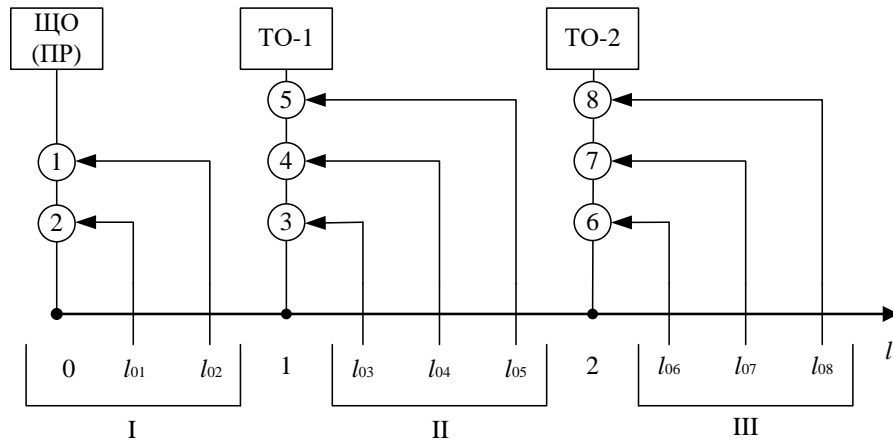
трудомісткістю. Нормативи включають конкретні значення періодичності впливів, трудомісткості, перелік та послідовність операцій та ін. На структуру системи ТО і Р впливають рівні надійності і якості АТТ, поставлені перед нею і технічною експлуатацією, а також умови експлуатації, існуючі ресурси, організаційно-технічні обмеження [117].

Ефективність системи ТО і Р визначають правильно визначені переліки, кількість видів ТО та організація і періодичність виконання сукупності профілактичних операцій [10]. Нормативи ТО і Р, встановлені за вітчизняними та закордонними документами, а також викладені в сервісних книжках АТТ відносяться до визначених (еталонних) умов експлуатації [8]. Якщо змінюються умови експлуатації, то змінюється безвідмовність і довговічність АТТ, а також витрата трудових і матеріальних ресурсів на ТО і ПР. В зв'язку з чим нормативи коригуються.

Найважливіша умова підтримки заданого рівня надійності АТТ в процесі експлуатації є методи призначення оптимальних режимів ТО і Р [20, 39]: періодичності, переліку й трудомісткості операцій або виду обслуговування. При ТО реалізується дві тактики доведення АТТ до потрібного технічного стану: за напрацюванням і за станом (потреби). При першій тактиці визначається періодичність контролю, яка переходить у виконавчу частину з коефіцієнтом повторюваності $K_1=1$. При другій – визначається періодичність контролю, а виконавча частина операції здійснюється по потребі в залежності від результатів контролю, тобто $1 \geq K_2 \geq 0$ [43].

Періодичність контрольно-діагностичних робіт нерозривно пов'язана з надійністю окремих елементів АТТ в конкретних умовах експлуатації. При цьому майже кожна операція має свою, відмінну від іншої, оптимальну періодичність: $l_{01} \neq l_{02} \neq l_{03} \neq \dots \neq l_{0s}$ [54].

При цьому періодичність ТО стрижених операцій l_{CT} приймається за періодичністю виду ТО або групи операцій (рис. 1.6).



I-III групи, 1...8 – сукупність стрижневих операцій

Рис. 1.6. Схематичне відображення групування технічних впливів по стрижневим операціям.

Стрижневі операції можна звести в три групи:

- I-група: $l_{0i} < (l_{CT} - 1)$ виконується щоденно або за потребою, оскільки виключаються із складу профілактичних;
- II-група: $(l_{CT} - 1) \leq l_{0i} < (l_{CT} - 2)$, операції виконуються одночасно з першою стрижневою з періодичністю операції $l_{CT} - 1$;
- III-група: $l_{0i} \geq (l_{CT} - 2)$ виконується одночасно з другою стрижневою операцією або із складу профілактичних переводяться в поточний або попереджувальний ремонт.

Операція, оптимальна періодичність якої l_{0i} більше періодичності стрижневої операції, виконується з коефіцієнтом повторюваності [63]:

$$K_i = l_{CT} / l_{0i} = (l_{TO})_1 / l_{0i}, \quad (1.1)$$

де $0 < K < 1$.

Даний метод дозволяє спростити режими, оптимізувати технологічний процес виконання операцій ТО і Р та підвищити значення ймовірності безвідмовної роботи. Неefективними моментами методу є: неповне використання ресурсу АТТ; не враховується економічна доцільність застосування методу; визначаються індивідуальні періоди

виконання операцій ТО і Р в залежності від конструктивно-експлуатаційних особливостей АТТ [77]. Збільшення числа видів ТО сприятливо впливає на надійність і сумарні затрати на забезпечення працездатності окремих об'єктів, але одночасно збільшує витрати, пов'язані з організацією виробничих процесів ТО і Р.

Використання ймовірнісного методу визначення ремонтно-обслуговуючих дій за допустимим рівнем безвідмовності АТТ передбачає вибір такої періодичності, за якої ймовірність відмов не перевищить заданої допустимої величини або допустимої ймовірністю його відмов (P_v) [87]. Цей показник задається залежно від типу елементів АТТ: якщо здійснюється безпосередній вплив на безпеку руху, то $P_v = 0,90 \dots 0,98$, а для усіх решти випадків – $P_v = 0,85 \dots 0,90$ [82]. Оптимальна періодичність l_{opt} пов'язана з середнім пробігом \bar{l} через коефіцієнт раціональної періодичності β :

$$l_{opt} = \beta \cdot \bar{l}. \quad (1.2)$$

Коефіцієнт β враховує значення та характер варіації пробігів (напрацювань) АТТ на відмови, а також прийняті допустимі імовірності безвідмовної роботи.

Техніко-економічний метод визначення періодичності ТО, ґрунтується на мінімізації питомих втрат на ремонт C_p та витрат на ТО C_{TO} . Перевагою даного методу є: простота та широка номенклатура врахування ризиків під час технічного сервісу транспортних машин, а недоліками – неповне використання ресурсу, оскільки $l_{opt} < \bar{l}$ та відсутність прямих економічних оцінок наслідків відмов і їх попередження. Оптимальною періодичністю виконання профілактичних робіт буде, очевидно, при досягненні мінімуму сумарних витрат на ТО і ПР [101]:

$$C_{\min.\Sigma} = C_p + C_{TO} = \frac{c}{L} + \frac{d}{l} \rightarrow \min, \quad (1.3)$$

де c, d – відповідно, зведені витрати на ремонт і виконання операцій ТО, грн/тис.км; L, l – відповідно, ресурс автомобіля до ремонту і періодичність ТО.

Метод визначає групову періодичність $l_{0Г}$, що відповідає мінімальним сумарним витратам $C_{\Sigma\Sigma}$ на ТО і Р:

$$C_{\Sigma\Sigma} = \sum_S C_{IS} + \sum_S C_{IIS}, \quad (1.4)$$

де оптимальна періодичність $l = l_{0Г}$ спостерігається при $C_{\Sigma\Sigma} \rightarrow C_{min}$, C_{IS} і C_{IIS} – питомі витрати на ТО і ремонт i -го об'єкта; S – число операцій в групі (види ТО).

Можливі дві тактики реалізації цієї стратегії за співвідношенням питомих витрат на ТО і Р: за напрацюванням C_{I-I} і за технічним станом C_{I-II} [6].

Якщо $C_{I-II} > C_{I-I}$, доцільно проводити ТО за напрацюванням з оптимальною періодичністю l_{0I} . Якщо $C_{I-I} > C_{I-II}$, то для даного елемента нерационально попереджувати відмови, а достатньо їх усувати, тобто реалізувати стратегію: ремонт за потребою з середнім напрацюванням до відмови \bar{t} [10].

Величина цільової функції питомих витрат за напрацюванням при оптимальній періодичності ТО дорівнює:

$$C_{I-I} = \frac{cP_F + dR}{l'_p P_F + l_{0I}R}, \quad (1.6)$$

де $cP_F + dR$ – середньозважена вартість виконання операцій ТО і Р; $l'_p P_F + l_{0I}R$ – середньозважене напрацювання виконання операції ТО і Р; c – вартість усунення відмов; P_F – ймовірність відмови при виконанні ТО з періодичністю l_p при виконанні за напрацюванням, і ймовірністю виконання ремонтної операції (усунення відмови); d – разова вартість операції ТО; R – ймовірність виконання операції ТО; l'_p – середнє напрацювання елементів, що відмовили з ймовірністю P_F .

Натомість величина цільової функції питомих витрат за технічним станом при оптимальній періодичності ТО l_{0I} становить:

$$C_{I-II} = \frac{cP_F + R_1(d_K + d_B) + R_2d_K}{l_p(P_F + R_1 + 2R_2)} \quad (1.7)$$

Реалізуючи даний метод всі спряження деталей можна розділити на три групи: що відмовили з ймовірністю P_F при напрацюванні $t < t_p$; що мають з ймовірністю R_1 потенційне напрацювання на відмову $2t_p > t_i > t_p$. Якщо їм не проводити ТО при t_p , то вони з ймовірністю R_1 опиняться в інтервалі $t_p - 2t_p$, що мають з ймовірністю $R_2 = 1 - P_F - R_1$ потенційне напрацювання на відмову $t > 2t_p$. Відповідно, цим спряженням деталей при t_p необхідно виконати контроль вартістю d_k і виконавчу частину операції вартістю d_B . При t_p достатньо обмежитися контролем d_k , а виконавчу частину операції відкласти, що найменше, до напрацювання $2t_p$ [51]. Перевагами методу є: простота, ясність та універсальність, а недоліки полягають в наступному: потреба в достовірній інформації про вартість операцій ТО і Р; впливу періодичності ТО на ресурс елемента; відсутня варіація усіх показників (L, l, d, c); не враховується рівень безвідмовності.

Застосовуючи економіко-ймовірнісний метод, також як і у методі визначення оптимальної періодичності за безвідмовністю, використовують коефіцієнт β_0 , який дорівнює:

$$\beta_0 = \frac{l_0}{t} = \left(\frac{2k_{II}v_t}{(1+v_t^2)(1-v_t)} \right)^{v_t}, \text{ при } v_t < 1, \quad (1.8)$$

де $k_{II} = d / c$; v_t - коефіцієнт варіації напрацювання на відмову.

Перевагами економіко-ймовірнісного методу є: врахування ймовірності і вартості чинників; проведення ТО з оптимальною періодичністю певних рівнів безвідмовності R і ризику P_F , при відомих витратах на реалізацію цієї стратегії; ймовірність реалізувати попереджувальний ремонт; більш повне використання потенційного ресурсу виробу; можливість збільшити

періодичність ТО в порівнянні з профілактикою за напрацюванням ($t_{02} > t_{01}$); можливість скоротити середню трудомісткість профілактичних операцій, оскільки її виконавча частина здійснюється за потребою, в залежності від технічного стану [58, 65, 103]. Недоліками методу, можливо, вважати: невикористання ресурсу елементів, які мають потенційне напрацювання до відмови $t_i > 2t_p$; умова застосування цієї стратегії, пов'язана з ростом вартості профілактичних операцій. Ймовірність справного стану АТТ $P(t)$ у довільний момент часу t для періоду нормальної експлуатації, становить:

$$P(t) = K_G + (1 - K_G) \cdot \exp\left(-\frac{t}{K_G T_B}\right), \quad (1.9)$$

де K_G , T_B – відповідно коефіцієнт готовності і тривалість відновлення АТТ.

Метод математичного моделювання, який можна розглядати як засіб вивчення реальної системи шляхом її заміни більш зручнішою для експериментального дослідження, із збереженням основних характеристик реальної системи [106, 108]. Перевагами методу є: можливість аналітично визначити оптимальний період ТО і Р з врахуванням особливостей роботи АТТ; зменшується час для повторних розрахунків при зміні певного параметру; спрощується обробка статистичної інформації. До недоліків методу, можливо, віднести: потреба у спеціальному програмному забезпеченні і відповідних знаннях, уміннях і навичках у оператора; необхідність реальної інформації для порівняння.

При удосконаленні системи ТО і Р необхідно користуватися критеріями, згідно яких визначають ефективність і доцільність його застосування. Виходячи з конструктивних особливостей АТТ і умов її експлуатації, з факторів і чинників, що впливають на технічний стан машин, доцільно користуватися наступними комплексними показниками надійності: коефіцієнт готовності K_G ($\alpha(t)$), коефіцієнт простою $U(t)$, коефіцієнт технічного використання K_{TB} . В якості критерію можна використати і такі характеристики експлуатаційної надійності АТТ:

імовірність безвідмовної роботи та справного стану, з урахуванням відновлення; параметр потоку відмов, середнє напрацювання на відмову. До критеріїв ефективності застосування системи ТО і Р можна віднести: тривалість, трудомісткість та вартість одного ТО (Р) даного виду за певний період експлуатації або напрацювання; готовність парку АТТ; коефіцієнт готовності і коефіцієнт технічного використання АТТ [15, 69, 79, 99, 114].

Узагальнюючи розглянуті вище методи удосконалення ТО і Р, можна узагальнити ряд їх недоліків: відсутній комплексний підхід до визначення технічного стану окремих елементів АТТ; не достатньо враховується вплив контрольно-діагностичних профілактичних робіт та умов експлуатації на зміну технічного стану елементів і АТТ в цілому; присутні необґрунтоване зміщення надійності АТТ або її економічної складової, та великі матеріальні ресурси, що направляються на підтримання високого рівня надійності при мінімізації витрат на ТО і Р, але не враховується простої машин в ремонті; очевидним є неефективність розглянутих методів при прогнозуванні працездатного стану АТТ, в зв'язку з мінімальною інформацією про їх реальний технічний стан і рівнем надійності; не враховується взагалі або враховується частково заданий рівень надійності АТТ при визначенні періодичності виконання операцій ТО і Р для певних умов її експлуатації; наявна складність оперативно перейти від одного методу до іншого або їх комбінування для забезпечення економічного ефекту який, складно спрогнозувати для різнотипних елементів конструкції АТТ, що мають різні характеристики напрацювання на відмову. Доцільно управляти технічним станом АТТ та надійністю її елементів, застосовуючи певну системи ТО і Р. Процес управління полягає в сукупності цілеспрямованих технічних дій по відновленню номінальних чи близьких до них значень параметрів стану АТТ. При цьому відновлюється ресурс, зберігається висока ймовірність безвідмовної роботи АТТ або її елементів.

Висновки по розділу 1. Мета і завдання досліджень.

Аналіз літературних джерел вітчизняних та зарубіжних вчених з проблем технічного сервісу машин, свідчить, що удосконалення організації виробництва з ТО і Р АТТ з метою підвищення їх надійності в значній мірі залежить від поліпшення використання потенціалу наявних засобів та розроблених методів за рахунок скорочення часу простоїв АТТ, і в першу чергу, за рахунок знаходження її в системі ТО і Р. Рішення даного завдання можливе тільки з використанням системного підходу, заснованого на розгляді взаємопов'язаних об'єктів (елементів, модулів, АТТ) як єдиної системи. У свою чергу в основі системного підходу лежить системний аналіз, основна процедура якого є побудовою узагальненої моделі системи, що відображає взаємозв'язки і взаємовплив окремих її складових.

Підвищення надійності використання АТТ у АПВ неможливо без розгляду питань удосконалення управління їх технічним станом і функціонуванням, тому що ефективність роботи керованого об'єкта залежить від кількості і достовірності інформації, її обробки, системи прийняття рішень та дій.

В даній роботі АТТ, розглядається як складна технічна система, що являє собою множину взаємодіючих елементів, які можуть бути охарактеризовані певними ознаками. З урахуванням проведеного аналізу технічного стану АТТ і зростання обсягів робіт по його поліпшенню сформовані наступні основні напрямки вдосконалення організації виробництва з ТО і Р АТТ з підвищенням ефективності їх використання:

- формування системи машин як оптимальної сукупності АТТ в рамках підприємства;
- розробка раціональної системи ТО і Р на основі дискретного контролю і діагностування технічного стану АТТ;

- розробка системи прогнозу технічного стану АТТ для прийняття обґрунтованих управлінських рішень по системі ТО і Р.

Для розробки цих напрямків в ході дисертаційного дослідження були поставлені мета та основні завдання:

Метою роботи є підвищення надійності автотракторної техніки шляхом удосконалення підходів технічного сервісу на основі елементно-модульної системи організації виробництва з їх технічного обслуговування і ремонту на підприємствах агропромислового виробництва.

Для здійснення зазначеної мети вирішувалися наступні завдання:

- проаналізувати умови роботи АТТ та можливості зміни її технічного стану в залежності від умов та організації системи ТО і Р під час її експлуатації;

- теоретично описати ймовірнісну природу зміни технічного стану АТТ з врахуванням показників надійності та діагностичних параметрів;

- на основі закономірностей зв'язку діагностичних параметрів технічного стану і надійності АТТ розробити показник оцінки встановлення раціональної періодичності реалізації операцій її технічного сервісу;

- дати теоретичне обґрунтування можливості управління надійністю АТТ при реалізації елементно-модульної системи її ТО і Р;

- з'ясувати основні методи визначення технічного стану систем та агрегатів АТТ при контролі діагностичних параметрів та оцінці показників надійності під час її експлуатації;

- провести експериментальні дослідження можливості підвищення надійності АТТ елементно-модульною системою її технічного сервісу в експлуатації та дати техніко-економічне обґрунтування розробленим заходам і запропонувати рекомендації для їх впровадження.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДТРИМКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА РІВНЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ ЕЛЕМЕНТНО-МОДУЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ

2.1 Імовірнісна природа технічного стану елементів автотракторної техніки

Відомо [119, 120], що 80...90% деталей, вузлів, агрегатів та систем АТТ виходять із ладу через зношування, яке має ймовірнісну природу, тому діагностичні параметри їх технічного стану в процесі експлуатації змінюються як випадкові функції. Як правило, для одного елемента систем і агрегатів АТТ сукупність діагностичної інформації подається вектором, а для сукупності елементів – матрицею діагностичних параметрів [121]. Зазначимо, що сукупність параметрів відповідає діагностичній інформації в порядку її одержання та модульному представленню способів її фіксування.

Вектор діагностичних параметрів, отриманий різними способами за певний момент часу t_k для технічного стану j -елемента, має вигляд:

$$D_j(t_k) = (D_{1j}^{t_k}, D_{2j}^{t_k}, \dots, D_{ij}^{t_k}, \dots, D_{(n-1)j}^{t_k}, D_{nj}^{t_k}), \quad (2.1)$$

де i – номер діагностичного параметру, $i = \overline{1, n}$; j – порядковий номер елемента системи управління технічним станом, $j = \overline{1, m}$; t_k – момент часу фіксації діагностичної інформації, $k = \overline{1, l}$.

Матрицю зведеної системи діагностичних параметрів ($i = \overline{1, n}$) для технічного стану різних елементів ($j = \overline{1, m}$) системи управління технічного стану агрегатів записували у вигляді:

$$D(t_k) = \{D_{ij}^{t_k}\} = \begin{pmatrix} D_{11}^{t_k} & D_{12}^{t_k} & \dots & D_{1j}^{t_k} & \dots & D_{1m}^{t_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_{i1}^{t_k} & D_{i2}^{t_k} & \dots & D_{ij}^{t_k} & \dots & D_{im}^{t_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_{k1}^{t_k} & D_{k2}^{t_k} & \dots & D_{kj}^{t_k} & \dots & D_{km}^{t_k} \end{pmatrix}, \quad (2.2)$$

Кожний діагностичний параметр в свою чергу для даного j -го елемента АТТ є також випадковою величиною, яка змінюється з напрацюванням t_l або з пробігом АТТ, тобто вектор $(D_{1j}^{(t)}, D_{2j}^{(t)}, \dots, D_{ij}^{(t)}, \dots, D_{n-1j}^{(t)}, D_{nj}^{(t)})$ можна розглядати не тільки як сукупності їх реалізацій, але і як сукупності значень випадкових функцій, що змінюються в часі.

При одержанні безперервної інформації про технічний стан j -го елемента по модулю парку машин за діагностичним параметром D_{ij} , доцільно її розглядати як функцію розподілу в часовому перерізі $\{t_0, t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_{n-1}, t_n\}$.

Якщо вид функції розподілу $D_{ij}(t)$ конкретного i -го діагностичного параметру, що описує технічний стан визначеного елемента, відомий, наприклад, нормальний закон розподілу, то для певного модуля парку машин можливо виділити прийнятний для системи ТО і Р інтервал його значень (рис. 2.1), які реалізуються в процесі діагностування.

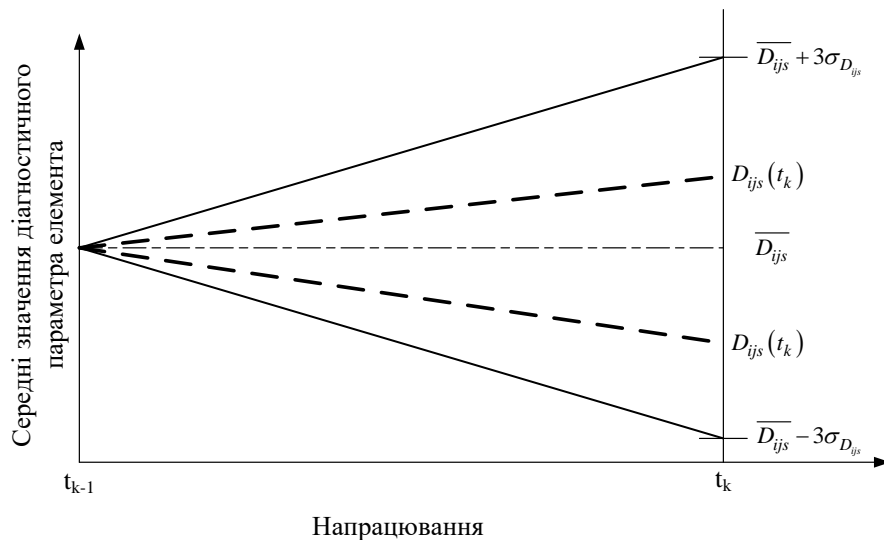


Рис. 2.1. Схематичне відображення інтервалу (прийнятеного коридору) реалізації значень випадкових функцій $D_{ij}(t)$ i -го діагностичного параметра технічного стану j -го елемента АТТ, розподіленого за нормальним законом, для s -модуля парку машин підприємства АПВ.

Для нормального закону розподілу діагностичного параметру D_{ijs} діапазон його реалізації знаходиться в межах $(\overline{D_{ijs}^{t_k}} - 3\sigma_{D_{ijs}}; \overline{D_{ijs}^{t_k}} + 3\sigma_{D_{ijs}})$.

Розподіл випадкової величини $D_{ijs}^{t_k}$ в k -му перерізі напрацювання є одномірним законом розподілу випадкової функції, отже не є повною та вичерпною його характеристикою.

Таким чином, з теоретичної точки зору [122] діагностичну інформацію зміни технічного стану елементів (вузлів, систем, агрегатів) АТТ та модулів парку машин можна подати у вигляді сукупності випадкових функцій розподілу визначених діагностичних параметрів.

Зазначимо, що питома вага $\xi_{D_{ij}}^{t_k}$ i -го діагностичного параметра технічного стану j -го елемента АТТ, що відноситься до s -модуля парку машин, при напрацюванні t_k дорівнює:

$$\xi_{D_{ij}}^{t_k} = \frac{\varphi_{D_{ijs}}^{t_k}}{\sum_{i=1}^n \varphi_{D_{ijs}}^{t_k}}, \quad (2.3)$$

де $\varphi_{D_{ijs}}^{t_k}$ – значимість діагностичного параметру, при визначенні технічного стану j -го елемента або модуля парку машин [123] (наприклад, концентрація продуктів зносу в моторній оливі виявлена за допомогою хімічного або спектрального аналізу проби). Загальна вага всіх діагностичних параметрів технічного стану стану j -го елемента АТТ, що відноситься до s -го модуля парку машин становить:

$$\sum_{i=1}^n \xi_{D_{ijs}}^{t_k} = 1, \quad j = \overline{1, m}, s = \overline{1, h}. \quad (2.4)$$

Ймовірність безвідмовної роботи j -го елемента АТТ або модуля парку машин дорівнює:

$$P_{js} \leq \prod_{i=1}^n \left(\left(P_{D_{ijs}} + \Delta P_{D_{ijs}} \right) \xi_{D_{ijs}}^{t_k} \right); \quad P_{js} \leq 1, \quad (2.5)$$

де $P_{D_{ijs}}$ – ймовірність безвідмовної роботи j -елемента визначена певним способом діагностики; $\Delta P_{D_{ijs}}$ – вплив непрогнозованих факторів на ймовірність безвідмовної роботи елементів АТТ і s -го модуля парку машин.

В свою чергу, точність прогнозу буде зростати при умові:

$$\text{якщо } \Delta P_{js} \Rightarrow 0, \text{ то } \Delta P_j \xi_{D_{ij}} \Rightarrow 0. \quad (2.6)$$

Ймовірність безвідмовної роботи j -го елемента машин як функції часу, визначається за виразом:

$$P_j(t) = \prod_{i=1}^n \exp \left(-k_e \int_{t_0}^t D_{ij}^t \left[\sum_{i=1}^n z_i \right] dt \right), \quad (2.7)$$

де z_i - сукупність діагностичних параметрів, що найбільше впливають на стан j -го елемента АТТ або модулю парку машин; k_e - коефіцієнт, що враховує дію експлуатаційних чинників.

У процесі експлуатації технічний стан елементів АТТ та модулів парку машин змінюється з певною швидкістю, що залежить як від внутрішніх факторів, обумовлених специфікою конструктивних та технологічних характеристик АТТ, а також зовнішніх факторів, залежних від умов експлуатації [124], методу вибору модулів парку машин та принципів побудови системи ТО і Р.

Поточний технічний стан j -го елемента АТТ певного модуля парку машин за діагностичною інформацією визначається вектором (2.1), а граничний стан, при граничному періоду напрацювання $t = t_{ep}$ – вектором:

$$D_j(t_{ep}) = \left(D_{1j}^{t_{ep}}, D_{2j}^{t_{ep}}, \dots, D_{ij}^{t_{ep}}, \dots, D_{n-1j}^{t_{ep}}, D_{nj}^{t_{ep}} \right) \quad (2.8)$$

Компоненти векторів діагностичної інформації елементів АТТ з плином часу відрізняються між собою. Цей факт можна охарактеризувати параметром α_{ij}^k зміни технічного стану j -го елемента для k -го періоду його напрацювання. За своїм змістом ця величина є випадковою і характеризує зміну діагностичного параметра на одиницю напрацювання.

Процес зміни технічного стану j -го елемента АТТ можна уявити як випадкові реалізації переходу визначальних діагностичних параметрів від початкових значень $D_{ij}^{t_0}$ до їх граничних значень $D_{ij}^{t_{zp}}$. Поточну зміну технічного стану $D_j(t)$ можна описати закономірністю:

$$D_j(t) = D_j(t_0) \exp(-\alpha_{ij}^t \cdot t) \quad (2.9)$$

де $D_j(t_0)$ – відповідно вектор технічного стану початкового моменту напрацювання t_0 j -го елемента за діагностичною інформацією; α_{ij}^t – параметр зміни технічного стану елемента за i -м діагностичним параметром при напрацюванні t .

Визначено, що експоненціальний закон зміни величин діагностичних параметрів найбільш повно відображує характер зниження рівня технічного стану елементів АТТ та модулів парку машин. В цьому полягає своєрідність складного комплексу процесів, що відповідають природному спрацюванню деталей, вузлів систем та агрегатів машин. Умова відмови елементів АТТ матиме вигляд [125]:

$$d_{ij} = \begin{cases} d_{ij}^{(1)} = \frac{D_{ij}(t)}{D_{ij}(t_{zp})}, & D_{ij}(t_{zp}) > D_{ij}(t_0); \\ d_{ij}^{(2)} = \frac{D_{ij}(t_{zp})}{D_{ij}(t)}, & D_{ij}(t_{zp}) < D_{ij}(t_0). \end{cases} \quad (2.10)$$

$$\lim_{d_{ij}(t) \rightarrow d_{ij}(t_{zp})} (d_{ij}) = 1. \quad (2.11)$$

Графічна інтерпретація результатів спостереження за технічним станом певного елемента АТТ, по відносній величині визначального діагностичного параметра, свідчить про можливість подання їх у вигляді сукупності реалізації діагностичної інформації про технічний стан. На рис. 2.2 приведена схематична залежність відносного діагностичного параметра d_{ij} на прикладі ЦПГ силового агрегату АТТ.

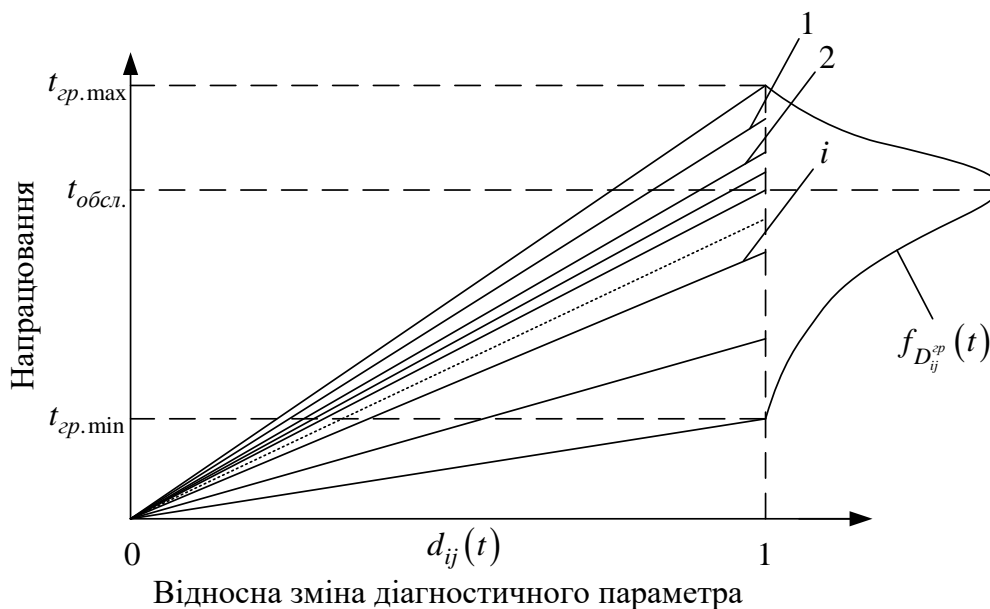


Рис. 2.2. Схематичне відображення можливості управління технічним станом j -го елемента АТТ за виглядом функції відносної величини визначальних діагностичних параметрів від напрацювання (пробігу): 1 – стан та властивості моторної оливи; 2 – технічний стан ЦПГ; i – інші діагностичні параметри технічного стану ($i = \overline{1, n}$); $f_{D_{ij}^{ep}}(t)$ – щільність розподілу граничних значень діагностичних параметрів.

Можна бачити, що досягнення діагностичними параметрами технічного стану елемента АТТ граничної величини відбуваються в різні моменти часу експлуатації АТТ. Сукупність граничних значень діагностичних параметрів утворює цілу область з певним законом розподілу $f(D_{ij}^{ep}(t))$.

2.2. Зв'язок діагностичної інформації елементів автотракторної техніки з показниками їх експлуатаційної надійності

Оскільки зміна визначальних діагностичних параметрів технічного стану елементів АТТ у процесі експлуатації описується стохастичним марківським процесом [126, 127], то їх перехід з одного стану в інший можна описати функцією $f(t, D)$. При цьому диференціальне рівняння ймовірності переходу з одного стану в інший у частинних похідних від

функції умовної щільності $\omega(t, D)$, де D – вектор (матриця) діагностичної інформації про технічний стан елементів АТТ або модулів парку машин, матиме вигляд:

$$\frac{\partial \omega(t, D)}{\partial t} + a \frac{\partial \omega(t, D)}{\partial D} = b^2 \frac{\partial \omega(t, D)}{\partial D^2}, \quad (2.12)$$

де t – напрацювання (пробіг); a - середня швидкість зміни визначального діагностичного параметра $D = D(t)$ (наприклад, швидкість зносу); b - коефіцієнт потоку ймовірностей технічного стану, b^2 - середня швидкість зміни дисперсії визначального діагностичного параметра (діагностичного вектора).

Зазначимо, що умовна щільність $\omega(t, D)$ ймовірності реалізації технічного стану елемента АТТ має простий зв'язок з щільністю розподілу напрацювання (пробігу) до відмови:

$$f(t) = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \omega(D_0(t_0), D(t))}{\partial t} dD. \quad (2.13)$$

Розв'язок диференціального рівняння (2.12), з урахуванням співвідношення (2.13) при граничних значеннях діагностичних параметрів, приводить до закону розподілу тривалості експлуатації до відмови:

$$f(t) = \frac{1}{bt\sqrt{2\pi t}} \exp \left[-\frac{(1-at)^2}{2b^2 t} \right]. \quad (2.14)$$

В науковій літературі [128, 129] цей розподіл є потоковим немонотонним розподілом (DN-розподілом) або математичною моделлю відмов. В математичній моделі відмов коефіцієнт b дорівнює:

$$b = \frac{\sigma_a}{\sqrt{a}} = V_{зм} \sqrt{a}, \quad (2.15)$$

де $V_{зм}$ – коефіцієнт варіації процесу зміни технічного стану елемента або АТТ в цілому.

Зазначимо, що у моделі відмов коефіцієнт варіації V_t напрацювання (пробігу) до відмови елементів АТТ збігається з коефіцієнтом варіації швидкості, що відбуваються у процесах зміни технічного стану: $V_{зм} = V_t$. А

тому при визначенні ресурсних показників елементів АТТ зручніше користуватися не середньою швидкістю зміни технічного стану a , а масштабним фактором розподілу $\mu_\phi = \frac{1}{a}$ і математична модель відмов

(2.14) набуває вигляду:

$$f(t) = \frac{\sqrt{\mu_\phi}}{V_t t \sqrt{2\pi t}} \exp\left[-\frac{(\mu_\phi - t)^2}{2V_t^2 \mu_\phi t}\right]. \quad (2.16)$$

Згідно роботи [129], математичне сподівання випадкової величини t є першим початковим статистичним моментом. Напрацювання (пробігу) до відмови t_B можливо визначити за виразом:

$$t_B = \int_0^{\infty} t f(t) dt. \quad (2.17)$$

Підставивши вираз (2.16) у вираз (2.17), отримаємо:

$$t_B = \int_0^{\infty} t \frac{\sqrt{\mu_\phi}}{2V_t t \sqrt{2\pi t}} \exp\left[-\frac{(\mu_\phi - t)^2}{2V_t^2 \mu_\phi t}\right] dt = 2 \frac{\sqrt{\mu_\phi}}{V_t \sqrt{2\pi}} \exp(V_t^{-2}) \sqrt{\mu_\phi} V_t \sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp(-V_t^{-2}) = \mu_\phi. \quad (2.18)$$

Отже, масштабний параметр μ_ϕ розподілу відмов $f(t)$ має фізичний зміст усередненого напрацювання пробігу АТТ до відмови.

За результатами робіт [129, 130] потоковий немонотонний розподіл (2.14), має наступні статистичні характеристики:

- дисперсія напрацювання (пробігу) t до відмови дорівнює:

$$\sigma_t^2 = \int_0^{\infty} (t - \mu_\phi)^2 f(t) dt; \quad (2.19)$$

- статистичні моменти відмов становить:

$$M_t = \mu_\phi; \quad \sigma_t^2 = \mu^2 V_t^2; \quad A_s = 3V_t; \quad E_x = 15V_t^2. \quad (2.20)$$

Основними властивостями зазначених статистичних характеристик є:

- асиметрія $A_s > 0$ і ексцес $E_x > 0$, а математичне сподівання M_t – зміщене праворуч відносно медіани, тобто щільність розподілу описується асиметричною одномодальною кривою з більш витягнутою правою віткою;

- при фіксованому масштабному параметрі μ_ϕ зі зменшенням параметра V_t максимум розподілу $f(t)$ зміщується праворуч за стрілкою годинника з одночасним зменшенням амплітуди розподілу і наступним її збільшенням, причому, всі центральні статистичні моменти розподілу (дисперсія, асиметрія та ексцес) зменшуються;

- при фіксованому параметрі V_t зі збільшенням μ_ϕ , тобто зі зсувом розподілу вправо за стрілкою годинника і його деформуванні, дисперсія збільшується, а коефіцієнти асиметрії й ексцесу залишаються сталими.

- для даної функції розподілу $f(t)$ характерною є стійкість до швидкості зміни технічного стану елементів АТТ.

Математична модель (2.16) дає можливість визначити максимальне напрацювання (пробігу) АТТ до відмови з умови:

$$\frac{\partial f(t)}{\partial t} = 0, \text{ при } t = t_{\max} \quad (2.21)$$

Врахувавши вираз функції розподілу (2.16) в умові (2.21), отримаємо алгебраїчне рівняння:

$$t_{\max}^2 + 3V_t^2 \mu_\phi t_{\max} - \mu_\phi^2 = 0, \quad (2.22)$$

Розв'язок цього рівняння є максимальне напрацювання (пробігу) АТТ до відмови:

$$t_{\max} = -\frac{-3 \cdot V_t \cdot \mu_\phi + \sqrt{9 \cdot V_t^4 \cdot \mu_\phi^2 + 4 \cdot \mu_\phi^2}}{2} = 0,5 \cdot \mu_\phi \cdot \left(3V_t^2 + (9V_t^4 + 4)^{0,5} \right) \quad (2.23)$$

Зазначимо, що модель відмов елементів АТТ має універсальний характер: при $V_t^2 \rightarrow 0$ розподіл $f(t)$ асимптотично збігається до нормального закону розподілу; інтенсивність відмов – має немонотонний характер і в асимптотичному наближенні прямує до певного сталого значення. Параметри $f(t)$ – розподілу можуть бути оцінені як на основі статистики відмов, так і на основі аналізу фізичних процесів зміни технічного стану елементів АТТ.

Ступінь адекватності моделей технічного стану елементів АТТ та модулів парку машин встановлюють залежністю від їх можливостей щодо

вирівнювання статистичних даних діагностичної інформації, а також зіставленням прогнозованих теоретичних розподілів відмов і базою експериментальних даних. Моделі мають фізичний зміст і достатню ступінь адекватності для їх практичного використання, яка залежить від рівня отримання діагностичної інформації та ступеня її об'єктивності і точності.

2.3 Метод оцінки міждіагностичних інтервалів при незначному числі діагностування технічного стану елементів автотракторної техніки

Методи теорії надійності дають можливість оцінювати вплив різних факторів на технічний стан з методами контролю діагностики та системою ТО і Р. Якщо $D(t)$ – функція значень ресурсовизначального діагностичного параметру в момент напрацювання t , то вплив сукупності зовнішніх і внутрішніх факторів на швидкість її зміни дає можливість урахувати випадкові процеси. Графічна інтерпретація різних варіантів зміни діагностичного параметру від напрацювання наведена на рис.2.3.

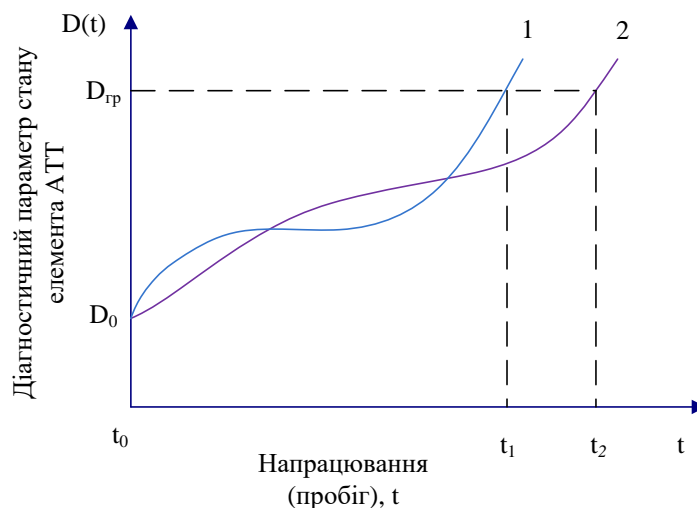


Рис. 2.3. Схематичне відображення тенденції зміни діагностичного параметру при виборі інтервалу напрацювання при поділу парку машин на модулі, коли надаються певні технічні дії за системою ТО і Р

Можна бачити, що величина $D(t)$, змінюючись в часі за різними варіантами від деякого початкового значення D_0 , $t=t_0$ може досягати свого граничного значення D_{zp} , що дві множини значень $D(t)$, відповідають працездатному стану елемента АТТ. Це приводить до необхідності розв'язання завдання: знаючи зміну $D(t)$, знайти функцію розподілу відмов $f(t)$ в теорії надійності.

Виходячи з рис. 2.3, значення визначального діагностичного параметра можливо, представити у вигляді:

$$D_t = D_0 + d_t, \quad (2.24)$$

де d_t – величина, що характеризує ймовірнісний процес зміни діагностичного параметра. При цьому доцільним є теоретичний аналіз відомих моделей, як функцій розподілу, які можуть бути реалізовані при напрацюванні (пробігу) t : α -розподіл, U-розподіл, розподіл Бірбаума-Саундерса, зворотній розподіл Гаусса:

$$D(t) = D_0 \left[1 + (t/t_{\max})^2 \right];$$

$$D(t) = D_0 \left[1 + (t/t_{\max})^n \right]; \quad (2.25)$$

$$D(t) = D_0 \left[1 + c \left\{ 1 - \exp \left[-(t/t_{\max})^n \right] \right\} \right]$$

При використанні α -розподілу, маємо:

$$d_t = \xi_D \cdot t, \quad (2.26)$$

де ξ_D - випадкова величина, що описує середню швидкість зміни визначального діагностичного параметру. Якщо величина ξ_D має зрізаний нормальний закон, то напрацювання (пробіг) t матиме α - розподіл з щільністю ймовірності [131, 132]:

$$f(t) = \frac{k_{zp} \cdot \alpha}{\sqrt{2\pi t^2}} \exp \left[-(\alpha/t - \beta)^2 \right], \quad t_{\min} < t < t_{\max}, \quad (2.27)$$

де $\alpha = (D_{zp} - D_0) / \sigma_{\xi_D}$ – відносний запас по довговічності; $\beta = \mu / \sigma_t$ – коефіцієнт однорідності швидкості зміни параметра; m_{ξ_D} , σ_{ξ_D} – параметри зрізаного нормального закону; k_{zp} – константа зрізання:

$$k_{zp} = \left[\psi \left\{ \alpha / t_{\min} - \beta \right\} - \psi \left\{ \alpha / t_{\max} - \beta \right\} \right]^{-1} \quad (2.28)$$

де $\psi \{x\}$ – функція Лапласа на інтервалі $(-\infty, \xi_D)$. При цьому напрацювання складає:

$$t = \frac{\Delta}{\xi_D} = (D_{zp} - D_0) / \xi_D \quad (2.29)$$

Для U-розподілу, інтегральна функція має вигляд:

$$F(t) = k_{zp} \left[\exp(-\alpha / t) - \exp(-\alpha / t_{\min}) \right], \quad (2.30)$$

$$\text{де } k_{zp} = \left[\exp(-\alpha / t_{\max}) - \exp(-\alpha / t_{\min}) \right]^{-1}. \quad (2.31)$$

При цьому функція інтенсивності відмов дорівнює:

$$\lambda(t) = \alpha \exp(-\alpha / t) \left\{ \left[\exp(-\alpha / t_{\max}) - \exp(-\alpha / t) \right] \cdot t^2 \right\} \quad (2.32)$$

Для U-розподілу гамма-відсоткове напрацювання (пробіг) АТТ, з врахуванням (2.31), дорівнює:

$$t_\gamma = a / \left\{ -\ln \left[[1 - \gamma] \exp(-a / t_{\max}) + \gamma \cdot \exp(-a / t_{\min}) \right] \right\}, \quad a > 0. \quad (2.33)$$

При реалізації розподілу Бірнбаума-Саундерса вважаємо, що задано процес відновлення M_i , $i = 1, 2, \dots$ на інтервалах напрацювання $t_M = \sum_{i=1}^k t_{iM}$, на яких визначальний діагностичний параметр змінюється стрибкоподібно:

$$D(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} D_i; \quad N(t) = \max(k_{zp}; t_M \leq t), \quad (2.34)$$

де $N(t)$ – число стрибків діагностичного параметру за напрацювання t .

Якщо параметри t_{iM} ; D_i незалежні і однаково розподілені, то при $t \rightarrow \infty$ величина $D(t)$ для моделі (2.33) прямує до нормального закону, а напрацювання (пробіг) t має розподіл Бірнбаума-Саундерса. При цьому

функція розподілу, ймовірність безвідмовної роботи і щільність розподілу дорівнюють:

$$\begin{aligned} F(t) &= \Psi\left[(\beta t - \alpha) / \sqrt{t}\right], t > 0; \\ P(t) &= \Psi\left[(\alpha - \beta t) / \sqrt{t}\right], t > 0; \\ f(t) &= \left[(\beta t + \alpha) / \left(2\sqrt{2\pi t^3}\right) \right] \exp\left[-(\alpha - \beta t) / \sqrt{t}\right], t > 0. \end{aligned} \quad (2.35)$$

Зазначимо, що інтенсивність відмов $\lambda(t)$ є обмеженою функцією:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda(t) = \beta^2 / 2. \quad (2.36)$$

Враховуючи (2.36) $t \rightarrow \infty$ це основні статистичні характеристики напрацювання дорівнюють:

$$\bar{t} = \alpha / \beta + \beta^2 / 2; \sigma_t^2 = \alpha / \beta^2 + 5 \cdot \beta^4 / 4; V_t = \sigma_t / \bar{t}. \quad (2.37)$$

За методом моментів можливо оцінити параметри β і α :

$$\tilde{\beta} = \left(\frac{\tilde{t} + \left(\tilde{t}^2 + 3 \cdot (\tilde{\sigma}_t^2)^{0.5} \right)}{2 \cdot \tilde{\sigma}_t^2} \right)^{0.5}; \tilde{\alpha} = \tilde{\beta} \cdot \tilde{t} - 0.5 / \tilde{\beta}, \quad (2.38)$$

де \tilde{t} , $\tilde{\sigma}_t^2$ - оцінки математичного очікування і дисперсії.

Для розподілу Бірнбаума-Саундерса (2.35) гамма-відсотковий ресурс t_γ дорівнює:

$$t_\gamma = \left[2\alpha\beta + z_q^2 + z_q \left(4\alpha\beta + z_q^2 \right)^{0.5} \right] / \left(2\beta^2 \right), \quad (2.39)$$

де z_q - квантиль нормального закону, при $q = 1 - \gamma$.

За зворотним розподілом Гаусса момент досягнення рівня граничного значення D_{zp} визначального діагностичного параметру, апроксимується вінерівським процесом:

$$D(t) = D_0 + \mu_\phi t - \sigma_t D_t; \mu_\phi > 0. \quad (2.40)$$

Зворотний розподіл Гаусса є DN – розподілом [133], через те, що

процес (2.40) є немонотонним. При цьому маємо:

$$\begin{aligned}
 F(t) &= \psi\left[(\beta t - \alpha) / \sqrt{t}\right] + \exp(2\alpha\beta)\psi\left[-(\beta t - \alpha) / \sqrt{t}\right], t > 0; \\
 f(t) &= \left[\alpha / \sqrt{2\pi t^3}\right] \exp\left[-(\alpha - \beta t)^2 / 2t\right], t > 0; \\
 P(t) &= \psi\left[(\alpha - \beta t) / \sqrt{t}\right] - \exp(-2\alpha\beta)\psi\left[-(a + \beta t) / \sqrt{t}\right].
 \end{aligned}
 \tag{2.41}$$

Інтенсивність відмов також є обмеженою функцією:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda(t) = \beta^2 / 2,
 \tag{2.42}$$

а математичне очікування, дисперсія і коефіцієнт варіації дорівнюють:

$$\bar{t} = \alpha / \beta; \quad \sigma_t^2 = \alpha / \beta^3; \quad V_t = (\alpha\beta)^{-0.5}.
 \tag{2.43}$$

Використовуючи метод моментів, отримаємо наступні оцінки параметрів:

$$\tilde{\beta} = \left(\frac{\tilde{t}}{\tilde{\sigma}_t^2}\right)^{0.5}; \quad \tilde{\alpha} = \tilde{\beta} \tilde{t},
 \tag{2.44}$$

де \tilde{t} , $\tilde{\sigma}_t^2$ - оцінки математичного очікування і дисперсії.

У випадках коли, діагностичний параметр має закономірність зміни $D(t) = (\alpha + \beta t) / \sqrt{t}$ і $D > D_{ep}$, то функція Лапласа дорівнює $\varphi(-D) = 0$ [134]. При цьому має місце нерівність $(\alpha + \beta t) / \sqrt{t} > \Delta_{\min}$, де Δ_{\min} - мінімальна зміна діагностичного параметру, еквівалентна виразу:

$$\beta^2 t^2 - (D_{ep}^2 - 2\alpha\beta)t + \alpha^2 \geq 0;
 \tag{2.45}$$

$$t_{1,2} = \left(D_{ep}^2 - 2\alpha\beta \pm \sqrt{D_{ep}^2 - 4\alpha\beta}\right) / 2\beta^2.
 \tag{2.46}$$

Виявлено також, що незалежно від напрацювання (пробігу) АТТ t , при умові:

$$\alpha\beta > D_{ep}^2 / 4,
 \tag{2.47}$$

функції розподілів зворотного гауссівського і Бірнбаума-Саундерса еквівалентні між собою (рис. 2.4).

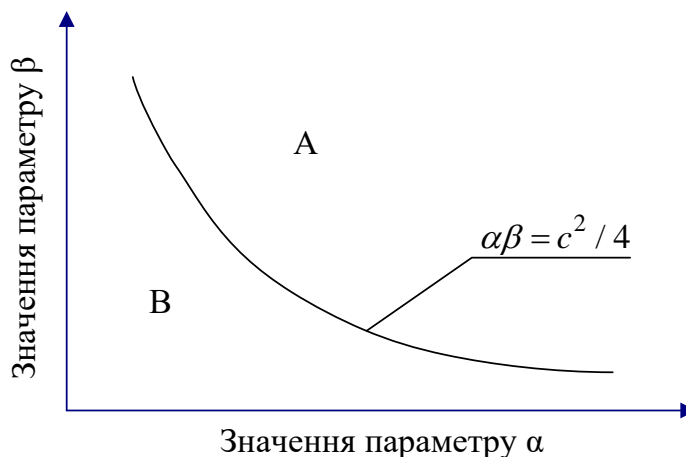


Рис. 2.4. Графічна інтерпретація взаємозв'язку параметрів відносно запасу по довговічності α і швидкості зміни діагностичного параметру β

Крива взаємозв'язку параметрів α і β поділяє площину на дві області A і B . В області B функція зворотного гауссівського розподілу має вигляд (2.35), при $t > t_1$ або $t > t_2$, а при $t \in [t_1, t_2]$ (2.41). Проведеними теоретичними дослідженнями виявлено, що при незначному числі діагностик потрібно використовувати методи теорії надійності та ймовірності, що формують закони розподілу напрацювання (пробігу) АТТ підчас експлуатації і модулів парку машин. Встановлено межі використання кожного із розглянутих законів розподілу та сформовано основні аналітичні залежності параметрів, що їх описують. Вони дають можливість виявити теоретично обґрунтовані напрацювання моментів діагностування з врахуванням неконтрольованих параметрів технічного стану, що є підґрунтям для створення елементно-модульною системою ТО і Р, а також є можливістю оцінки γ -відсоткового технічного стану досліджуваних елементів АТТ.

2.4 Математичне моделювання раціональної періодичності ремонтно-обслуговуючих впливів на елементи АТТ та модулів парку машин

В якості типових математичних моделей системи ТО і Р АТТ, що експлуатуються на підприємствах АПВ, можна розглядати системи

масового обслуговування (СМО). Це клас математичних схем, розроблених в теорії масового обслуговування (ТМО) та в різних її додатках формалізації процесів функціонування систем, які за своєю суттю є процесами обслуговування [129, 133, 135, 136].

У будь-якому технологічному процесі обслуговування можна виділити дві складові: очікування обслуговування і власне обслуговування заявки. Для процесу обслуговування АТТ характерним є випадкова поява заявок і завершення обслуговування у випадкові моменти часу, тобто спостерігається стохастичний характер процесу його функціонування.

В ТМО розглядають два типи СМО: розімкнуті і замкнуті. В розімкнутих СМО вихідний потік обслуговуваних заявок не може знову вступити в систему, через відсутність зворотного зв'язку. В той час в замкнених СМО наявний зворотний зв'язок. Також СМО можуть мати статичні і динамічні пріоритети. Статичні пріоритети призначаються заздалегідь і не залежать від стану СМО. Вони є фіксованими в межах вирішення конкретного завдання моделювання. Динамічні пріоритети виникають при моделюванні в залежності від виникаючих ситуацій. Спостерігається абсолютний пріоритет, який полягає в тому, що заявка з більш високим пріоритетом перериває обслуговування заявки з більш низьким пріоритетом і сама займає канал обслуговування.

Виходячи з модульної структури парку машин, його можна розглядати як одноканальну систему з марковським вхідним потоком заявок, що надходять з інтенсивностями $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_s$, де s число модулів в парку машин та марковським потоком обслуговування. Зазначимо, що число місць в черзі для всіх заявок не є обмеженою. Середня тривалість обслуговування заявок на технічний сервіс парку машин різних модулів дорівнює $\overline{T_{M_1}}, \overline{T_{M_2}}, \dots, \overline{T_{M_s}}, \dots, \overline{T_{M_l}}$.

Через те, що процес обслуговування починається при відсутності заявок в накопичувачі, то стани СМО можуть бути представлені системою рівнянь:

$$P_n(t + \Delta t) = P_n(t) [1 - (\lambda + \mu)\Delta t] + P_{n-1}(t)\lambda\Delta t + P_{n+1}(t)\mu\Delta t, n > 0; \quad (2.47)$$

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t)[1 - \lambda\Delta t] + P_1(t)\mu\Delta t,$$

де $P_n(t)$ – ймовірність знаходження системи ТО і Р в стані, коли в ній є n заявок; λ – інтенсивність потоку вхідної черги; μ – інтенсивність потоку обслуговуваних заявок.

Необмежений потік заявок має наступні характеристики функціонування такої системи: середня кількість обслуговуваних машин кожного модуля $\overline{N_{M_s}}$; середній час перебування машин різних модулів в черзі $\overline{T_{M_s}^{(Ч)}}$ і простою в обслуговуванні $\overline{T_{M_s}^{(П)}}$. Операційною інформацією в даному випадку є:

$$\text{- вхідна інформація: } I_{ex}(\lambda_1, \lambda_2, \dots; \overline{T_{M_1}}, \overline{T_{M_2}}, \dots, \overline{T_{M_s}}, \dots, \overline{T_{M_l}}); \quad (2.48)$$

$$\text{- вихідна інформація: } Y_{вих}(\overline{N_{M_i}}, \overline{T_{M_i}^{(Ч)}}, \overline{T_{M_i}^{(П)}}). \quad (2.49)$$

Для побудови математичної моделі системи технічного сервісу АТТ, що експлуатується на підприємствах АПВ як СМО, використаємо ряд припущень:

- ТО машин закордонного виробництва здійснюється на базі дилерів силами спеціалізованих бригад;
- ТО машин, взятих у лізинг, здійснює лізингодавець;
- з огляду на реальні характеристики АТТ основною ознакою для поділу машин на окремі модулі є вік машин.

В реальних умовах виробничої експлуатації основне навантаження з виконання програми транспортних і технологічних завдань зазнають пріоритетний модуль парку машин. Цей модуль будемо вважати пріоритетним з точки зору ТО.

Нехай маємо парк машин з s модулями в кількості $N_1, N_2, \dots, N_b, \dots, N_s$ і N_2 і потік заявок на їх обслуговування буде обмежуватися сумою заявок від машин, що відносяться до того чи іншого модулю.

При цьому середні значення напрацювання на відмову цих модулів $\overline{T_{01}}, \overline{T_{02}}, \overline{T_{0l}}, \overline{T_{0s}}$ і відповідно середня тривалість відновлення їх

працездатності $\overline{T_{M1}}, \overline{T_{M2}}, \dots, \overline{T_{Ml}}, \dots, \overline{T_{Ms}}$ є випадковими величинами, які утворюють потік подій, розподіл ймовірностей яких описується формулою Пуасона:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} \exp(-\lambda t), \quad (2.50)$$

де $P_n(t)$ ймовірність появи числа заявок за певний проміжок часу.

Математична модель функціонування парку машин будується на припущенні, що розподіл напрацювання (пробігу) на відмову і тривалість усунення дефектів, що викликали відмову, описуються експоненціальним законом розподілу. Основними параметрами системи технічного сервісу для цих модулів парку машин будуть:

- інтенсивності потоку заявок від кожної з машин окремого модуля:

$$\lambda_1 = \frac{1}{T_{01}}; \lambda_2 = \frac{1}{T_{02}}; \dots; \lambda_l = \frac{1}{T_{0l}}; \dots; \lambda_s = \frac{1}{T_{0s}}; \quad (2.51)$$

- інтенсивності потоку обслуговування одним каналом машин двох модулів:

$$\mu_1 = \frac{1}{T_{M1}}; \mu_2 = \frac{1}{T_{M2}}; \dots; \mu_s = \frac{1}{T_{Ms}}; \dots; \mu_l = \frac{1}{T_{Ml}}. \quad (2.52)$$

Стани системи ТО і Р модулів парку машин як керованої СМО є різними і визначаються числом заявок в системі на обслуговування машин кожного модуля. При цьому в кожному випадку певна кількість заявок буде виконуватися, а інші очікувати своєї черги.

Визначення оптимальної кількості каналів обслуговування l здійснюється за основними параметрами: $N_1, N_2, \dots, N_l, \dots, N_s, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l, \dots, \lambda_s, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_l, \dots, \mu_s$. Число каналів обслуговування для двох модулів парку машин дорівнює:

$$s = s_1 + s_2; \quad (2.53)$$

$$s_1 = \frac{N_1 \rho_1}{1 + \rho_1}; s_2 = \frac{N_2 \rho_2}{1 + \rho_2}; \dots; s_l = \frac{N_l \rho_l}{1 + \rho_l}; \dots; s_s = \frac{N_s \rho_s}{1 + \rho_s}; \quad (2.54)$$

$$\rho_1 = \frac{\overline{T_1}}{T_{01}}; \rho_2 = \frac{\overline{T_2}}{T_{02}}; \dots; \rho_l = \frac{\overline{T_l}}{T_{0l}}; \dots; \rho_s = \frac{\overline{T_s}}{T_{0s}}. \quad (2.55)$$

Для одноканальної математичної моделі системи технічного сервісу двох модулів парку машин основні параметри роботи дорівнюють:

- середня тривалість перебування машин кожного модуля в черзі:

$$\overline{t_{M_1}^{(ч)}} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\rho_1}{1 - \rho_1}; \quad \overline{t_{M_2}^{(ч)}} = t_{обсл.1} - \frac{1}{\mu_2}; \quad \dots; \quad \overline{t_{M_l}^{(ч)}} = t_{обсл.(l-1)} - \frac{1}{\mu_l}; \quad \dots;$$

$$\overline{t_{M_s}^{(ч)}} = t_{обсл.(s-1)} - \frac{1}{\mu_s}.$$

(2.56)

- середній час перебування машин кожного модуля в обслуговуванні:

$$\overline{t_{M_1}} = \frac{1}{\mu_1} \cdot \frac{1}{1 - \rho_1}; \quad \overline{t_{M_2}} = \frac{N_{np}}{\lambda_2}; \quad \dots; \quad \overline{t_{M_l}} = \frac{N_{np}}{\lambda_l}; \quad \dots; \quad \overline{t_{M_s}} = \frac{N_{np}}{\lambda_s} \quad (2.57)$$

де N_{np} - середнє число машин з пріоритетом в черзі на обслуговування ($N_{np} = N_1$).

Таким чином, використовуючи СМО, можливе визначення раціональної кількості каналів обслуговування та терміни обслуговування кожного модуля АТТ.

2.5 Управління експлуатаційною надійністю елементів автотракторної техніки в елементно-модульній системі технічного обслуговування та ремонту

Управлінням технічним станом АТТ на основі діагностичного інформаційного забезпечення можна гарантувати прийнятний рівень експлуатаційної надійності на основі впровадження елементно-модульної системи ЕМС ТО і Р. Призупинення процесу втрати працездатності й забезпечення рівня експлуатаційної надійності АТТ є основними завданнями ЕМС ТО і Р [137, 138]:

- відповідність інтенсивності технічної експлуатації фактичному технічному стану;
- проведення необхідного і достатнього обсягу робіт по ТО, ПР і КР;
- належне і своєчасне управління ресурсом агрегатів АТТ.

В зв'язку з цим діагностичні параметри, а отже і технічний стан машин, будуть змінюватися в певних межах [139], які використовують для виділення модулів в існуючому парку машин підприємства і його можна характеризувати ступенем відновлення $\mu^{(B)}$. Для першого періоду напрацювання ступінь відновлення технічного стану дорівнює:

$$\mu_1^{(B)} = \left(\mu_{11}^{(B)}, \mu_{12}^{(B)}, \dots, \mu_{1i}^{(B)}, \dots, \mu_{1n}^{(B)} \right), \quad (2.58)$$

де $\mu_{1i}^{(B)} = \frac{D_{1i}}{D_{0i}}$, причому $\mu_{1i}^{(B)} \leq 1$; D_{0i} , D_{1i} - відповідно значення i -го діагностичного параметру в початковий момент та в кінці першого відновлення технічного стану. При цьому зміну діагностичного параметру можна визначити за виразом:

$$\Delta D_1 = D_0 \left(\mu_1^{(B)} - \exp(-\alpha_1 t_1) \right) \quad (2.59)$$

Зміна діагностичного параметру після n -ної технічної дії становить [140]:

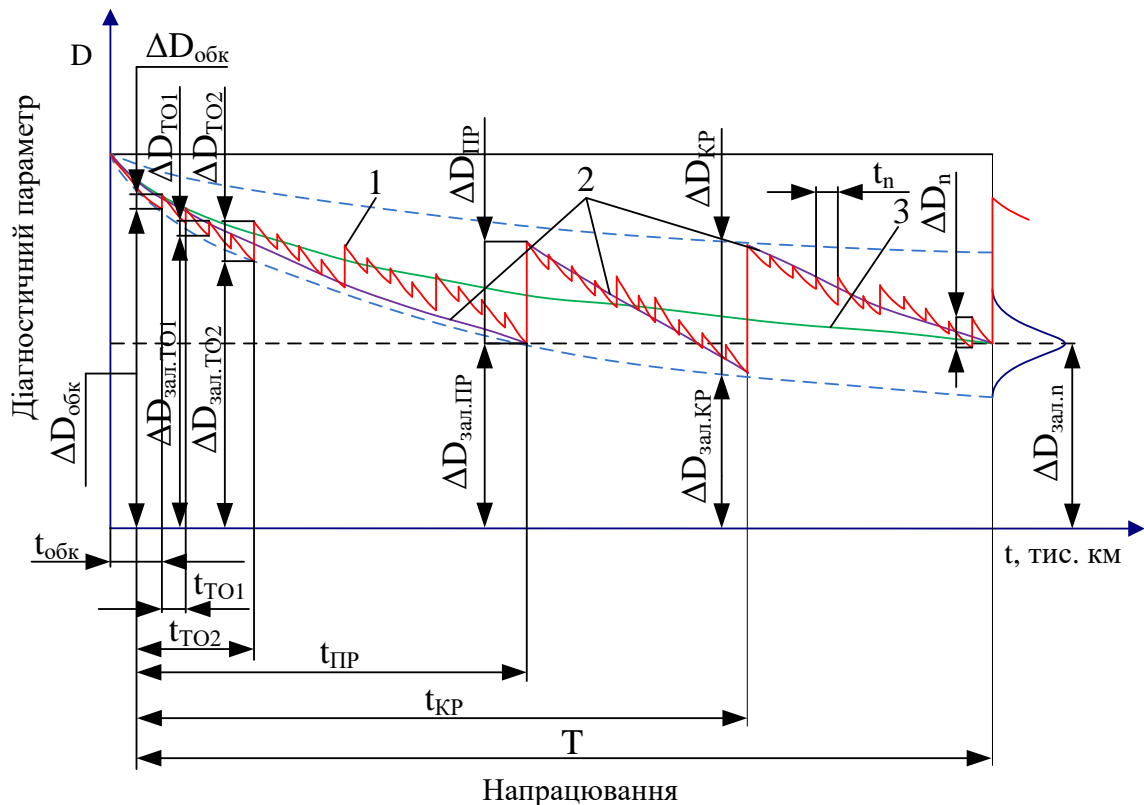
$$D_n(t) = D_{0n} \exp(-\alpha_n t_n); \quad (2.60)$$

$$\Delta D_n(t) = D_{n-1} \left(\mu_1^{(B)} - \exp(-\alpha_n t_n) \right); \quad (2.60)$$

$$D_n(t) = D_{n-1}(t) \beta_n. \quad (2.61)$$

Оскільки процес зміни технічного стану елементів АТТ (діагностичного параметру) носить випадковий характер, то його можна описати узагальненим випадковим процесом, який характеризується швидкістю їх спрацювання та відновлення. Його графічна інтерпретація, представлена на (рис. 2.5), наближено характеризує середнє значення випадкової функції зміни технічного стану за зміною ресурсових значень діагностичних параметрів, а визначеному моменту часу відповідає певне напрацювання агрегатів і вид технічних дій щодо поліпшення технічного стану зовнішнім впливом (ТО, ПР, КР). Враховуючи те, що елемент АТТ можна використовувати до певних граничних значень діагностичного параметру D_{ep} , слід припустити, що тривалість роботи його визначальних

підсистем до поточного (рис. 2.5, крива 2) та капітального (рис. 2.5, крива 3) ремонту визначиться функцією випадкового процесу з горизонталлю $D_{зр}$.



1 та 2 – зміна технічного стану агрегату між ТО та міжремонтний термін; 3 – його усереднена зміна; $\Delta D_{обк}$, $\Delta D_{ТО-1}$, $\Delta D_{ТО-2}$, $\Delta D_{ПР_n}$, $\Delta D_{КР}$, ΔD_n – відповідні зміни діагностичного параметру при обкатці, ТО-1, ТО-2, плановому ПР, КР; $D_{зал}$ – значення діагностичного параметру при відповідному напрацюванню t .

Рис. 2.5 Управління експлуатаційною надійністю елементів АТТ в системі ТО і Р при зміні технічного стану за діагностичним параметром

Граничний ресурс елемента АТТ, з врахуванням виразу (2.10), дорівнює:

$$T_{зр} = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{D(t)}{D_{зр}}. \quad (2.63)$$

Величина цього показника довговічності є випадковою і її можна описати законом нормального розподілу [141, 142]:

$$f(T_{zp}) = \frac{1}{V_t T_{zp} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(T - T_{zp})^2}{2V_t^2 T_{zp}^2}\right), \quad (2.64)$$

де V_t - коефіцієнт варіації ресурсу агрегату АТТ.

Оскільки повинна забезпечуватись відповідність між процесами зміни технічного стану елемента АТТ за пилкоподібною функцією погіршення і відновлення технічного стану, що описується узагальненим випадковим процесом, то можна використати процедуру згладжування процесу, що описується кривою 3 (рис. 2.5). При цьому узагальнений випадковий процес вимагає, виконання умови: площі обмежені кривими ресурсовизначальним діагностичним параметром 2 за певні періоди дорівнюють площі, що обмежена кривою 3.

$$\int_0^{T_{zp}} D_i(T) dt = \int_0^{t_1} D_{1i}(t) dt + \int_{t_1}^{t_2} D_{2i}(t) dt + \dots + \int_{t_{n-1}}^{t_n} D_{ni}(t) dt. \quad (2.65)$$

Міжремонтний ресурс елемента, з урахуванням зміни діагностичних параметрів, можна визначити за виразом:

$$T_{mp} = \int_0^{t_{mp}} D_{0i} \exp(-\lambda_i t) dt = \frac{D_i(t)}{\lambda_i} (1 - \exp(-\lambda_i t_{mp})), \quad (2.66)$$

Тоді в момент напрацювання t_1 залишковий ресурс дорівнює:

$$\begin{aligned} T(t_1) &= \int_{t_1}^{t_{mp}} D_i(t) \exp(-\lambda_i t) dt = \\ &= \frac{D_i(t)}{\lambda_i} (\exp(-\lambda_i t_{mp}) + \exp(-\lambda_i t_1)). \end{aligned} \quad (2.67)$$

При цьому, величина використаного ресурсу становить:

$$T_{вих} = T_{mp} - T(t_1) = \frac{D_i(t)}{\lambda_i} (1 - \exp(-\lambda_i t_1)) \quad (2.68)$$

Запропонований підхід системи управління технічним станом елементів АТТ в цілому за діагностичною інформацією дозволяє з достатньою ймовірністю визначити граничний, залишковий та використаний ресурс і найбільш обґрунтовано прийняти конкретні технічні рішення по відновленню їх технічного стану і реалізувати систему

ТО і Р в будь-які моменти експлуатації, визначити оптимальні терміни та обсяг робіт по ТО, ПР і КР. Крім того, можна планувати більш раціональне використання АТТ на підприємствах АПВ.

Оскільки метод синтезованої кількісної оцінки технічного стану базується на показниках діагностичної інформації та ресурсу елементів АТТ та модулів парку машин, то їх працездатний стан в конкретний момент часу можна уявити як функціональну залежність [143-145]:

$$R_t^M = F(D_t, T_R), \quad (2.69)$$

$$\text{при } \lim T_R \rightarrow 0; \lim R_t^M \rightarrow 0. \quad (2.70)$$

Доцільність відновлення технічного стану елементів АТТ системою ТО і Р з економічної точки зору можна оцінити величиною затрат на здійснення технічних впливів, а також за зміною показників надійності. Якщо затрати на відновлення стану при цьому, з врахуванням втрат від простоїв по технічним причинам, подані відношенням до його первісної вартості і втрат від простоїв в період до технічної дії перевищують величину відновленого ресурсу віднесено до величини ресурсу до цього періоду, то такі дії економічно недоцільні. Отже критерієм економічної доцільності застосування тих чи інших технічних дій по відновленню технічного стану АТТ є наступний:

$$\frac{C_{m\delta}^D + S_{n\delta}}{C_n + S_{\delta\delta}} \leq \frac{R_{n\delta}}{R_{\delta\delta}}, \quad (2.71)$$

де $C_{m\delta}^D$, C_n - відповідно собівартість технічної дії та вихідна (початкова) вартість елементу АТТ; $S_{n\delta}$, $S_{\delta\delta}$ - втрати від простою машини по технічним причинам в період з виконанням та без виконання технічних дій відповідно; $R_{n\delta}$, $R_{\delta\delta}$ - відповідні значення ресурсів у вказані періоди.

Критерій дає можливість оцінити припустиму собівартість виконаної технічної дії по поліпшенню стану АТТ в цілому і парку машин:

$$C_{m\delta}^D = \mu_{m\delta} (C_n + S_{\delta\delta}) - S_{n\delta}, \quad (2.72)$$

де

$$\mu_{m\partial} = \frac{R_{n\partial}}{R_{\delta\partial}}. \quad (2.73)$$

В якості критерію ефективності запропонованої технічної дії по поліпшенню технічного стану елементу АТТ можна використати наступний [146]:

$$E_{m\partial} = f_{m\partial}^E \mu_{n\partial} \geq 1, \quad (2.74)$$

де $\mu_{n\partial}$ - ступінь відновлення технічного стану агрегату АТТ після виконання певних технічних дій; $f_{m\partial}^E$ - коефіцієнт економічної ефективності виконання конкретної технічної дії, значення якого можна обчислити за виразом:

$$f_{m\partial}^E = \frac{C_{II} + S_{БД}}{C_{ТД}^D + S_{ПД}}. \quad (2.75)$$

Раціональне використання ресурсу агрегатів АТТ передбачає розрахунок коефіцієнта використання ресурсу r_R [147]:

$$r_R = \frac{R_{R\partial}}{R_{Rn}} \quad (2.76)$$

де R_{Rn} , $R_{R\partial}$ відповідно, потенціальний та реальний (дійсний) ресурси АТТ.

Коефіцієнт використання ресурсу може мати наступні значення: $r_R > 1$, $r_R = 1$, $r_R < 1$. Це визначається можливими ситуаціями, що залежать від ступеня використання ресурсу: $R_{Rn} > R_{R\partial}$, $R_{Rn} = R_{R\partial}$, $R_{Rn} < R_{R\partial}$.

Зазначимо, що величиною реального ресурсу оцінюють якість системи ТО і Р, при достатньому рівні якої, показники реального і потенціального ресурсів будуть співпадати. Величина потенціального ресурсу – це норма напрацювання АТТ до наступної технічної дії. Цим попереджається недовикористання технічних можливостей АТТ в експлуатації.

Якщо детермінована частина діагностичного параметру має вигляд:

$$D_i(t) = \beta_i t^\alpha, \quad (2.77)$$

де α – показник степеня точності відповідного ресурсовизначального діагностичного параметру $D_i(t)$; β_i – коефіцієнт, що характеризує швидкість зміни параметру $D_i(t)$.

Враховуючи (2.54), у виразах (2.39), (2.43) та (2.44), маємо:

$$R_{zp} = \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{\beta_i t^{\alpha_i}}{D_{zpi}}; \quad (2.78)$$

$$R_{MP} = \frac{\beta_i t^{\alpha_i}}{\lambda_i} (1 - \exp(-\lambda_i t_{MP})); \quad (2.79)$$

$$R(t_1) = \frac{\beta_i t^{\alpha_i}}{\lambda_i} (\exp(-\lambda_i t_{MP}) + \exp(-\lambda_i t_1)). \quad (2.80)$$

Виходячи з вищенаведеного залишковий ресурс знаходять за виразом:

$$R_{зал} = \left(\frac{D_i(t)}{\beta_i} \right)^{0.5} \left(\left(\frac{D_{zpi}}{D_i(t)} \right)^{0.5} - 1 \right). \quad (2.81)$$

По значенню залишкового ресурсу, шляхом порівняння його з сезонним напрацюванням в системі ТО і Р приймають рішення про проведення технічних дій.

Силовий агрегат АТТ протягом життєвого циклу може перебувати в різних стадіях експлуатації (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Технічний стан силового агрегату АТТ та його характеристики протягом життєвого циклу

Стадія експлуатації	Технічний стан S	Інтенсивність відмов λ	Інтенсивність відновлення технічного стану μ
1	2	3	4
Початковий стан	S_0	-	-
Обкатка	$S_{обк.}$	-	$\mu_{обк.}$
Робочий стан	S_p	-	-
ТО-1	$S_{ТО-1}$	$\lambda_{ТО-1}$	$\mu_{ТО-1}$
ТО-2	$S_{ТО-2}$	$\lambda_{ТО-2}$	$\mu_{ТО-2}$

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
ТО-3	$S_{ТО-3}$	$\lambda_{ТО-3}$	$\mu_{ТО-3}$
ПР	$S_{ПР}$	$\lambda_{ПР}$	$\mu_{ПР}$
КР	$S_{КР}$	$\lambda_{КР}$	$\mu_{КР}$
Зберігання	$S_{зб}$	$\lambda_{зб}$	$\mu_{зб}$
Простій	S_n	λ_n	μ_n

Для зазначених стадій експлуатації силового агрегату АТТ можна побудувати розмічену схему його станів з можливими переходами між ними (рис. 2.6).

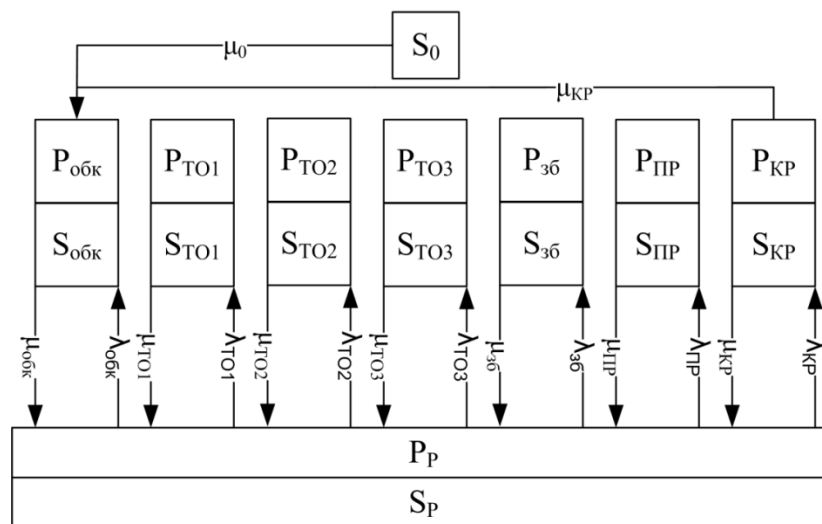


Рис. 2.6. Розмічена схема станів силового агрегату АТТ в системі ТО і Р

Переходи з одного технічного стану в інший відбуваються під дією певних потоків подій: відмов чи відновлень. Позначення можливих станів агрегатів АТТ наведено в квадратах, а переходи із стану в стан стрілками, біля яких зазначено інтенсивність потоку відмов чи відновлення. У кожному технічному стані силовий агрегат АТТ може знаходитися з певною ймовірністю:

- P_0, P_P – ймовірності знаходження агрегату АТТ у початковому та поточному стані
- $P_{ТО-1}, P_{ТО-2}, P_{ТО-3}$ – ймовірність необхідності проведення ТО-1, ТО-2, ТО-3;

- $P_{\text{ПР}}$ – імовірності необхідності проведення ПР і КР;
- $P_{\text{зб}}$, P_n – імовірності працездатного стану при збереженні і при простой;

Зазначимо, що при цьому потоки відмов і відновлень дорівнюють $P_i \lambda_i = P_i \mu_i$. Систему змін і переходів станів можна описати, згідно розміченому графу (рис. 2.6) стану агрегату АТТ, диференціальними рівняннями:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = P_0(t) \mu_0; \quad (2.82)$$

$$\frac{dP_{\text{обк}}(t)}{dt} = P_P(t) \mu_{\text{обк}} - P_{\text{обк}}(t) \lambda_{\text{обк}}; \quad (2.83)$$

$$\frac{dP_{\text{ТО-1}}(t)}{dt} = P_P(t) \mu_{\text{ТО-1}} - P_{\text{ТО-1}}(t) \lambda_{\text{ТО-1}}; \quad (2.84)$$

$$\frac{dP_{\text{ТО-2}}(t)}{dt} = P_P(t) \mu_{\text{ТО-2}} - P_{\text{ТО-2}}(t) \lambda_{\text{ТО-2}}; \quad (2.85)$$

$$\frac{dP_{\text{ТО-3}}(t)}{dt} = P_P(t) \mu_{\text{ТО-3}} - P_{\text{ТО-3}}(t) \lambda_{\text{ТО-3}}; \quad (2.86)$$

$$\frac{dP_{\text{зб}}(t)}{dt} = P_P(t) \mu_{\text{зб}} - P_{\text{зб}}(t) \lambda_{\text{зб}}; \quad (2.87)$$

$$\frac{dP_n(t)}{dt} = P_P(t) \mu_n - P_n(t) \lambda_n; \quad (2.88)$$

$$\frac{dP_{\text{ПР}}(t)}{dt} = P_P(t) \mu_{\text{ПР}} - P_{\text{ПР}}(t) \lambda_{\text{ПР}}; \quad (2.89)$$

$$\frac{dP_{\text{КР}}(t)}{dt} = P_P(t) \mu_{\text{КР}} + P_{\text{обк}}(t) \mu_{\text{обк}} - P_{\text{обк}}(t) \lambda_{\text{обк}}. \quad (2.90)$$

Використовуючи пакети прикладних програм на ПК, початкові та граничні умови, базу експериментальних даних, можна оцінити ймовірність певних технічних дій для покращення технічного стану силових агрегатів в АТТ за допомогою узагальненого диференціального рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{dP_p(t)}{dt} = & P_p(t)\mu_0 + P_{обк}(t)\mu_{обк} + P_{кр}(t)(\mu_{кр} - \lambda_{кр}) + \\ & + P_{пп}(t)(\mu_{пп} - \lambda_{пп}) + P_{ТО-1}(t)(\mu_{ТО-1} - \lambda_{ТО-1}) + \\ & + P_{ТО-2}(t)(\mu_{ТО-2} - \lambda_{ТО-2}) + P_{ТО-3}(t)(\mu_{ТО-3} - \lambda_{ТО-3}) + \\ & + \dots + P_{зб}(t)(\mu_{зб} - \lambda_{зб}) + P_n(t)(\mu_n - \lambda_n). \end{aligned} \quad (2.91)$$

З урахуванням розв'язків системи рівнянь (2.82-2.90), розв'язок диференціального рівняння (2.91) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} P_p = & \frac{P_0\mu_0^2 t_0 - P_{обк}t_{обк}(\mu_{обк}\lambda_{обк} - \mu_{кр}\lambda_{обк} + \lambda_{обк}\lambda_{кр} + \mu_{кр} - \lambda_{кр}) -}{2t_p - \mu_{обк}^2 t_{обк} - \mu_{кр}t_{кр}(\mu_{кр} - \lambda_{кр}) -} \\ & - \frac{P_{пп}\lambda_{пп}t_{пп}(\mu_{пп} - \lambda_{пп}) - P_{ТО-1}\lambda_{ТО-1}t_{ТО-1}(\mu_{ТО-1} - \lambda_{ТО-1}) -}{- \mu_{пп}t_{пп}(\mu_{пп} - \lambda_{пп}) - \mu_{ТО-1}t_p(\mu_{ТО-1} - \lambda_{ТО-1}) -} \\ & - \frac{P_{ТО-2}\lambda_{ТО-2}t_{ТО-2}(\mu_{ТО-2} - \lambda_{ТО-2}) - P_{ТО-3}\lambda_{ТО-3}t_{ТО-3}(\mu_{ТО-3} - \lambda_{ТО-3}) -}{- \mu_{ТО-2}t_p(\mu_{ТО-2} - \lambda_{ТО-2}) - \mu_{ТО-3}t_p(\mu_{ТО-3} - \lambda_{ТО-3}) -} \\ & - \frac{P_{зб}\lambda_{зб}t_{зб}(\mu_{зб} - \lambda_{зб}) - P_n\lambda_n t_n(\mu_n - \lambda_n)}{- \mu_{зб}t_p(\mu_{зб} - \lambda_{зб}) - \mu_n t_p(\mu_n - \lambda_n)} \end{aligned} \quad (2.92)$$

Усереднений залишковий ресурс до КР можна оцінити за виразом:

$$\overline{R_p} = \frac{\sum P_{крi} m_i}{(P_p \mu_{кр} + P_{обк}(\mu_{обк} - \lambda_{обк})) \sum m_i}. \quad (2.93)$$

Усереднений залишковий ресурс після проведення ТО-1 до КР дорівнює:

$$\overline{R_{ТО-1}} = \frac{\sum P_{ТО-1i} m_i}{(P_p \mu_{ТО-1} + P_{ТО-1} \lambda_{ТО-1}) \sum m_i}. \quad (2.94)$$

Усереднений залишковий ресурс після проведення ТО-2 до КР, становить:

$$\overline{R_{ТО-2}} = \frac{\sum P_{ТО-2i} m_i}{(P_p \mu_{ТО-2} + P_{ТО-2} \lambda_{ТО-2}) \sum m_i}. \quad (2.95)$$

Усереднений залишковий ресурс після проведення ТО-3 до КР дорівнює:

$$\overline{R_{ТО-3}} = \frac{\sum P_{ТО-3i} m_i}{(P_p \mu_{ТО-3} + P_{ТО-3} \lambda_{ТО-3}) \sum m_i}. \quad (2.96)$$

Усереднений залишковий ресурс після проведення ПР до КР становить:

$$\overline{R_{PP}} = \frac{\sum P_{PPi} m_i}{(P_p \mu_{PP} + P_{PP} \lambda_{PP}) \sum m_i}. \quad (2.97)$$

Враховавши імовірність знаходження ресурсовизначальних елементів АТТ у робочому стані, можна оцінити коефіцієнти технічної готовності та використання блоків парку машин в цілому:

$$K_{Gs} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pis} m_{is}}{m_{zag}}; \quad (2.98)$$

$$K_{TB} = K_G - \sum P_{TO-1}^i m_{TO-1} - \sum P_{TO-2}^i m_{TO-2} - \sum P_{TO-3}^i m_{TO-3} - \sum P_{PP}^i m_{PP}$$

$$K_{TB} = K_G - \sum P_{TO-1}^i m_{TO-1} - \sum P_{TO-2}^i m_{TO-2} - \sum P_{TO-3}^i m_{TO-3} - \sum P_{PP}^i m_{PP}, \quad (2.99)$$

де m – кількість одиниць техніки у справному стані; m_{TO-1} – кількість одиниць техніки у справному стані після проведення операцій ТО-1; m_{TO-2} – кількість одиниць техніки у справному стані після проведення операцій ТО-2; m_{TO-3} – кількість одиниць техніки у справному стану після проведення операцій ТО-3; m_{PP} – кількість одиниць техніки у справному стані після проведення технологічних операцій ПР; i – відповідна одиниця техніки; m_{zag} – загальна кількість одиниць техніки в парку машин підприємства.

Висновки по розділу 2

1. Показано, що технічний стан елементів АТТ визначається вектором діагностичних параметрів, отриманих в певний момент часу на конкретному рівні діагностування, а одиниці техніки, модулі та парк машин і цілому – матрицею при безперервному спостереженні на певному проміжку часу.

2. З'ясовано, що для забезпечення системи управління технічним станом елементів та АТТ в цілому параметри діагностичної інформації можна подати у вигляді випадкових функцій.

Виявлено, що функції розподілу визначеного діагностичного параметру технічного стану елементів АТТ мають певний діапазон реалізацій. При поетапному зростанні рівня інформаційного забезпечення досягається зменшення впливу непрогнозованих факторів.

3. Показано, що управління технічним станом елементів АТТ дає можливість оцінити їх експлуатаційну надійність за зміною сукупності діагностичних параметрів, граничні величини яких дозволяють виявити закон розподілу у відповідній області з певною ймовірністю на множині різного типу законі розподілу діагностичних параметрів технічного стану елементів і об'єкту.

4. Визначено, що управління експлуатаційною надійністю силових агрегатів АТТ при інформаційному забезпеченні їх технічного стану можна реалізувати при виконанні технічних дій у відповідний момент часу (напрацювання) на основі випадкової функції зміни їх діагностичних параметрів. За допомогою детермінованих частини цих функцій можна описати величину граничного, міжремонтного та залишкового ресурсів силових агрегатів АТТ з врахуванням найбільш істотних чинників.

5. З'ясовано, що збільшення ймовірності встановлення діагнозу елементів та знаходження альтернативи прогнозуванню за середньостатистичними значеннями, діагностичних параметрів за допомогою систем управління технічним станом агрегатів АТТ відкривається можливість його здійснення за отриманими результатами із впровадженням елементно-модульної системи ТО і Р.

6. Показано, що за допомогою розміченої схеми стану силового агрегату АТТ встановлено залежність ймовірності його перебування в робочому стані на етапах життєвого циклу, з урахуванням інтенсивності відмов, відновлення та при проходженні технологічних операцій ТО і Р.

7. Отримано формули для оцінки усереднених значень залишкових ресурсів до КР, після проведення ТО1, ТО2 та ТО3 (для тракторів) до КР, а також оцінки коефіцієнтів технічної готовності та технічного використання модулів парку АТТ підприємств АПВ.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ АТТ, МОДУЛІВ ПАРКУ МАШИН В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ПОБУДОВИ ЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ТО І Р

3.1 Структура і програма дослідження зміни технічного стану елементів АТТ та парку машин в цілому в процесі експлуатації

Для реалізації мети і вирішення поставлених завдань в дисертаційній роботі розроблено структурну схему (рис. 3.1.) та програму дослідження.

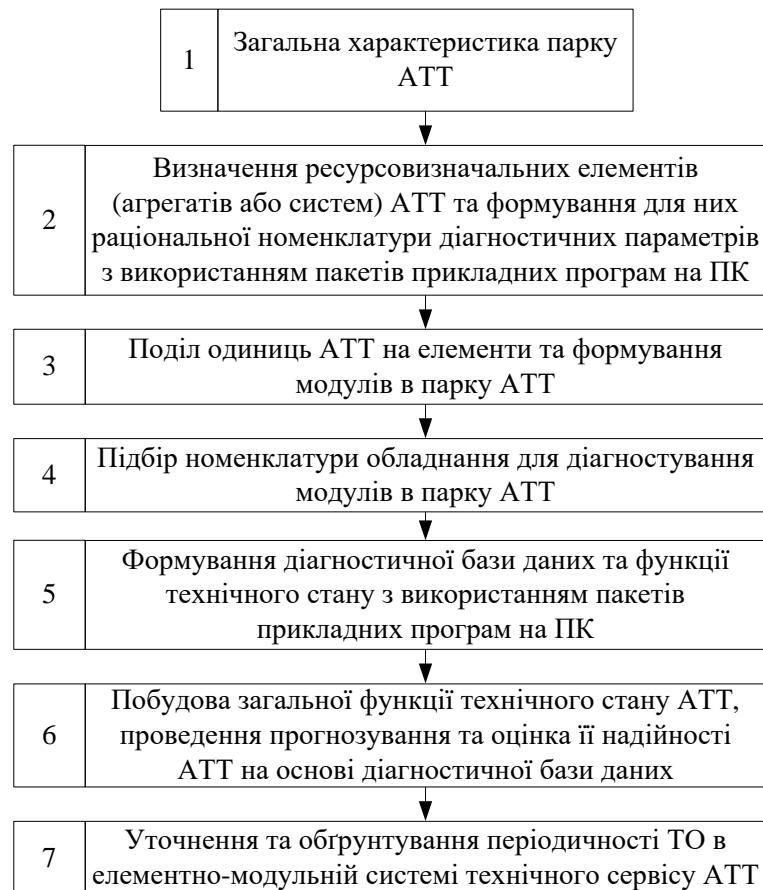


Рис. 3.1. Структурна схема дослідження технічного стану елементів АТТ і модулів парку машин підприємств АПВ, в елементно-модульній системі технічного сервісу АТТ

На першому етапі дослідження аналізується об'єднаний парк

автотракторної техніки АТТ підприємств: СТОВ "Хуторське" та ТОВ "Агрофірма Колос" Кіровоградської області (Додаток Б). Визначається терміни проведення технічних дій під час їх експлуатації, а також формується номенклатура силових агрегатів наявної АТТ.

На другому етапі аналізується ресурсовизначальні агрегати та системи АТТ, як елементи та їх діагностичні параметри, з'ясовується умови їх експлуатації. При цьому, використовуються методи теорії інформації і надійності, а також математико-статистичний підхід. Для переліку ресурсовизначальних елементів АТТ відбираються діагностичні параметри, використовуючи апріорну інформацію щодо причин несправностей та відмов, визначали ймовірнісні показники надійності, передусім досліджуваною характеристикою є ймовірність їх справного стану.

На третьому етапі відбувається формування модулів АТТ. На даному етапі спочатку одиницю АТТ умовно розділяють на елементи, а потім утворювали модулі систем за модельною приналежністю того чи іншого елемента (агрегату, системи) з проведенням подальшої діагностики під час технічного обслуговування АТТ, виконується уточнення модулів на основі врахування приростів діагностичних параметрів.

На четвертому етапі підбирається номенклатура обладнання, щоб в подальшому більш точно формувати діагностичну базу даних та проводити прогноз технічного стану елементів і АТТ в цілому.

На п'ятому етапі виконується формування діагностичної бази даних з використанням прикладних програм на ПК. Для дослідження еволюції і розвитку технічного стану елементів АТТ найбільш ефективно виконувати формування діагностичної бази даних у вигляді рядів діагностичних параметрів відносно пробігу або напрацювання.

На шостому етапі будується загальна функція технічного стану та обґрунтовується її зміна під час експлуатації АТТ у вигляді системи диференціальних рівнянь стану АТТ для системи технічної експлуатації (ТЕ), здійснюється її розв'язок на основі системи кореляційних рівнянь і

зведення їх до алгебраїчних, отримують часткові і загальні розв'язки, що використовуються в подальшому для прогнозування.

На заключному, сьомому, етапі дослідження уточнюється та обґрунтовується техніко-економічна ефективність запропонованої елементно-модульної системи ТО і Р АТТ на підприємствах АПВ в процесі експлуатації та розробляються рекомендації підприємствам по експлуатації АТТ для підвищення її надійності.

Для визначення ймовірності виникнення відмов елементів АТТ використано пасивний експеримент, який полягав в спостереженні і реєстрації вхідних і вихідних змінних досліджуваного процесу в режимі його звичайного протікання без втручання дослідника. Проте його застосування об'єктивно потрібне, оскільки досліджувана ймовірність є результатом реально протікаючого процесу. Для побудови математичних моделей технічного стану елементів АТТ при пасивному експерименті використовуються методи регресійного аналізу [12] на основі отриманої діагностичної інформації.

При зборі діагностичної інформації були використані результати зміни технічного стану під час експлуатації АТТ, узагальнені в роботах [13-15], інформаційні карти про надійність АТТ підконтрольної експлуатації, а також аналізували результати досліджень, проведені іншими авторами [22, 26]. Окрім збору діагностичної інформації про технічний стан елементів АТТ програма досліджень включала визначення ймовірнісних характеристик, та їх контролю за діагностичними параметрами, а також обробку і статистичний аналіз отриманих баз даних.

3.2 Формування номенклатури елементів АТТ та модулів парку машин, що експлуатуються на підприємствах агропромислового виробництва

Спостереження в умовах експлуатації є процесом, що забезпечує отримання достовірної інформації про технічний стан та надійність

досліджуваних елементів та модулів АТТ. При плануванні спостережень визначається необхідний об'єм інформації для отримання оцінок діагностичного технічного стану та показників надійності АТТ із заданою точністю і достовірністю [28]. Дослідження ймовірності появи відмов передбачає число об'єктів спостережень N .

В якості початкових даних розрахунку мінімального об'єму спостережень використано:

- довірчу ймовірність γ , тобто ймовірність того, що довірчий інтервал охоплює дійсне значення параметра за вибірковими даними [38, 43], яка вибирається з ряду 0,80; 0,90; 0,95; 0,99 та є характеристикою надійності показника;

- гранична відносна похибка δ , що характеризує інтервал, який із заданою ймовірністю охоплює невідоме значення оціночного параметру, яка вибирається з ряду 0,05, 0,10, 0,15, 0,20 та є мірою точності оцінки показника.

При цьому довірчим інтервалом I_γ є інтервал, який покриває невідомий параметр із заданою надійністю γ [45, 47].

За відомим законом розподілу випадкової величини (ймовірність появи відмов), а також задаючи граничну відносну похибку $\delta=0,15$ і довірчу ймовірність $\gamma=0,8$ при коефіцієнтах варіації 0,3; 0,6; 1 (план NUn) визначається кількість об'єктів спостережень. Для нормального закону розподілу необхідно досліджувати не менше п'яти об'єктів спостережень; для експоненціального закону - не менше п'ятнадцяти, а для розподілу Вейбулла-Гнеденка - не менше сорока [41]. Число об'єктів спостережень для експоненціального закону розподілу встановлюється по таблицях [48] і при $P(L)=0,9$ з довірчою ймовірністю $\gamma=0,8$ дорівнюватиме $N \geq 15$, тому було прийнято, що мінімальний об'єм вибірки $N=15$.

Номенклатура АТТ та їх модулів, що були відібрані для дослідження, формувалися на основі наявного об'єднаного парку АТТ досліджуваних на підприємствах АПВ. Це передусім в модулях

одномарочні АТТ, оскільки різномарочність в більшій мірі збільшує обсяг однотипної методико-числової інформації, яка не відображає якісний характер методичної складової даної роботи. Для аналізу сформованого парку досліджуваних машин використовували інформацію про експлуатаційні витрати отримання діагностичної інформації про технічний стан елементів в АПВ на їх технічне підтримання, враховували різні характери навантаження АТТ, нестаціонарні умови експлуатації, а також готовність до виконання запланованих робіт. На основі даного аналізу здійснено перелік елементів АТТ і модулів у парку машин, що підлягали дослідженню.

Методику дослідження технічного стану сформовано та розроблено, спираючись на діючі технічні умови на експлуатацію та ремонт АТТ. Парк АТТ, що експлуатується на досліджуваних підприємствах розглядали як єдиний. До досліджуваного парку АТТ входили вантажні автомобілі: КамАЗ 4310 – 5 од., КамАЗ 43105 – 5 од., КамАЗ 43114 – 5 од.; трактори: Т-150К – 3 од., МТЗ 1025 – 8 од., John Deer 8RT ІТ4 – 3 од. (Додаток Б).

Проводили дослідження технічного стану елементів АТТ та модулів парку машин в різних умовах експлуатації. Підчас досліджень сформовані інформаційні бази даних про напрацювання АТТ та відмови їх елементів, що відбувалися в процесі експлуатації. Сформовано також діагностичну базу даних, що відображає фактичний технічний стан систем і агрегатів АТТ на певних напрацюваннях. Проводили пасивний експлуатаційний експеримент та прогнозування технічного стану АТТ за розробленими та існуючими методиками.

3.3. Комплекс методик визначення ресурсовизначальних елементів АТТ та формування для них раціональної номенклатури діагностичних параметрів підчас експлуатації в жорстких умовах АПВ

Методика визначення ресурсовизначальних елементів АТТ спрямована на визначення з них тих систем і агрегатів, що максимально

впливають на експлуатацію АТТ і відповідно мають високу статистичну інформативність. Вона базується на використанні теорії надійності та інформаційної ентропії. При формуванні переліку ресурсовизначальних елементів АТТ, що експлуатуються у жорстких умовах АПВ, розглядали у вигляді інформаційної системи та визначення кількості статистичної інформативності. Дане представлення можливе за рахунок інтерпретації та апроксимації закономірностей зміни діагностичних параметрів та їх величин, що визначають технічний стан.

Представлення технічного стану елементів АТТ у вигляді інформаційних систем починається з постановки мети та завдань, які необхідно ставити перед формуванням бази існуючих даних. При цьому метою дослідження є вибір найбільш визначальних елементів АТТ, від ресурсу яких залежить життєвий цикл АТТ в цілому [57]. Для реалізації даної мети формуються необхідні дані аналізу і складається перелік елементів АТТ, що підлягають дослідженню підчас експлуатації, а до їх переліку додаються вихідні значення пробігу або напрацювання.

Апріорну інформацію та вихідні дані зводять у таблицю технічного стану АТТ, на основі якої будуть проводити подальші розрахунки критерію статистичної інформативності і аналіз інформативності про технічний стан їх елементів. Таблиця станів має рядки, які характеризують елементи (системи та агрегати), а стовпчики - відображають пробіг АТТ. На перетині рядків і стовпчиків ставлять 0 або 1. Якщо на певному пробігу (напрацювання) не сталося відмови певних систем і агрегатів АТТ, то на перетині даного рядка і стовпчика ставимо 0, а в протилежному випадку - 1.

Після формування такої інформаційної таблиці технічного стану визначаємо значення інтенсивності відмов та показники надійності кожного елемента АТТ. На основі розрахунків знаходимо інформаційну ентропію їх технічних станів. Після цього етапі розраховується кількість інформації, що вноситься в інформаційну систему АТТ та використовується критерій статистичної-інформативності [61, 62]. Інформативність системи визначається зниженням невизначеності

(ентропії) технічного стану об'єкта після вимірювання даного діагностичного параметра [67]:

$$I_i = H_n - H_i, \quad (2.1)$$

де I_i - інформативність i -го діагностичного параметра; H_n - повна невизначеність (ентропія) стану об'єкта; H_i - невизначеність, що залишилось після вимірювання i -го діагностичного параметра.

Ентропія об'єкта управління технічним станом H_n може бути оцінена сумою невизначеностей [71]:

$$H_n = - \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N P_{mn} \log_2 P_{mn}, \quad (2.2)$$

де m кількість розглянутих модулів АТТ; n - кількість машин в модулі; P_i - апріорна ймовірність знаходження (незнаходження) окремої машини в одному з можливих станів (працездатність, непрацездатність).

Схематично сутність методики інформативної значимості про ресурсовизначальні елементи АТТ відображено на рис. 3.2. у вигляді алгоритму, який включає в себе необхідні операції та послідовність їх виконання.

Реалізація даного алгоритму дає можливість відібрати інформативно значимі елементи АТТ в процесі експлуатації, що відображає їх ресурсовизначальну сутність та ресурс підчас реальної експлуатації. Після цього для ресурсовизначальних елементів необхідно вибрати такий перелік діагностичних параметрів, які дадуть можливість оцінити екстремум критерію оптимальності, в якості якого виступає максимальна кількість інформації і критерій статистичної інформативності. На цій основі визначаємо сукупність діагностичних параметрів, за допомогою яких можливо дослідити технічний стан ресурсовизначальних елементів АТТ. Формуємо технічні стани, в яких можуть знаходитись досліджувані елементи АТТ. Перший з них - справний, а всі решта технічні стани є несправні, що характеризуються відмовами, несправностями або виходом діагностичних параметрів за межі допустимих значень. Всі стани елементів

АТТ характеризуються величиною ймовірності безвідмовної роботи.



Рис. 3.2. Блок-схема алгоритму дослідження інформативності про ресурсовизначальні елементи АТТ.

Визначені діагностичні параметри та стани елементів АТТ необхідно звести в матрицю технічного стану, в якій рядки характеризують діагностичні параметри, а стовпчики - характеризуються станами досліджуваних елементів. Для заповнення матриці необхідно на перетині станів та діагностичних параметрів поставити 0 або 1. Значення 0 приймається, якщо параметр знаходиться в допустимих межах при реалізації певного стану, а 1 - якщо параметр вийшов за його допустимі межі. На основі даної матриці знаходимо початкову ентропію

досліджуваних елементів АТТ.

В даній роботі розроблено алгоритм та визначені критерії вибору методів отримання діагностичної інформації під час експлуатації (рис. 3.3) для визначення технічного стану елементів АТТ та модулів парку машин підприємств АПВ.

На першому етапі оцінюють значимість φ діагностичного параметру [22]. При цьому проводиться поділ параметрів на 4 підгрупи по їх значимості: мала ($\varphi \leq 0,5$); наприклад, наявність абразивних часток в оливі при малих частотах обертання колінчастого валу; середня ($\varphi = 0,5 \dots 1,0$), наприклад, знос посадочних гнізд корпусних деталей; велика ($\varphi = 1,0 \dots 1,5$), наприклад, тиск впорскування палива в камеру згорання; визначальна ($\varphi \geq 1,5$) – зазори між гільзою циліндрів та поршневими кільцями, між шийкою та втулкою шатунів та пальця поршня, тиск в оливній магістралі, прилягання клапана до сідла, наявність води, палива в оливі тощо.

На другому етапі визначають область зміни діагностичних параметрів, виходячи з можливості застосування методів отримання інформації в системі управління технічним станом елементів (систем, агрегатів) АТТ. При цьому бажано використовувати діагностичні методи, параметри яких мають значну область зміни. Діапазон зміни від початкового до граничного стану діагностичного параметру, а відповідно і технічного стану елемента, повинен забезпечувати можливість поділу на 3...10 визначених інтервалів для адекватного трактування в процесі дослідження.

Аналізуючи область зміни діагностичних параметрів, можна виділити наступні групи: мала, середня, достатня, велика. Прийнявши номінальне значення показників за 100%, можна провести порівняння їх відносної інформативної здатності. Наприклад, для агрегату ЯМЗ-238НБ/НД за ресурсний період до КР (6000 мото-год.) потужність двигуна змінюється в межах +3,8...-4,8%, а чад оливи на 294 %. Масова частка продуктів зношування в змащувальній системі зростає значно інтенсивніше, незважаючи на періодичні заміни оливи за період заміни в

500 мото-год., і становить близько 2500%, тобто майже в 10 разів більш ніж чад оливи.

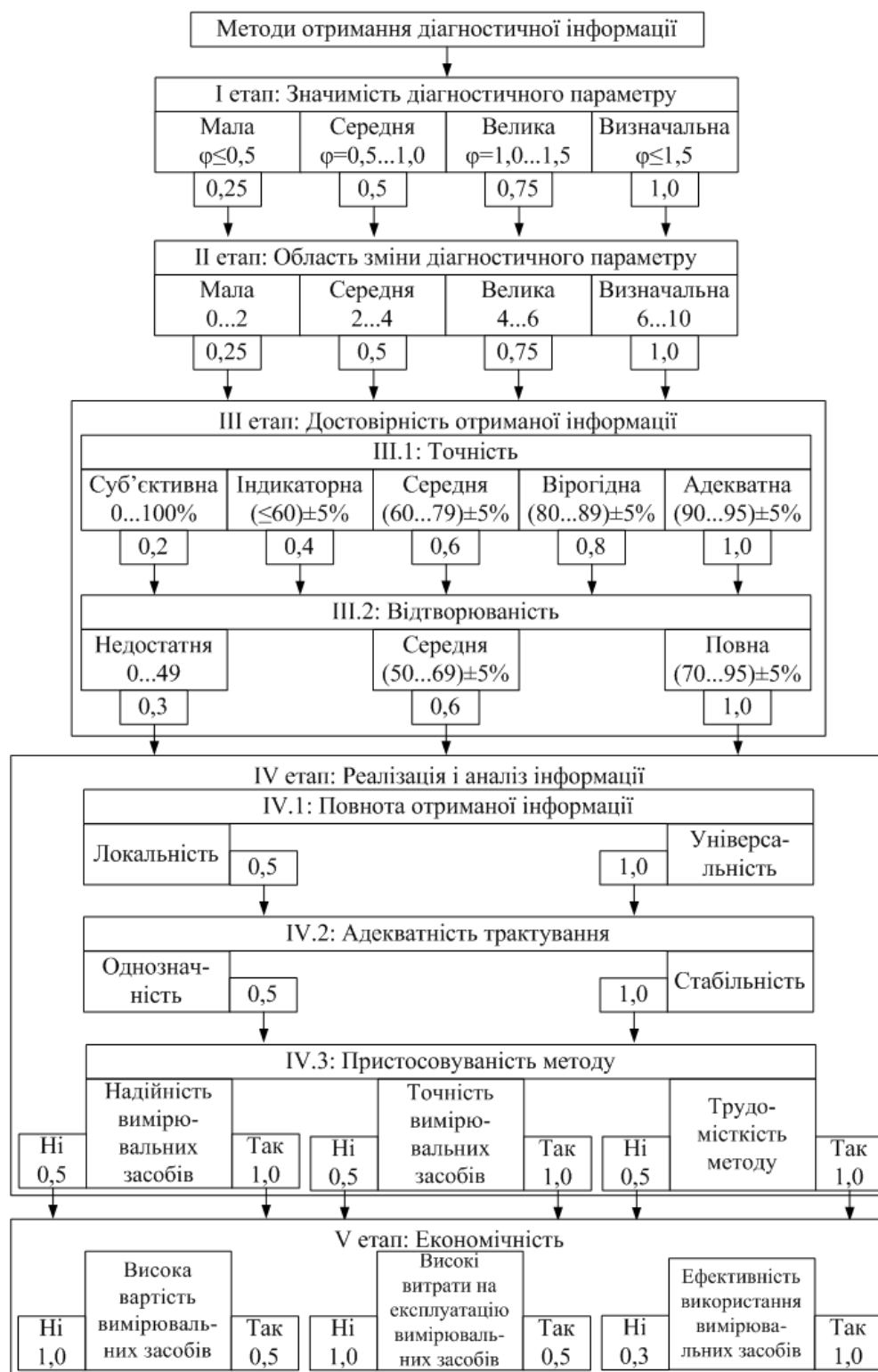


Рис. 3.3. Алгоритм та критерії вибору методів отримання діагностичної інформації про стан елементів та модулів парку АТТ на підприємствах АПВ

Особливе значення в діагностиці має відносна похибка визначення контрольованого параметра, залежної від відносної похибки приладів, кваліфікації операторів і швидкості зміни параметра інформатора. Аналізуючи їх зміну, можна бачити, що найбільш змінними є параметри: амплітуда коливань, величина зміни залишкового вакууму, зміна фізико-механічних та хімічних властивостей моторної оливи, концентрація продуктів зносу в змащувальній системі. Саме їх потрібно використовувати при подальшому розгляді.

Наступний, третій етап отримання діагностичної інформації полягає у відборі методів відразу за двома факторами, за якими оцінюють достовірність, тобто точність та відтворюваність отриманих даних. Рівні точності, прийнято за рівнями інформаційного забезпечення (ІЗ) управління технічним станом елементів АТТ та порядком отримання інформації. Відтворюваність діагностичних даних оцінювали за трьома класами: низька, середня та повна.

Діагностичні методи, що пройшли попередній відбір, аналізуються та обираються на наступному четвертому етапі, який характеризується вибором за трьома рівнозначними напрямками:

- повнота отриманої інформації, достатність даних для аналізу та щільність отриманої інформації;
- адекватність трактування (однозначність та стабільність похибки отриманих значень діагностичної інформації);
- пристосованість методу (конструктивна, технологічна та експлуатаційна пристосованість).

Зазначимо, що надійність, точність, складність та універсальність засобів діагностики, трудомісткість проведення робіт по визначенню технічного стану здійснюють значний вплив на вибір методу за характеристиками конструктивної, технологічної чи експлуатаційної пристосованості. Оптимальним є варіант, коли можна застосувати надійне, точне і просте у виготовленні й експлуатації обладнання, а також методи і методики отримання діагностичної інформації.

Для складних за конструкцією та технологією виготовлення засобів визначення технічного стану об'єкта характерною є і загальна технологічна складність застосування, а отже необхідність залучення професіоналів високої категорії. Універсальним приладам, дуже часто, властива низька або нерівномірна точність отриманих даних по декільком факторам одразу.

На п'ятому етапі оцінюють економічні чинники доцільності використання конкретних методів ІЗ елементів і модулів АТТ. Найсуттєвішими з них є вартість, витрати на експлуатацію та ефективність застосування контрольних-діагностичних засобів, приладів і обладнання.

Що стосується методів діагностики по структурним параметрам, то основною їх перевагою є відносна доступність і безпосередність застосування, яка не може бути компенсацією за невисоку ймовірність отриманих результатів по визначенню технічного стану агрегату.

В експлуатації потрібно застосовувати засоби діагностики, які повинні бути мобільні, універсальні, володіти низькою собівартістю і достатньо високою точністю. Проаналізувавши методи діагностування, виходячи з умов експлуатації АТТ на підприємствах АПВ і матеріально-фінансового становища підприємств, врахувавши розвиток засобів діагностування та їх можливості на сучасному етапі розвитку, найбільш прийнятними для визначення технічного стану деталей систем і агрегатів (в порядку точності отриманих даних) і отримання діагностичної інформації за методами: органолептичні (первинна інформація); від штатних бортових систем та вбудованих систем діагностики (загальний аналіз); визначення компресії та герметичність інших підсистем (живлення, мащення, охолодження); виявлення та визначення концентрації продуктів зношування та шкідливих домішок; зміни властивостей оливи (хімічний аналіз); вакуумметричний метод.

Відбір та підготовка для аналізу проб моторної та трансмісійної оливи дозволяє використовувати їх для достовірних методів лабораторного аналізу на основі вимірювання концентрації продуктів зносу деталей,

систем та агрегатів АТТ. Аналізуючи зміну інформаторів від напрацювання, видно, що продукти зносу в змащувальній системі - достатньо змінний параметр. Навіть незначна несправність, що приводить до підвищеного зношування, миттєво відображається на концентрації продуктів зносу в змащувальній системі [77]. Крім того, метод оцінки умов експлуатації, технічного стану і залишкового ресурсу по хімотологічним показникам моторної оливи [80] є простим в застосуванні і не вимагає спеціальної зупинки АТТ. При цьому досягається порівняльно висока швидкість оцінки. Даний показник є надзвичайно ефективним для застосування, доцільним і економічно виправданим. Метод діагностики за зміною компресії та залишкового вакууму дає достатньо добрі результати оцінки технічного стану елементів АТТ [87]. Він володіє високою достовірністю отриманої інформації та порівняно невисокою вартістю обладнання.

Розвиток методів та засобів діагностування технічних об'єктів, на сьогоднішній день, дає можливість реалізувати комплексний підхід визначення технічного стану на постійній основі. При цьому, враховуючи велику кількість даних про технічний стан, нестандартизованість, відмінність їх по глибині виявлення, можливість вирішення питання отримання достовірної та достатньої інформації, потребує виконання певної систематизації методів її отримання, обробки та використання. Встановлення зміни стану за діагностичними параметрами на основі постійного або періодичного контролю дозволяє достовірно з певною визначеною ймовірністю фіксувати їх сукупність. Дана інформація являє собою масив даних, різних за важливістю, одиницями виміру, величиною. Це створює певні труднощі при обробці та співставленні, вирішення яких покладається на експертні системи або спеціально розроблені автоматизовані алгоритми виконання пошукових та реагуючих дій [92].

Інформативність діагностичних параметрів перш за все характеризується інформаційною ентропією, яку потрібно розрахувати для кожного діагностичного параметра. Інформаційна ентропія

характеризується невизначеністю при контролі того або іншого параметру [87]. Наступна операція вибору діагностичного параметру полягає у визначенні кількості інформації, яка отримується при контролі того чи іншого діагностичного параметру. Алгоритм реалізації запропонованої методики відображено у вигляді блок-схеми на рис. 3.4.

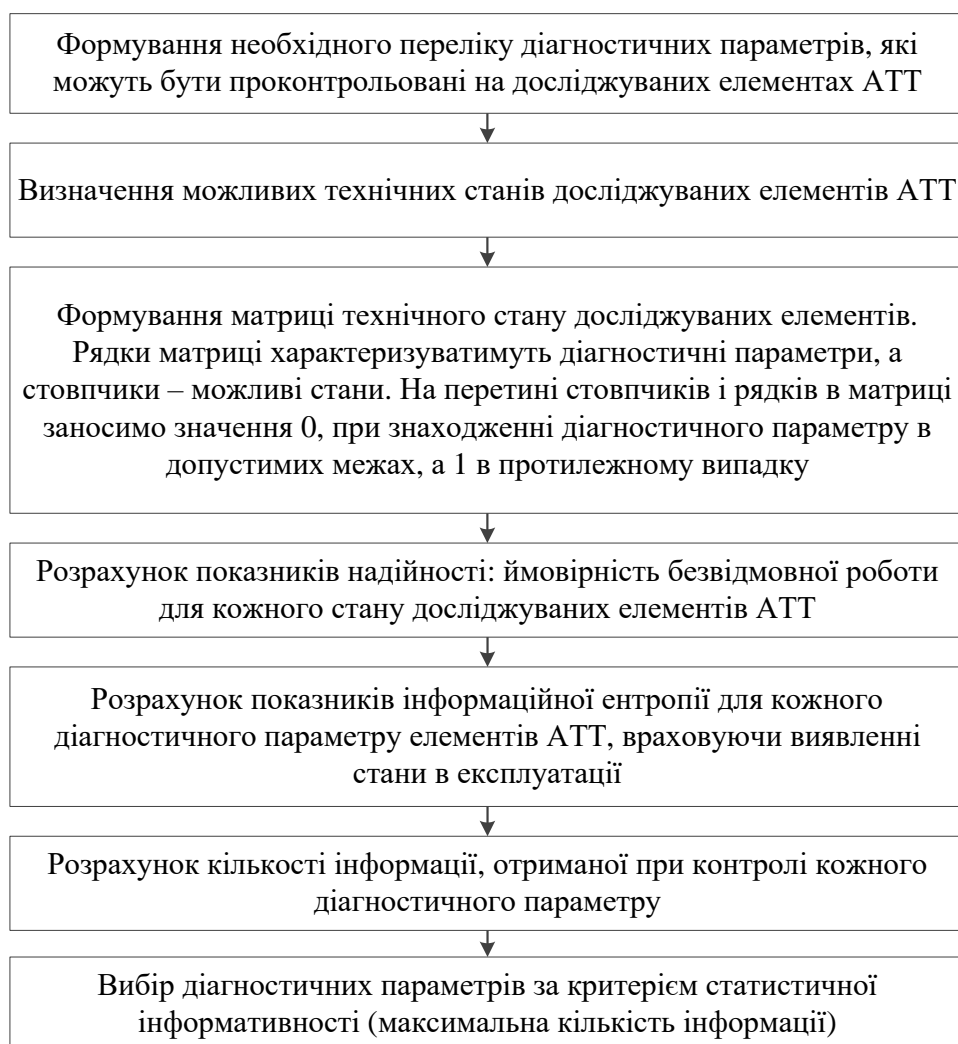


Рис. 3.4. Блок-схема вибору інформативно значимих діагностичних параметрів технічного стану досліджуваних елементів АТТ

Розрахунок кількості інформації проводиться, виходячи з умови різниці між початковою (повною) ентропією та ентропією після контролю певного діагностичного параметра досліджуваної елементи АТТ [95]. З отриманого інформаційного розрахунку вибираємо ті діагностичні параметри, які за критерієм статистичної інформативності будуть мати

максимальну інформативність. Запропонована методика свідчить, що базуючись на підході, що дає можливість використовувати методи теорії інформації, в результаті можливо зменшити кількість досліджуваних елементів та діагностичних параметрів АТТ, не зменшуючи достовірності значень отриманого критерію статистичної інформативності, з максимальною інформацією про їх технічний стан.

3.4 Формування номенклатури обладнання для діагностування елементів АТТ, модулів в парку машин та методики визначення діагностичних параметрів

3.4.1 Дослідження фізико-хімічних показників моторної і трансмісійної оливи

Відповідно до сформованої номенклатури діагностичних параметрів підібрано методики визначення характеристик моторної і трансмісійної оливи. У основу визначення характеристик і властивостей оливи в першу чергу покладено принцип первинного аналізу найважливіших показників їх старіння. В першу чергу це вміст нерозчинного осаду, який характеризує наявність в оливі смол, асфальтенів, продуктів термічного розкладання присадок і основи оливи, сажі, що утворюється при згоранні палива, карбенів і карбоїдів. По інформаційній важливості та ресурсній зношеності є кислотне число, а третім - лужне число оливи, зменшення якого побічно свідчить про спрацьовування основних антиокислювальних, миюче-диспергуючих і протизносних присадок, що сприяють сповільненню процесів старіння оливи.

Для оцінки накопичення продуктів старіння оливи так само важливо знати в'язкість оливи, яка збільшується з їх зростанням. Термоокислювальна стабільність - показник, що характеризує властивості оливи протистояти окисленню [109].

На рис. 3.5. представлено загальний вид устаткування, що використовували для визначення фізико-хімічних властивостей оливи.

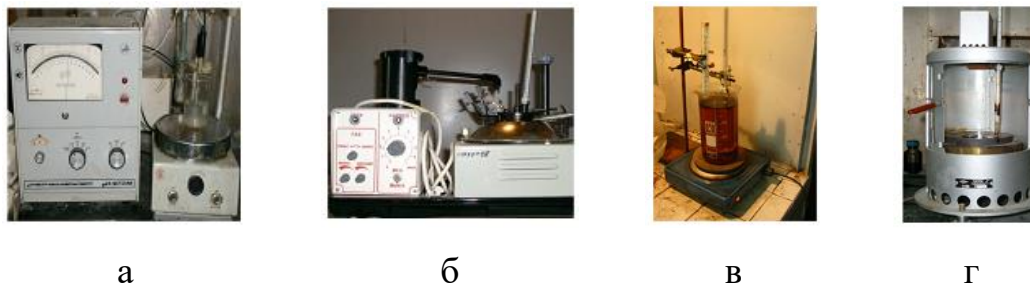


Рис. 3.5. Устаткування для визначення: кислотного і лужного числа оливи РН-метр комплект РН/19-R12.1 (а); температури спалаху в закритому тиглі апарат ПЕ-ТВЗ-3 (б); визначення в'язкості оливи комплект АНТ-2.1 (в); термоокислювальної стабільності оливи апарат ТОС-9 (г).

В ході проведення досліджень визначали фізико-хімічні показники проб свіжої оливи, робочої оливи різної міри забрудненості з часом напрацювання.

Фізико-хімічні показники оливи визначали методами встановленими в ДСТУ: кінематична в'язкість ДСТУ ГОСТ 332003; кислотне числа ДСТУ 5094:2008; лужне число ДСТУ 5094:2008; колір нафтопродуктів ГОСТ 2070-82; вміст механічних домішок ГОСТ 6370-83; термоокислювальна стабільність ГОСТ 18136-72; вміст нерозчинного осаду ГОСТ 18136-72.

Визначення усіх властивостей, характеристик і отриманих показників порівнювали з гранично-допустимими показниками для робочих досліджуваних моторної і трансмісійної оливи.

3.4.2 Визначення дисперсного складу забруднень моторної і трансмісійної оливи

Властивості і склад забруднення оливи оцінювали цілим рядом показників, з яких слід зазначити такі кількісні, як концентрацію і дисперсний склад забруднень. Дисперсним складом забруднень визначали розміри частинок забруднень, ефективність видалення забруднень та характер процесу коагуляції. Кількісну концентрацію забруднень

проводили методом мікроскопії, заснованому на підрахунку кількості частинок, що випали на дно кювети із заздалегідь визначеного об'єму оливи з їх подальшим перерахунком на 1 см^3 .

За цією методикою підраховували частинки розміром від 0,1 до 5 мкм. З метою спрощення підрахунку великих частинок забруднень і скорочення часу визначення чисельної концентрації забруднень у фіксованому об'ємі досліджуваних моторних і трансмісійних олив був застосований метод, з використанням аналізатора механічних домішок фотометричного рахункового типу ФС – 151 (рис. 3.9).



Рис. 3.6. Загальний вид аналізатора механічних домішок фотометричного рахункового типу ФС - 151

Аналізатор містить проточну скляну кювету і джерело світла, що створює в центрі кювети яскраво освітлену зону. У режимі виміру під час проходження оливи із зваженими в ньому частками забруднень через кювету, частинки, проходячи через освітлену зону викликають зменшення потоку світла на величину, пропорційну площі перерізу частинки в площині, перпендикулярній оптичній осі. Під час дослідження частинок неправильної геометричної форми їх розміри приймаються як розміри сферичних частинок з однаковою площею перерізу.

Після підрахунку результати про розподіл розмірів і зміст частинок виводяться на екран пристрою. Дослідження концентрації частинок забруднень виконується на рівнях дискримінації: нижньому - 0,1, верхньому - 0,99, що відповідає діапазону часток від 5 до 500 мкм [135].

Визначення хімічного складу моторної та трансмісійної олив дає

можливість розуміти, що саме відбувається у двигуні і механічній передачі під час експлуатації АТТ. Даний вид діагностування є ефективним, але не дуже практичним оскільки вартість обладнання дуже висока. Одним з варіантів обладнання, що можливо використовувати, зображено на рис. 3.7.



Рис. 3.7. Загальний вид оптично-емісійного спектрометру для діагностики моторних та трансмісійних олів МФС-11

Даний прилад для діагностики та аналізу моторних і трансмісійних олів на наявність продуктів зносу деталей двигунів та інших механічних механізмів в процесі їх експлуатації. Спектрометр використовується для діагностики двигунів, трансмісій, інших механізмів АТТ і ін. Важливою перевагою спектрометрів є можливість реєструвати весь хімічний спектр аналізованого зразка оливи, що дозволяє крім аналізу вмісту заздалегідь визначених елементів та швидко виявляти нові включення та домішки. Дана модель спектрометру не вимагає продувки аргоном [137]. Сучасна конструкція в поєднанні із застосуванням надійних і перевірених компонентів забезпечує виконання норм точності і діапазонів вимірювання концентрацій елементів відповідно до вимог ГОСТ та інших нормативних документів.

Визначення дисперсного складу робочої моторної і трансмісійної оливи також можливо за допомогою ПК з використанням цифрових фотографій, зроблених за допомогою мікроскопу. Робоча олива з часом темнішає за рахунок утворення дрібно дисперсних та інших забруднюючих включень. Визначити відсоток даних включень можливо за допомогою використання прикладних програм графічних редакторів та

обробки і аналізу цифрових фотографій. За допомогою даних програм можливо у їхньому середовищі досліджувати відсоткове співвідношення включень, які затемнюють колір оливи, після того як відібрані проби і проведено їх цифровий фотографії. Додаємо дану цифрову інформацію у середовище графічних редакторів, що підтримують функцію гістограмного розподілу кольорів. Додані фото необхідно переконвертувати у чорно-білу гаму і відібрати розподіл від 0...132 гами кольорів, і на даному інтервалі отримуємо значення відсоткового включення, кількості забруднюючих та спрацьовуючих частинок в моторній і трансмісійній оливах.

3.4.3 Визначення діелектричної проникненості робочих моторних і трансмісійних олив

Діелектричну проникність моторної і трансмісійної олив в роботі вимірювали за ємністю конденсаторів методом вольтметра – амперметра (рис. 3.8), який застосовують для виміру порівняно великих ємностей.

Живлення вимірювальної схеми зазвичай здійснювалось від джерела струму низької частоти: $f = 50...1000$ Гц, а тому нехтували активними втратами в конденсаторах та впливом реактивних параметрів вимірювальних приладів і шкідливими зв'язками.

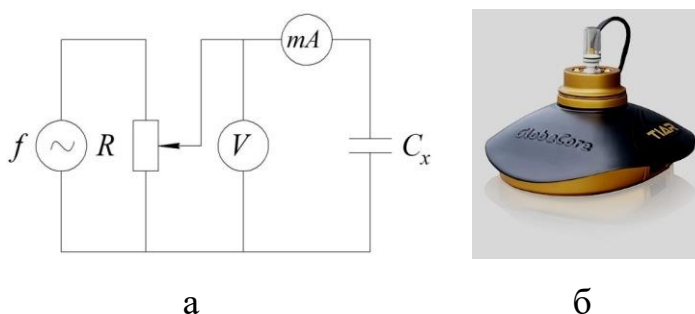


Рис. 3.8. Схеми вимірювання діелектричної проникненості оливи методом вольтметра-амперметра (а) та прилад TOR-3 для її реалізації (б).

Конденсатор C_x , що перевіряється, включається в ланцюг змінного електричного струму відомої частоти f , і реостатом (чи потенціометром) R

встановлюють потрібне, за умовами випробування, або зручне для відліку значення струму I або напруги U . За показниками приладів змінного струму розраховували повний опір конденсатора:

$$Z = (R^2 + X^2)^{1/2} = U / I, \quad (3.1)$$

де R і $X_C = \frac{1}{2\pi f C_x}$ - відповідно активна і реактивна складові його опору.

Якщо втрати не значні, тобто $R \ll X_C$, то вимірювальна ємність визначається формулою:

$$C_x = \frac{1}{2\pi f U}. \quad (3.2)$$

При цьому послідовно з джерелом змінного струму частоти f включається джерело постійного струму, напруга, на електроконтактах якого U_0 , повинна перевищувати амплітуду змінної напруги. Тоді в ланцюзі діятиме пульсуюча напруга, безпечна для конденсатора за умови правильної полярності його включення в схему. Пульсуючу напругу можна також отримати при послідовному включенні у вимірювальну схему діоду. Зазначимо, що в усіх випадках вольтметр V і міліамперметр mA повинні вимірювати лише зміну складова напруги і струму. Цим можна пояснити закритість схеми входу. Для даного методу вимірювання можливо використати мультиметр і ємнісну комірку [137, 150]. Мультиметр відіграє роль вимірювального приладу, а ємнісна комірка відображає конденсатор з діелектричним середовищем, в якості якого слугує робоча моторна і трансмісійна оливи. Ємнісна комірка представляє собою два електроди, що з'єднані між собою діелектриком та мають порожнину для заповнення робочою оливою.

3.4.4 Визначення основних характеристик спряжень деталей систем і агрегатів двигуна

Контроль технічного стану ресурсовизначальних спряжень деталей

двигунів внутрішнього згорання, таких як ЦПГ, можливо за рахунок дослідження компресії в циліндрі двигуна та прорив картерних газів. Для даної діагностики використовували компресограф HS-A1019 та напорометр НМП-52 (рис. 3.9)



Рис. 3.9. Обладнання для визначення параметрів циліндро-поршневої групи двигуна втнутрішнього згорання: а - HS-A1019; б - НМП-52.

При діагностуванні, за допомогою компресографа HS-A1019 можна виявити технічний стан деталей ЦПГ (наприклад, виявлення негерметичності в спряженні "кільце-циліндр", "клапан-сідло"), без установки двигуна на стенд, компресографа HS-A1019 наконечником встановлюється в отвір форсунки і, прокручуючи колінчастий вал, відмічають тиск в надпоршневому просторі циліндра [127]. Виконання діагностування за допомогою напорометру НМП-52 проводиться шляхом встановлення наконечника приладу в місце встановлення мірного щупа оливи і тим самим визначається тиск підчас роботи двигуна.

Отже, контроль ресурсовизначальних спряжень деталей є одним з головних джерел отримання інформації про технічний стан систем і агрегатів ТМ. Величезна кількість і вартість діагностичного обладнання інформативно ускладнює всебічне дослідження їх технічного стану, тому було відібрано доступне обладнання, що різносторонньо дає можливість отримати діагностичну інформацію про технічний стан систем і агрегатів ТМ.

3.5 Методи формування модулів в парку АТТ

Для формування модулів в парку АТТ потрібно враховувати марочну приналежність певних систем та агрегатів АТТ. Оскільки для певних марок проводяться зазначена кількість операцій з ТО і Р, то в даному випадку марочність також дасть можливість згрупувати елементи (системи та агрегати) в парку АТТ.

На першому етапі для для реалізації елементно модульного підходу потрібно машину розділити умовно на елементи, що відповідають її агрегатам або системам окремо, якщо апріорної інформації стосовно діагностування недостатньо для проведення організації ТО і Р парку АТТ. То модулі розділяються відповідно марочної приналежності. Що стосується роботи яка виконується тим чи іншим елементом АТТ, то їх потрібно узагальнювати відносно напрацювання найкраще в робочих мото-годинах або кілометрах пробігу.

В подальшій експлуатації АТТ при проведенні діагностування більше 3-х однотипних та накопичені відповідної діагностичної інформації, модулі виділяють відповідно до приросту діагностичних параметрів. Одномарочні агрегати ще розділяють на модулі, групуючи ті елементи АТТ, що мають величину діагностичних параметрів в межах 15 %. Якщо якийсь елемент виходить за межі 15 % за величиною діагностичних параметрів, то він формує новий модуль, для якого уточнюється система технічних дій підчас експлуатації.

Елементно-модульний підхід дає можливість більш точно реалізовувати управління технічним станом парку автотракторної техніки, а також розв'язати завдань зменшення витрат на проведення технічних дій та максимального завантаження сервісних діляниць.

3.6 Метод формування бази даних та функції технічного стану елементів АТТ та модулів парку машин для певного рівня надійності

Для реалізації елементно-модульного підходу на підприємстві

потрібно використовувати пакети прикладних програм на ПК, наприклад MS Office в більш простому варіанті або MS Access в професійному і довгостороковому використанні. Зібраному та відібрану діагностичну інформацію потрібно постійно заповнювати в таблиці, щоб в подальшому проводити аналіз та прогнозування технічного стану елементів АТТ та модулів парку машин.

Як зазначається в розділі 2, функція технічного стану елементів в АТТ та модулів парку машин є багатогранною і складною, тому було прийнято рішення використовувати розроблену схему раціонального графу технічного стану елементів і АТТ в цілому на основі діагностичної та статистичної інформації, а також відомостей про проведені технологічні операції ТО і Р. Це дає можливість забезпечити їх працездатність.

Інформаційний підхід в теорії надійності забезпечує дві основні складові: фізичну та інформаційно-математичну. Фізична складова теорії надійності розглядає причини відмов елементів АТТ, що пов'язані з фізико-хімічними процесами старіння, зношування, руйнування матеріалів, тобто причини, що приводять до зниження їх працездатності. В той час інформаційно-математична складова теорії надійності полягає в обробці отриманої діагностичної інформації про їх технічний стан і розробці математичних методів оцінки та аналізу причин їх відмов. Методи, що базуються на зазначених складових встановлюють слабкі місця елементів АТТ, тобто виділяються із них, які частіше за все призводять до відмов [129].

На основі теорії, з врахуванням експлуатаційної надійності АТТ, необхідно зазначити мінімальну кількість станів, що будуть відображати їх життєвий цикл під час експлуатації. В той же час технічні стани, повинні відображати значення певних параметрів, що їх окреслюють. Під час експлуатації АТТ знаходиться в наступних станах: S_{HE} – стан нормальної експлуатації; S_{KP} – стан контролю та мінімального регулювання; S_{TO} – стан технічного обслуговування; S_P – стан ремонту; S_{OB} – стан обкатування. Мінімальну кількість технічних станів необхідно звести до графу який

буде їх узагальнювати в єдину систему. Схематично зведений граф наведений на рис. 2.6., а їх зміни повинні відображати інтенсивність переходу між ними. Всі етапи, що необхідно проходити при формуванні функції технічного стану, та визначення показників надійності зведено в блок-схемі рис. 3.10.

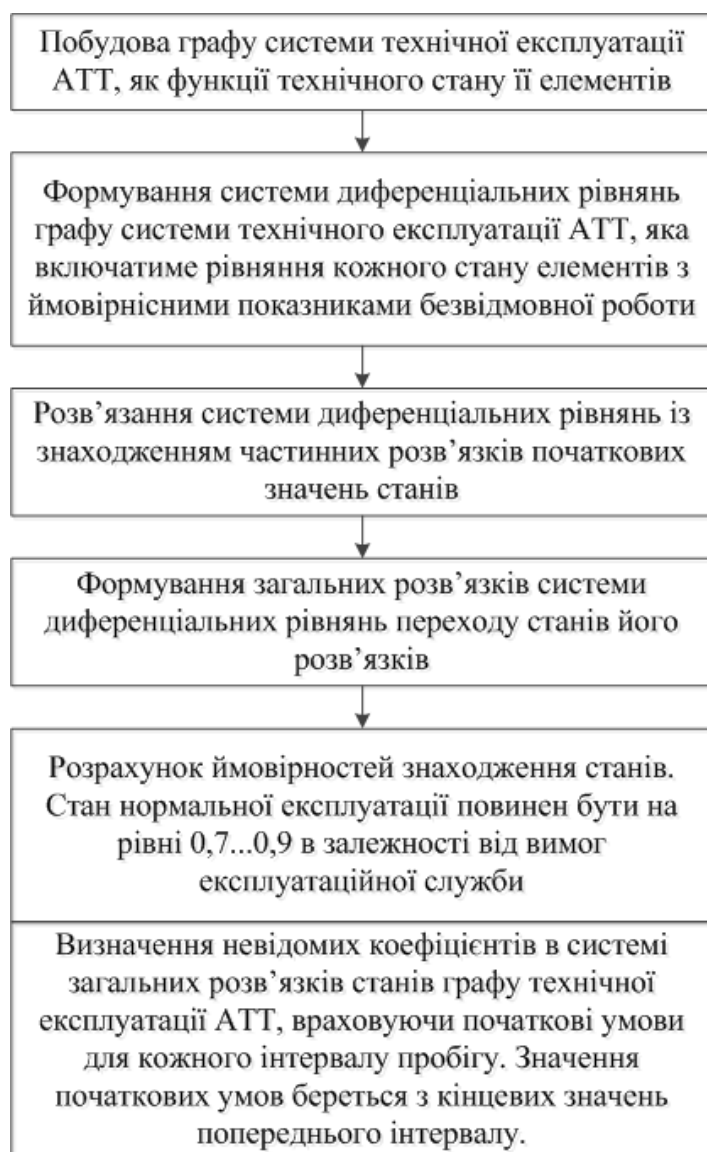


Рис. 3.10. Блок-схема формування функції технічного стану елементів АТТ та визначення показників їх надійності

Стан нормальної експлуатації АТТ характеризується ресурсовизначальними елементами, такими як електрообладнання, ходова частина, трансмісія, система керування, двигун. Перехід з нього в стан контролю визначає інтенсивність погіршення діагностичних параметрів,

тобто наближення їх до граничного значення, а також збільшення інтенсивності відмов певних спряжень та їх деталей, що важко піддати визначеному та інформативному контролю. В свою чергу вся діагностична інформація, що характеризує технічний стан, фіксується під час контролю. Перехід від стану контролю елементів АТТ в стан нормальної експлуатації характеризується наближенням діагностичних параметрів до їх початкового значення, тобто їх реновація.

Перехід між станом контролю і регулювання до технічного обслуговування можливий при виході діагностичних параметрів за свої межі допуску та збільшення допустимої інтенсивності відмов окремих елементів АТТ. Перехід між станом контролю і регулювання та ремонтом можливий при досягненні граничних значень діагностичних параметрів елементів АТТ і граничних значень інтенсивностей відмови. Стан обкатування є першим станом, що формує експлуатаційну надійність АТТ в їх життєвому циклі. Визначним станом, при переході на удосконалену експлуатацію АТТ є контроль та регулювання, тому саме в ньому відбувається збір та аналіз інформації про експлуатаційну надійність елементів і АТТ в цілому [123].

Таким чином, з урахуванням рівня показників надійності є можливим регулювання різних станів елементів АТТ під час експлуатації у важких нестаціонарних умовах АПВ. В даній методиці формування функції технічного стану запропоновано мінімальну кількість технічних станів та сформовано універсальний граф їх координації, на основі якого отримано систему диференціальних рівнянь. Визначним із станів, ймовірність знаходження в якому необхідно підтримувати на високому рівні $0,7 \dots 0,9$, є стан нормальної експлуатації.

3.7 Елементно-модульний метод організації технічного сервісу для підтримки технічного стану елементів АТТ

В даній дисертаційній роботі пропонується елементно-модульний метод управління системою ТО і Р. Запропонований метод дає можливість

розробки системи управління технічним станом АТТ та парком машин підприємства, який включає наступний алгоритм:

1. Визначення початкового стану: отримання інформації про конструктивні особливості, пробіг/напрацювання (км, мото-год) та тривалість експлуатації;

2. Врахування нормативно-правових актів та норм, що регулюють використання елементів і АТТ в цілому на підприємствах АПВ.

3. Умови використання АТТ на підприємствах АПВ: дорожньо-кліматичні особливості, кваліфікацію операторів, навантажено-швидкісний режим експлуатації.

4. Отримання діагностичної інформації про технічний стан елементів і АТТ в цілому, використовуючи певні методи, методики та обладнання.

5. Технічне забезпечення для аналізу діагностичної інформації, яка включає програмне забезпечення на ПК.

6. Формування модулів парку АТТ, що утворює можливість оперативного корегування номенклатурою технічних дій ТО і Р під час експлуатації.

7. Обробка, систематизація та узагальнення отриманої діагностичної інформації про технічний стан та експлуатаційну надійність елементів і АТТ в цілому.

8. Прогнозування технічного стану елементів і АТТ у цілому в певний момент часу (напрацювання), постановка гарантованого терміну виконання ними своїх функцій, вироблення керуючих дій по підтриманню та поліпшенню їх технічного стану та стану парку машин за допомогою елементно-модульної системи ТО і Р.

Запропонований алгоритм управління реалізує комплексний підхід для побудови ефективної елементно-модульної системи ТО і Р. Отримавши інформацію про початковий стан для підтримання і належного рівня складу надійності парку машин підприємства, врахувавши умови його використання та стратегії системи ТО і Р, що пропонується, можна

ідентифікувати та визначити закономірності зміни технічного стану елементів АТТ.

Важливим є врахування конкретних нормативно-правових актів та норм, що регулюють експлуатацію АТТ, оскільки недотримання хоча одного з приписів може призвести до заборони експлуатації.

Управління технічним станом елементів АТТ і модулів парку машин підприємств АПВ орієнтовано перш за все, на оперативний контроль ресурсовизначальних діагностичних параметрів технічних систем та їх підсистем, має спеціальні режими адаптації на початковому етапі експлуатації, коли експлуатаційні відмови практично відсутні. Виявляються і враховуються особливості впливу режимів роботи і зовнішніх умов на діагностичну інформацію.

Отримана інформація у вигляді масиву результатів діагностики різноманітними методами і методиками [99, 115, 116, 122] не може бути одномірною та рівнозначною. Постає необхідність групування та зберігання інформації, що висуває певні вимоги до програмного забезпечення..

При ЩО застосовувались операції з періодичністю близько 1500км пробігу для автомобілів або 62,5 мото-год для тракторів. При цьому терміни проведення можуть корегуватися в певних межах з метою узгодження та періодичного співпадання з графіком проведення робіт по ТО-1.

Операції відповідали термінам як ПЗС, так і ЕМС ТО і Р АТТ та необхідності виконання робіт ТО-2 для автомобілів і тракторів та ТО-3 - для тракторів за запропонованою системою.

Застосування операцій адекватного рівня доцільно при виконанні робіт ПР і КР, де бажано достовірно знати наявний технічний стан АТТ, а отже мати можливість прогнозувати зміну технічного стану на тривалий термін експлуатації.

Чим точніше та повніше буде отримана інформація, включаючи інформацію про стан матеріалу деталей, геометричні параметри деталей та

спряжень, наявність прихованих потенційних дефектів, тим більш достовірно буде дано гарантований строк служби елементів АТТ, звичайно враховуючи умови експлуатації та інтенсивність використання.

Для АТТ технічні дії за ПЗС ТО і Р і інтервали діагностування були чітко визначені в 62,5 мото-год / 3000 км пробігу. Проведення та об'єм технічних дій здійснюване – по регламенту ПЗС, прийнятої на підприємстві АПВ. Можливе відхилення складено $\pm 10\%$ (згідно нормативу).

Структура діагностичних операцій та технічних дій, наприклад, для автомобілів КамАЗ мала такий вигляд: виконання діагностичних операцій з певною періодичністю ТО-1 (3000 км пробігу) з відповідними операціями діагностування ранжованого ряду та технічними діями в обсязі передбаченому Положенням, наступні два ТО-1 - аналогічно; ТО-2 через 12 тис. км пробігу з операціями діагностування, та відповідними технічними діями; ПР - в разі потреби з попередніми операціями діагностування в межах інтервалу 0...300 тис. км; КР - при досягненні 300 тис. км пробігу.

Для тракторів дана структура (Т-150К, МТЗ 1025, 8РТ ІТ4) мала вид: виконання діагностичних операцій з певною періодичністю (62,5 мото-год), при досягненні ТО-1 (125 мото-год) операції діагностування ранжованого ряду з відповідними технічними діями в обсязі передбаченому Положенням, наступні три ТО-1 - аналогічно; ТО-2 через 250 мото-год з операціями діагностування та відповідними технічними діями; ТО-3 через 500 мото-год з операціями діагностування та відповідними технічними діями; ПР - в разі потреби з попередніми операціями діагностування в межах інтервалу 0...10000 мото-год; КР - при досягненні 10000 мото-год.

Операції діагностування АТТ за елементно-модульною системою проводили в термінах аналогічно ПЗС, якщо відсутня ситуація критичного або є сумніви щодо певного виду технічного стану. У разі отримання сигналу небезпечного, передаварійного стану, проводиться уточнення

причини його виникнення згідно ранжованого ряду інформаційного забезпечення управління технічним станом АТТ. В даному випадку можливе відхилення від зазначеної періодичності та перехід на вищий рівень дослідження, що пов'язано з необхідністю уточнення параметрів технічного стану АТТ.

Порядок виконання діагностичних операцій та технічних дій, при використанні елементно-модульної системи ТО і Р та управління технічним станом, для автомобілів КамАЗ складає наступну картину: виконання діагностичних операцій з певною періодичністю (1500 км. пробігу), якщо технічний стан елементів АТТ змінюється стабільно та допускає використання його на планований період; ТО-1 (0...3000 км пробігу) з відповідними операціями діагностування та згідно ранжованого ряду та технічних дій в обсязі передбаченому реальним технічним станом; наступні ТО-1 в терміни та обсязі регламентованому поточним технічним станом. При чому змінюється не лише терміни та структура технічних дій, але і взагалі кількість ТО; ТО-2 в межах, що визначають здатність моторної оливи виконувати свої функції, зазвичай ця цифра складає близько 12 тис. км пробігу, з операціями діагностування та відповідними технічними діями; ПР - в разі потреби - з попередніми операціями діагностування в межах інтервалу 0...300 тис. км; КР – по потребі 300 тис. км пробігу.

Трактори обслуговувались за наступним циклом: виконання діагностичних операцій з певною періодичністю, що забезпечило уникнення небезпечних ситуацій. При досягненні ТО-1 використали операції у разі необхідності уточнення діагнозу з відповідними технічними діями в обсязі регламентованому необхідністю втручання задля підтримання працездатного стану. Наступні ТО-1 – аналогічно, їх кількість регламентовано законом зміни діагностичних параметрів; ТО-2 по потребі за технічним станом, приблизно через 250 мото-год з операціями діагностування та відповідними технічними діями; ТО-3 через 500 мото-год з операціями діагностування та відповідними технічними діями; ПР - в разі потреби з попередніми

операціями діагностування в межах інтервалу 0...10000 мото-год; КР – при досягненні технічного стану більшості елементів граничного стану (близько значення напрацювання 10000 мото-год).

Зазначимо, що порядок отримання діагностичної інформації в досліджуваній АТТ, при збереженні єдиної структури управління технічним станом елементів, може мати відмінності в термінах та повноті проведення пошукових дій.

Використання найпростіших суб'єктивних методів визначення технічного стану за зовнішніми його проявами, а також належне виконання елементами та одиницями АТТ своїх функцій. Візуальний огляд, перевірка на слух, нюх, дотик, правильність роботи сигнальної апаратури, алгоритмів виконання операцій достатньо для проведення ЩО в повному обсязі. Методика виконання робіт ЩО наведена в інструкціях по експлуатації конкретної марки машини. Зазначене при низькій трудоемкості виконання робіт може дати достатньо достовірну інформацію, але наявний великий розкид технічних діагнозів і технічний стан визначається, в основному, кваліфікацією безпосередньо оператора техніки - водія, тракториста [101, 109, 119]. В разі виникнення сумнівів щодо достовірності технічного стану потребує залучення інструментальних методів контролю.

При використанні найпростіших інструментальних методів та засобів отримання діагностичну інформацію про технічний стан вузлів, систем та агрегатів АТТ та їх підсистем. Інформація отримується за допомогою приладів, що зазначені в даному розділі. Обсяг діагностичної інформації, в більшості випадків, достатньо для прийняття рішення про працездатність та можливість допущення елементів, а отже і АТТ до виконання своїх функцій. Серйозні поломки супроводжуються значними відхиленнями від правильності порядку виконання технічними об'єктами властивим ним завданням та дають такий обсяг інформації, що його можна адекватно трактувати як справний чи несправний стан елементу.

Обґрунтування вибору марки моторних та трансмісійних оливо і періодичності відбору проб, для проведення експериментальних досліджень здійснено виходячи з таких міркувань:

- олива SAE 15W-40 Plus 50 - II є високолужною оливою, з лужним числом 10,0мг КОН/г застосовується згідно вимог виробників переважно в агрегатах зарубіжних зразків техніки (Atlas, Case, Claas, John Deere,) та вітчизняних агрегатах КамАЗ-740 основні характеристики та особливості використання вже достатньо відомі;

- оливи М10Г₂К традиційно застосовують при експлуатації на підприємствах АПВ в агрегатах КамАЗ-740, СМД-60/62, ЯМЗ-236, Д-240, Д-245.

За хімічним аналізом проб моторної та трансмісійних оливо визначали показники: в'язкість кінематична при 40°C і при 100°C, температура спалаху, лужне число, вміст води, оцінка забрудненості аналізованої оливи.

Зміну властивостей моторної та трансмісійної оливи досліджували з певним періодом напрацювання відповідно проби відбирали при кожному ТО 1. Для досліджень властивостей і показників оливо брали проби, загальним об'ємом 100...150мл, з прогрітого до номінальної температури (348...358°C) агрегату. Для більшої адекватності отримання даних, забір проб здійснювали не раніше ніж через 15хв. роботи агрегату. Місце забору залежало від конкретної конструкції [99, 133].

Періодичність відбору проб проводили через 50 мото-год. при ПЗС; при елементно-блоковій системі ТО і Р та при плавній зміні показників якості оливи відбір проб здійснювали залежно від технічного стану конкретного агрегату, але не менше 6...10 проб за період до заміни. Терміни відбору корегувалися при різкій зміні показників якості оливи і орієнтовно приймали аналогічно ПЗС. Відбір проб проводився в заздалегідь підготовлену, суху проградуйовану тару.

3.8 Розробка технології застосування елементно-модульної стратегії ТО і Р АТТ

Проведені дослідження свідчать, що потрібна система ТО і Р, яка адаптована до постійно змінюючих умов зовнішнього середовища. В запропонованій системі ТО і Р враховано елементно-модульний підхід до парку АТТ і до конкретної машини забезпечується надходження достатньої кількості інформації про показники технічного стану на певних рівнях елементів АТТ та ефективності процесу технічної експлуатації. ЕМС ТО і Р повинна проводитися не тільки залежно від напрацювання вузлів, агрегатів, механізмів АТТ, але і з урахуванням їх реального поточного технічного стану, контрольованого в процесі експлуатації без операцій розбирань і збирань на базі вимірювання відповідних діагностичних параметрів.

Вибір структури і прогресивної організації ТО і Р АТТ має здійснюватися на основі принципів стратегії ТО і Р та вивчення характеру закономірностей спрацювання і зміни технічного стану, АТТ її основних елементів, найбільш істотно впливаючих на працездатність. Це дозволяє значно скоротити час на видачу діагнозу, знизити вимоги до кваліфікації оператора-діагноста, а в деяких випадках узагалі відмовитися від його послуг, знизити трудомісткість діагностування, підвищити вірогідність діагностичного висновку [133, 137].

Підтримання показників надійності АТТ на прийнятному рівні при експлуатації визначається, в основному, організацією робіт ТО і Р. Існує декілька підходів до інформаційного забезпечення показників надійності при плануванні стратегій ТО і Р. Загальноприйнятий підхід є класичним, заснованим на статистичній теорії надійності, що склалася в умовах масового виробництва і дозволяє планувати стратегію ТО і Р в середньому для ідентичних марок і моделей АТТ і не гарантує оптимальний сервіс кожної окремої одиниці АТТ. Результатом планування при такому підході є визначення деяких нормативних показників, наприклад призначеного

ресурсу елементів. Проте накопичення статистичних даних про відмови різного виду елементів АТТ показало, що відмови відбуваються як в період призначеного ресурсу, так і за його межами. Тому нагальною є потреба в розробці систем отримання інформації та можливості управління технічним станом кожного конкретного елемента [143, 151]. Основні принципи стратегії ПЗС та ЕМС ТО і Р АТТ у АПВ відображено на рис. 3.11.



Рис. 3.11. Основні принципи планово-запобіжної та елементно-модульної стратегії та системи ТО і Р АТТ у АПВ

Система ТО і Р повинна бути орієнтована на кожну одиницю техніки, сукупності з її ресурсовизначальних елементів виділенням рівнів підтримання її технічного стану, тобто врахуванням модульного підходу до структурного парку машин елементно-модульною системою. У такій системі ремонтно-обслуговуючі та контрольно-діагностичні впливи технічне діагностування АТТ і устаткування повинно бути передбачено в якості самостійного виду впливів до визначеного регламенту (періодичності). На основі проведення контрольно-діагностичних

перевірок повинна збиратися необхідна інформація, вироблятися рекомендації по режиму подальшої експлуатації АТТ і визначатися з номенклатурою та обсягом ремонтних впливів з встановленням їх термінів.

Елементно-модульна система ТО і Р передбачає проведення трьох рівнів впливів:

- контроль або технічне діагностування;
- профілактичне обслуговування;
- ремонт.

Розробка ЕМС ТО і Р машин базується на умові, що процеси контролю і діагностування є технологією перетворення інформаційних потоків від актуальної інформації до потенційної інформації про технічний стан об'єктів моніторингу, яка і є факторами (параметрами), що регулюють керуючі впливи в управлінні експлуатаційною надійністю парків машин АТТ з модульною структурою (рис. 3.12).

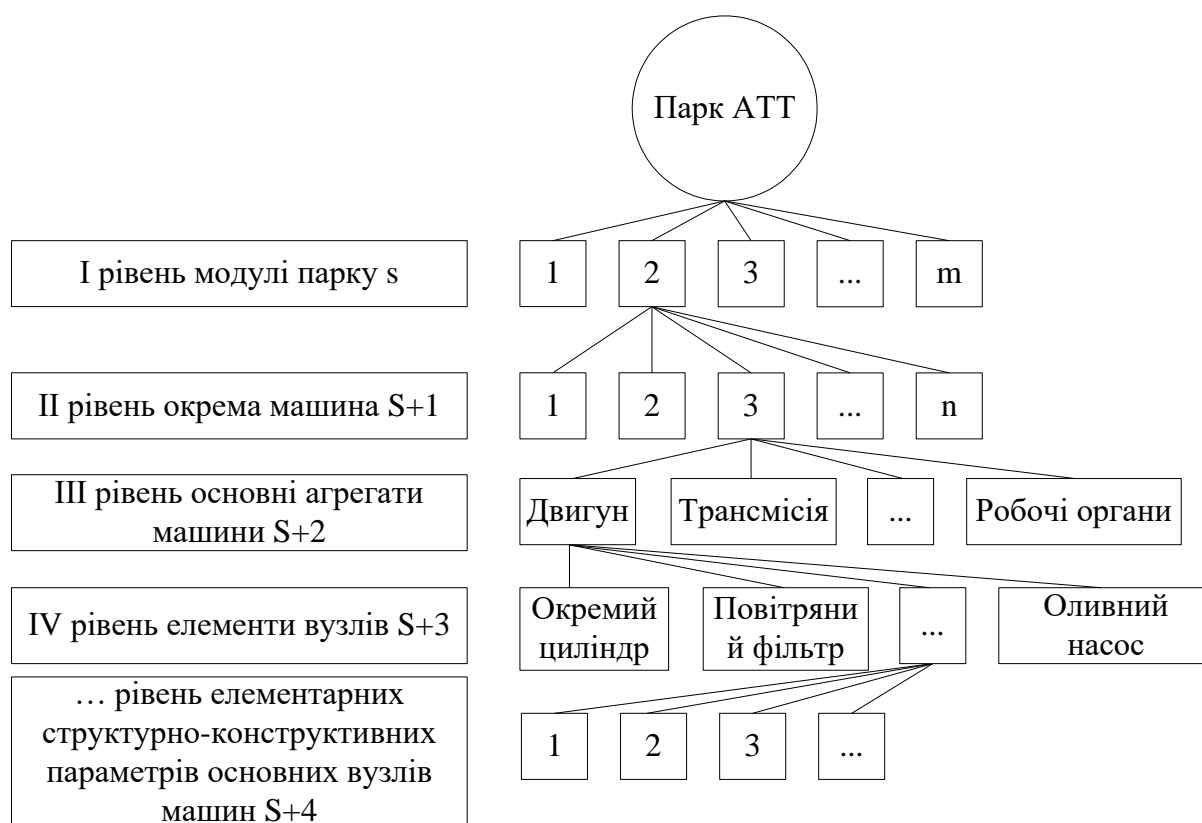


Рис. 3.12. Ідеалізована структурна схема елементно-модульної системи ТО і Р АТТ на підприємстві АПВ

В останні роки все частіше в практиці експлуатації АТТ використовуються як методи контролю технічного стану, так і технічного діагностування їх елементів [99, 109, 113, 130, 131, 133, 145-149]. В свою чергу, діагностування дає інформацію для ідентифікації місця, виду, величини дефекту і прогнозу його розвитку. Це дозволяє вирішувати завдання визначення залишкового ресурсу або прогнозування інтервалу безаварійної роботи АТТ.

Управління технічним станом АТТ повинно ґрунтуватися на отриманні інформації і зниженні невизначеності (ентропії) технічного стану АТТ шляхом діагностування окремих взаємопов'язаних елементів їх системи. Велике значення до вимог діагностичних параметрів має їх інформативність як один з принципів управління системою ТО і Р.

Оцінка технічного стану кожного елемента машин повинна виконуватися за діагностичними параметрами. У цьому випадку структура парку АТТ для оцінки його технічного стану може бути представлена у вигляді певного графа з рівнями ($j, j+1, \dots, j+n$) відповідними тому чи іншому елементу, а кількість інформації про технічний стан АТТ, може бути представлено у вигляді суми інформації з врахуванням ймовірності подій на кожному рівні.

Висновки по розділу 3

1. Розроблено структуру дослідження та алгоритм аналізу технічного стану елементів АТТ на підприємствах, що експлуатують техніку в жорстких умовах АПВ. Реалізуючи пасивний експеримент з вдосконаленою стратегією технічного обслуговування АТТ на підприємствах АПВ, вдалося застосувати групування елементів та техніки на модулі, що створює умови для управління технічним станом парку АТТ.

2. Визначено, що згідно запропонованого елементно-модульного підходу одиницю парку АТТ потрібно розглядати у вигляді інформаційної системи, а її ресурсовизначальні системи і агрегати виділити як окремі елементи, що мають свою номенклатуру діагностичних параметрів. За таких умов можливо уточнювати перелік діагностичних параметрів за

інформаційним критерієм, що дає змогу раціонально описувати технічний стан розглянутих елементів АТТ.

3. Розроблено алгоритм оцінки ефективності реалізації діагностичних параметрів для елементів АТТ підчас їх експлуатації. В такому випадку, створюються можливості вибору лише тих методів діагностування, що максимально підходять для конкретних умов експлуатації АТТ на підприємстві.

4. Сформовано процедуру відбору діагностичних параметрів за інформаційно-статистичним критерієм, який дає можливість залишити тільки ті діагностичні параметри, що описують зміну реального технічного стану як окремого елемента АТТ, так і їх модулів в цілому.

5. Проаналізовано методи та необхідне обладнання для визначення параметрів технічного стану елементів та модулів парку АТТ. На основі даного аналізу відібрано ряд методів, що потрібні для дослідження парку АТТ і які адекватно відображають їх технічний стан підчас експлуатації. Використовуючи діагностичну інформацію з відповідних методів, є можливість раціонально формувати діагностичну базу даних для підприємств, що експлуатуються АТТ.

6. Запропоновано, на основі представлених алгоритмів, здійснювати прогнозування технічного стану парку АТТ та уточнювати систему їх технічного сервісу підчас експлуатації. Реалізація елементно-модульного підходу потребує дослідження його ефективності та уточнення для розробки рекомендацій службам експлуатації.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ЕЛЕМЕНТНО-МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ ТО І Р

4.1 Загальна характеристика парку автотракторної техніки, що експлуатується в агропідприємствах Кіровоградської області

Результати обстеження технічного стану АТТ в Кіровоградській області показали, що на агропідприємствах області, в галузі перевезень, використовуються, в основному, вантажні автомобілі - 74% (сімейства КамАЗ), а решта трактори - 26% обсягу перевезень.

Розглянуто забезпеченість, віковий склад, надходження нової АТТ та динаміка зміни її працездатності. Виявлено, що існує певна градація по видам перевезень в АПВ. На забезпеченні галузі тваринництва та рослинництва, це передусім, заготівля-підвезення кормів, доставка-внесення посівного матеріалу, добрив, вивезення урожаю, відходів, перевезення худоби та ін. використовуються АТТ. В сфері обслуговування сільськогосподарських підприємств – трактори тягового класу МТЗ-80/82 або 1025, а при вивозі-внесенні органічних речовин і важких сільськогосподарських робіт – трактори Т-150К та John Deer 8RT ІТ4. Транспортування вантажів здійснюється на порівняно невеликій відстані, весь календарний рік, дуже часто при тяжких дорожно-кліматичних умовах, а отже і значних навантаженнях елементів АТТ.

Беручи до уваги факт, що в умовах АПВ значно складніше визначити конкретну причину несправності, можна виділити основні елементи, що лімітують надійність елементів АТТ на основі експертних оцінок [115]. Передусім, це перше поршневе кільце, гільза циліндра, поршневий палець, колінчастий вал, клапани (особливо випускний), розподільчий вал, елементи системи очищення повітря та системи мащення та інші.

Втрата елементів АТТ своїх робочих властивостей миттєво відображається на її загальній працездатності. Як відомо [126], надійність систем АТТ обумовлюється надійністю найслабших її елементів, тому при порівняно високому рівні надійності елементів іноземної техніки, що працює на підприємствах АПВ Кіровоградської області, спостерігається менше число відмов підчас її експлуатації. Розподіл кількості відмов агрегатів по групах складності (де I – не складні відмови, техніка простоює в зоні сервісу не більше 1 дня, вартість ремонту не значна до 2 тис. грн; II – відмови даної групи змушували операторів ставати на обслуговування від 2 до 3 днів і виконувати деякі заміни деталей вартість сервісних операцій в межах від 2 до 7 тис. грн; III – відмови такої групи змушували операторів зупинятися більше 3 днів, а вартість сервісних операцій становила більше 7 тис. грн підчас їх експлуатації) та по категоріям АТТ наведено на рис. 4.1.

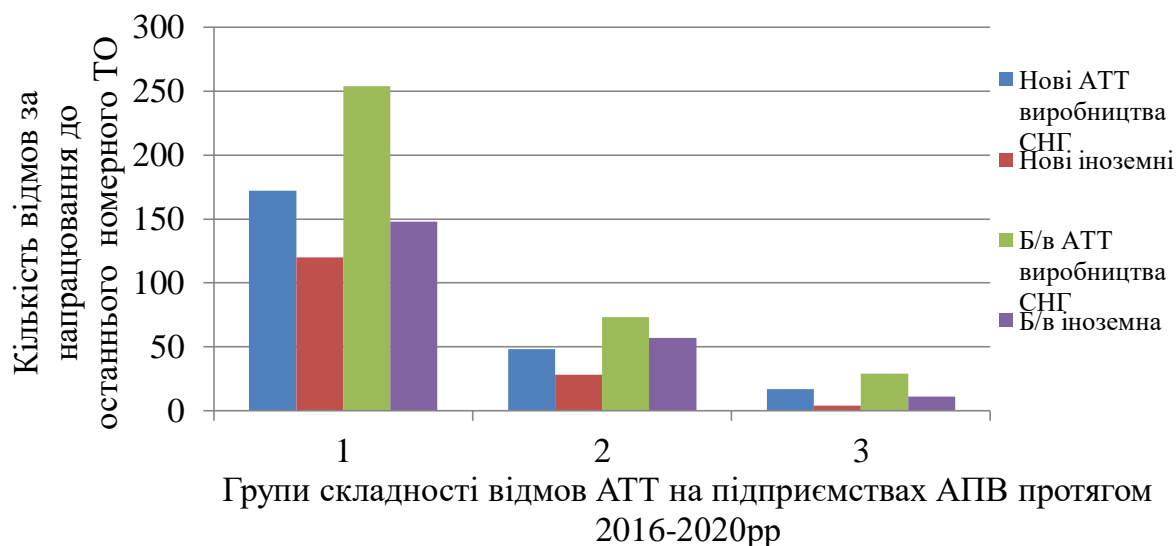


Рис. 4.1. Рівень експлуатаційної надійності агрегатів АТТ вітчизняного та іноземного виробництва за категоріями і групами складності відмов (I нові 172-120, б/в 254-148; II нові 48-73, б/в 73-57; III нові 17-4, б/в 29-11)

Отримані дані свідчать, що у деяких випадках, нова вітчизняна АТТ, показує експлуатаційну надійність складових елементів на рівні іноземних, що були у використанні, причому кількість серйозних (III група

складності), а значить більш "дорогих" відмов значно вища (І група – 172 проти 148, ІІ група – 48 проти 57; ІІІ група – 17 проти 11).

Більшість АТТ відпрацювала свій амортизаційний строк, неодноразово ремонтувалась (капітально та за необхідністю по окремим елементам), експлуатуються з різною інтенсивністю. Враховуючи незначну кількість нової техніки, іноземної та вітчизняної (14,28% – автомобілі, 8,12% – трактори), складно достовірно визначати технічний стан агрегатів АТТ, використовуючи існуючу нормативну базу. Адже вона розрахована на дотримання певних норм по тривалості експлуатації (7...10 років до списання – реально 15...22) та напрацювання (8...12 тис. мото-год. – реально 11,2...22,2 тис. мото-год або 250...500 тис. км. пробігу – реально 400...850 тис. км.). Враховуючи, що АТТ фактично не списуються, навіть нова (відремонтована) техніка потрапляє в попередньо не ідеальні умови роботи, що звичайно, знижує його ресурс. Сумарне напрацювання елементів АТТ рідко перевищує 70...80% від запланованого ресурсу.

Відомо, що технічний стан елементів АТТ в цілому значно залежить від віку техніки, що і враховано зміною діагностичних параметрів, а також при формуванні модулів в парку машин. Визначальним все ж є умови їх експлуатації, специфіка виробництва, інтенсивність та величина напрацювання. Саме тому, різниця напрацювання до повної втрати працездатності елемента (заміни) АТТ може відрізнятись в 2...3 рази для однієї одиниці техніки.

Технічний стан агрегатів АТТ, що експлуатується на агропідприємствах Кіровоградської області в значній мірі визначається і конкретними умовами господарювання: існуючим парком машин; наявністю кваліфікованого, досвідченого персоналу; ремонтно-обслуговуючою базою; загальним фінансовим станом та іншими факторами.

Розподіл та аналіз причин виходу з ладу агрегатів АТТ для всіх категорій на прикладі СТОВ "Хуторське" та ТОВ "Агрофірма Колос" Кіровоградської області за 2016-2020 рр. наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Аналіз складності відмов, що спричиняють вихід з ладу систем елементів АТТ на підприємствах АПВ за 2016-2019 рр.

Елемент АТТ	Загальна кількість одиниць АТТ	Стан елементів АТТ*	Група складності відмови елементів АТТ			Відношення до загальної кількості відмов АТТ, %		
			I	II	III	I	II	III
КШМ	29	Новий	8	4	3	6.5	8.3	9.7
		б/в	16	10	7	13.0	20.8	22.6
ГРМ	29	Новий	5	2	1	4.1	4.2	3.2
		б/в	7	2	1	5.7	4.2	3.2
Система охолодження	29	Новий	4	2	1	3.3	4.2	3.2
		б/в	6	2	1	4.9	4.2	3.2
Система мащення	29	Новий	7	3	2	5.7	6.3	6.5
		б/в	14	4	2	11.4	8.3	6.5
ЦПГ	29	Новий	7	3	2	5.7	6.3	6.5
		б/в	18	4	2	14.6	8.3	6.5
Система живлення	29	Новий	2	1	1	1.6	2.1	3.2
		б/в	5	2	1	4.1	4.2	3.2
Ущільнюючі елементи	29	Новий	2	1	1	1.6	2.1	3.2
		б/в	4	2	2	3.3	4.2	6.5
Пусковий двигун	29	Новий	4	1	1	3.3	2.1	3.2
		б/в	5	2	1	4.1	4.2	3.2
Інші	29	Новий	3	1	1	2.4	2.1	3.2
		б/в	6	2	1	4.9	4.2	3.2

*Новими вважали АТТ, що пройшли обкатку і не досягли стану необхідності проведення робіт ПР і першого КР.

Кількість відмов I та II-ї групи складності при застосуванні ПЗС знаходиться в майже прийнятних межах, а стосовно III-ї групи існує значне перевищення, наслідком якого є вагомі матеріальні збитки. У випадку експлуатації морально застарілої техніки, спостерігається підвищення відмов III-ї групи більше ніж у 2 рази. Тобто, виникає необхідність застосування більш ефективної елементно-модульної системи ТО і Р, яка дозволить знизити кількість важких відмов і пов'язаних з ними матеріальних втрат.

Реалізувати завдання підтримки технічного стану можна якщо для всього парку АТТ застосувати елементно-модульну стратегію технічних

дій на основі інформаційного забезпечення системи управління станами елементів АТТ та модульного поділу парку машин, що експлуатуються на підприємствах АПВ.

Наочно динаміка зміни кількості, технологічної потреби та забезпеченість в АТТ на підприємствах АПВ Кіровоградської області подано на рис. 4.2.

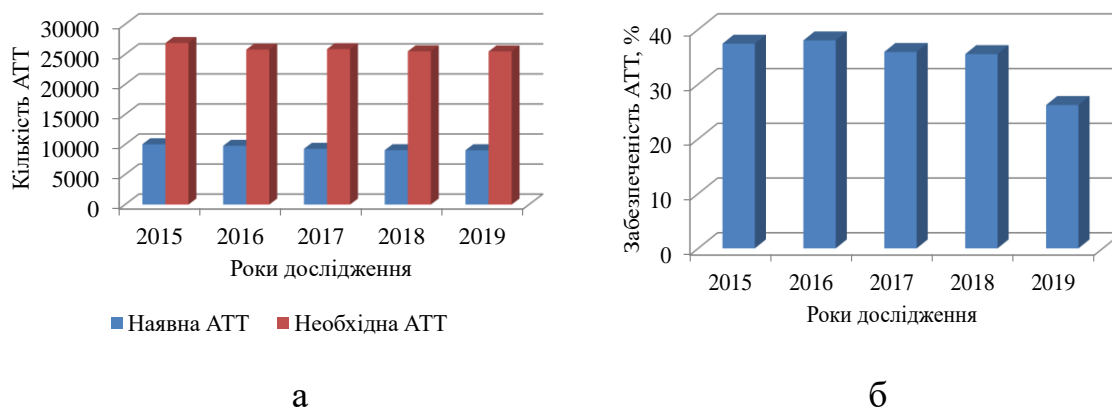


Рис. 4.2. Динаміка зміни кількості та технологічної потреби в АТТ (а) та забезпеченість ними (б) підприємств АПВ Кіровоградської області у 2016-2019 р.

Результати спостереження за процесом надходження техніки вітчизняного і іноземного виробництва у підприємства АПВ представлено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

Надходження АТТ у підприємства АПВ Кіровоградської області у 2016-2019 рр.

Роки	Техніка іноземного виробництва			Техніка вітчизняного виробництва		
	Автомобілі	Трактори	Інша техніка	Автомобілі	Трактори	Інша техніка
2016	346	1086	201	260	1817	706
2017	325	1069	109	240	1760	635
2018	339	925	126	307	1584	679
2019	280	349	н.д.	103	86	н.д.

Характерним для можливостей технічного використання АТТ є її віковий стан, який представлено в табл. 4.3. і рис. 4.2.

Таблиця 4.3.

**Інформація про віковий стан тракторів підприємств АПВ
Кіровоградської області в 2016-2019 р., %**

Роки	до 5 років включно	до 10 років включно	до 20 років включно	до 30 років і більше
	P1	P2	P3	P4
2016	12,73	14,57	58,92	13,78
2017	10,46	13,83	55,17	20,54
2018	11,05	12,18	54,67	22,1
2019	7,01	11,81	57,88	23,3

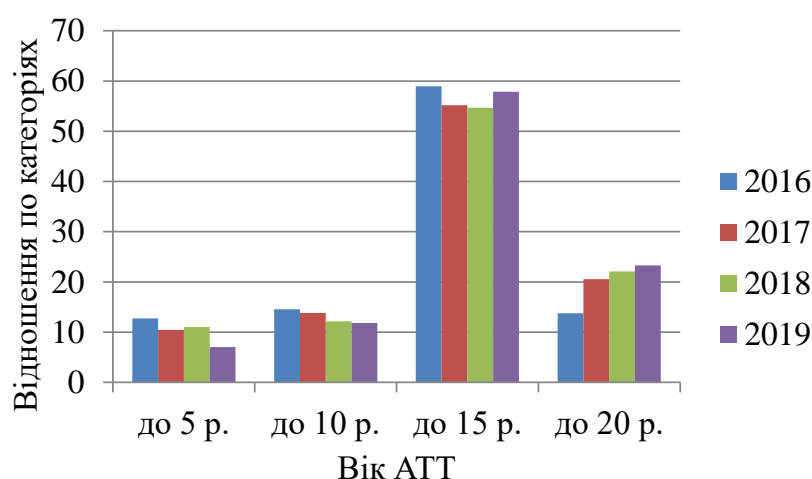


Рис. 4.3. Віковий стан АТТ на підприємствах АПВ

Представлено зведену таблицю парку АТТ в Кіровоградській області на момент реалізації активного експерименту даної роботи табл. 4.4.

Таблиця 4.4.

**Наявність техніки у підприємствах АПВ Кіровоградської області
на 2019 рік, шт.**

№ п/п	Назва району	всього	тракторів	самохідних сільськогосп одар-ських машин	самохідних дорожньо-будівельних, меліоративних та інших машин	прицепів	причепних, навісних і інших машин та обладнання
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Олександрійський	1098	802	178	9	87	22
2	Олександрівський	538	353	67	2	17	99
3	Бобринецький	333	239	68	-	9	17
4	Гайворонський	675	298	79	13	280	3

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8
5	Голованівський	1030	557	209	50	149	65
6	Добровеличківський	877	592	155	2	124	4
7	Долинський	640	479	96	7	54	4
8	Знам'янський	586	325	96	9	144	12
9	Кіровоградський	978	637	167	34	127	13
10	Компаніївський	412	309	45	-	59	-
11	Маловисківський	650	427	131	33	33	31
12	Новгородківський	510	396	67	2	37	8
13	Новоархангельський	861	505	178	42	131	5
14	Новомиргородський	824	482	198	1	81	62
15	Новоукраїнський	1232	781	340	41	65	5
16	Вільшанський	524	339	113	1	76	-
17	Онуфріївський	286	191	43	4	39	-
18	Петровський	806	557	156	38	35	20
19	Світловодський	316	211	42	10	45	8
20	Ульяновський	466	295	76	18	61	16
21	Устинівський	372	270	59	-	37	6
22	Всього	14014	9045	2563	316	1690	400

Графічна інтерпретація розподілу АТТ по районах наведена на рис. 4.4.

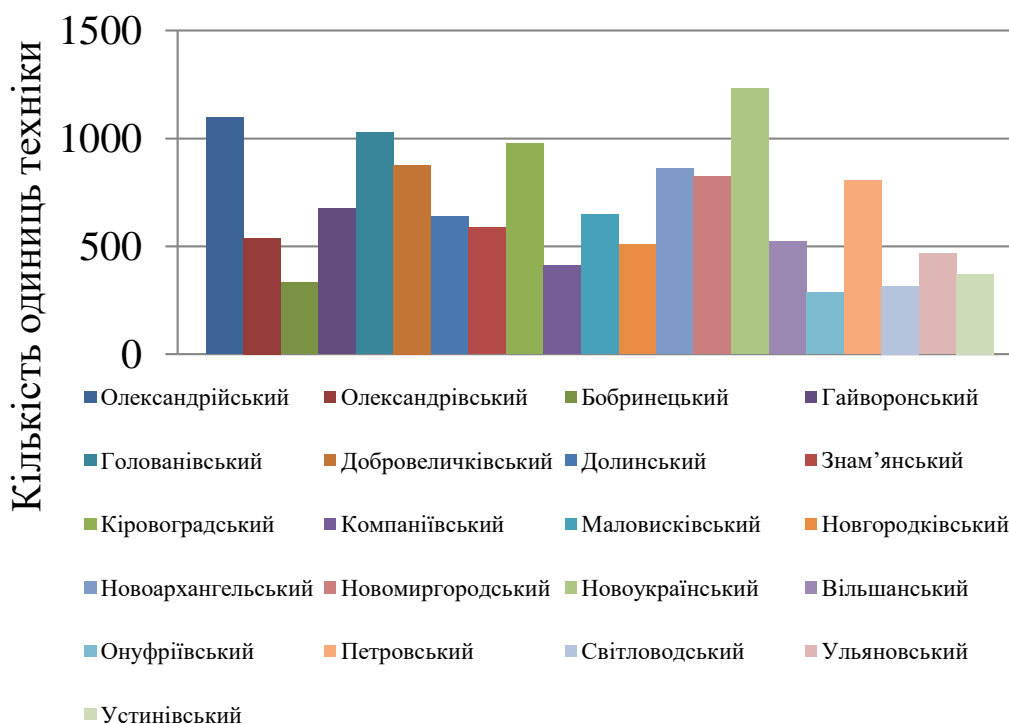


Рис. 4.4. Наявність одиниць АТТ у підприємствах АПВ Кіровоградської області по районах за 2019 рік, шт.

Таким чином, можливо бачити, що парк АТТ в Кіровоградській області має в середньому вік АТТ більше 5...15 р., що в свою чергу вимагає розробки нових систем технічного сервісу для такої техніки, щоб підтримати її рівень надійності та ефективності під час експлуатації.

4.2 Формування діагностичних параметрів технічного стану та показників надійності дизелів АТТ з напрацюванням при реалізації ЕМС ТО і Р

Формуючи перелік елементів (агрегатів), що потребують втручання в систему їх технічного сервісу та реалізації елементно-модульної стратегії для АТТ, враховуючи дані пункту 4.1, було визначено, що першочергово цього потребують силові агрегати АТТ. Особливо це чітко проявляється при врахуванні груп відмов і їх кількості по певним системам таблиця 4.1. Для силових агрегатів АТТ, що представляються окремими елементами під час експлуатація необхідно організувати контроль технічного стану АТТ, але система контролю повинна бути в рамках бюджету підприємств. За таких умов було прийнято рішення максимально зменшити кількість діагностичних параметрів для елементів АТТ, а їх номенклатура повинна максимально відображати зміни технічного стану. З метою зменшення об'єму закупленого обладнання було реалізовано рішення, стосовно залучення послуг хімотологічної лабораторії LUBCHECK для визначення технічного стану з напрацюванням.

Спочатку було визначено найбільш інформативні діагностичні параметри із сукупності тих, що описують технічний стан елементів АТТ, що підлягають контролю, а потім проводили розрахунки інформаційної значущості кожного контрольованого параметра, при реалізації ЕМС ТО і Р. Для цього були використані структурно-наслідкові моделі об'єктів діагностування, побудовані на основі оцінки їх надійності і аналізу

причинно-наслідкових зв'язків елементів [131]. Використання цих моделей дозволило встановити перелік діагностичних параметрів. Обмеженням для вибору діагностичних параметру були доступність обладнання та організаційне забезпечення системи ТО і Р на підприємстві, а також інтегральність обраних діагностичних показників. Побудовано матриці станів, що характеризують розпізнавання діагностичних параметрів. Все операції також необхідно реалізовувати при використанні прикладних програм на ПК.

Приймаючи припущення про те, що при поділі систем і агрегатів АТТ на N елементів і два альтернативні результати контролю для кожного з них, множини відмов характеризують їх як ймовірнісну систему з кінцевою множиною технічних станів, рівну числу складових піделементів, що відмовили [132]. При цьому ймовірність справного стану визначається як ймовірність протилежної події.

З урахуванням теореми додавання ймовірностей. Ймовірність $P(\overline{S_0})$ приймається рівній сумі ймовірностей відмов складових елементів об'єкту діагностування на початку інтервалу пробігу (напрацювання). В результаті, нехтуючи ймовірністю спільної появи відмов, приймали появу цих подій незалежними. Зазначимо, що ймовірність можливих станів елементів АТТ визначали з врахуванням ймовірності відмови їх систем, вузлів, деталей та співвідношення відмов на інтервалах пробігу [122]. Дослідженню підлягали технічні стани гільз циліндрів, поршнів дизелів, компресійних кільць, вкладишів, шатунних підшипників, ущільнень дизелів, граничних значень показників моторної оливи. Передусім розглядали технічний стани ЦПГ і системи змащення дизелів АТТ при реалізації ЕМС ТО і Р. Матриця технічних станів ЦПГ наведена в таблиці 4.5 і включає справний технічний стан S_0 і несправні технічні стани спряжень деталей за причинами: спрацювання гільзи циліндрів - S_1 ; спрацювання поршня - S_2 .

Таблиця 4.5

Загальний вигляд матриці технічних станів ЦПГ дизелів АТТ

Параметри	Технічний стан		
	S_0	S_1	S_2
D_1 - тиск газів, що прориваються в картер	0	0	1
D_2 - компресія в циліндрах	0	1	1

Було досліджено спільний парк АТТ на підприємствах СТОВ "Хуторське" та ТОВ "Агрофірма Колос" було зведено два модулі автомобілів сімейства КамАЗ та трактори сімейства John Deere, щоб узгодити напрацювання парку АТТ для автомобілів було прийнято їх середній пробіг за годину, а саме 45 км/год, тому для переводу пробігу км/год в мото-год використовували коефіцієнт переведення 0,0225. Інтенсивність відмов елементів ЦПГ автомобілів сімейства КамАЗ розраховували як середнє значення на інтервалі пробігу 1350 мото-год. При більш точному розрахунку кількість відмов фіксували на кожних 270 мото-год пробігу. Визначено, що для гільз циліндрів дизелів на пробігу АТТ до 1350 мото-год, максимальна інтенсивність відмов припадає на інтервал пробігу 1080...1350 мото-год., а початок граничного спрацювання - для деяких гільз починається з інтервалу пробігу 810...1080 мото-год. Значне зменшення ресурсу гільз циліндрів в умовах АПВ спричинене важкими умовами експлуатації, наявністю перенавантажень та недостатньо якісною організаційною службою технічної експлуатації та системою ТО і Р. Натомість, можна бачити, що для поршнів дизелів, які експлуатуються в умовах АПВ, на пробігу 1350 мото-год., максимальна інтенсивність відмов припадає на інтервал пробігу 810...1080 мото-год, а початок граничного зношування починається на інтервалі пробігу 270...540 тис. км. Оскільки для даних умов експлуатації АТТ конструктивно не вирівняний технічний стан ЦПГ, тому для його врівноваження слід досліджувати показники надійності та розробляти стратегію та систему ТО і Р.

При дослідженні парку АТТ інтенсивність відмов елементів ЦПГ

тракторів сімейства John Deere розраховували як середнє значення на інтервалі пробігу 1250 мото-год, відмови фіксувалися кожні 250 мото-год. Відповідно експлуатаційних досліджень для тракторів даного сімейства незначна кількість несправностей з гільзами циліндрів були в межах 750...1000 мото-год, а поршнів 750...1250, початкове спрацювання фіксувалися на 750 мото-год. Оскільки кількість несправностей для тракторів було незначною, можливо, що в парку недостатньо якісно проводили сервісні операції в попередній період їх експлуатації.

Розрахунок середньої ймовірності відмов кожного стану ЦПГ за формулою закону експоненціального розподілу, зведено до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Значення середньої ймовірності відмов технічних станів ЦПГ дизелів АТТ

Технічні стани ЦПГ	Середня ймовірність технічного стану ЦПГ АТТ на пробігу 1350 мото-год	
	АТТ сімейства КамАЗ	АТТ сімейства John Deere
S_0 – справний стан	0,889	0,832
S_1 – зношування гільзи циліндрів	0.049	0,058
S_2 – зношування поршня	0.065	0,116

Використовуючи ці дані, можна отримати значення показників інформаційної ентропії, що відображені в матриці технічних станів для ЦПГ дизелів АТТ та кількість інформації, що вноситься кожним з розглянутих діагностичних параметрів (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7

Значення інформативності діагностичних параметрів ЦПГ дизелів АТТ

Діагностичний параметр	Інформативна значущість, біт	
	АТТ сімейства КамАЗ	АТТ сімейства John Deere
D_1 - тиск газів, що прориваються в картер	0.365	0.459
D_2 - компресія в циліндрах	0.622	0.751

Можна бачити, що найбільш інформативним діагностичним параметром ЦПГ за кількістю привнесеної інформації є компресія в

циліндри дизеля АТТ. Кількість інформації у порівнянні з тиском газів, що прориваються в картер дизеля компресія має більшу величину для АТТ сімейства КамАЗ на 57...59 %, для АТТ сімейства John Deere на 61...62 %, а тому для подальшого дослідження технічного стану ЦПГ дизелів АТТ, що експлуатуються в умовах АПВ, будемо формувати діагностичну базу даних, ґрунтуючись на цьому діагностичному параметрі. Закономірності зміни якого відносно напрацювання АТТ наведено на рис. 4.5.

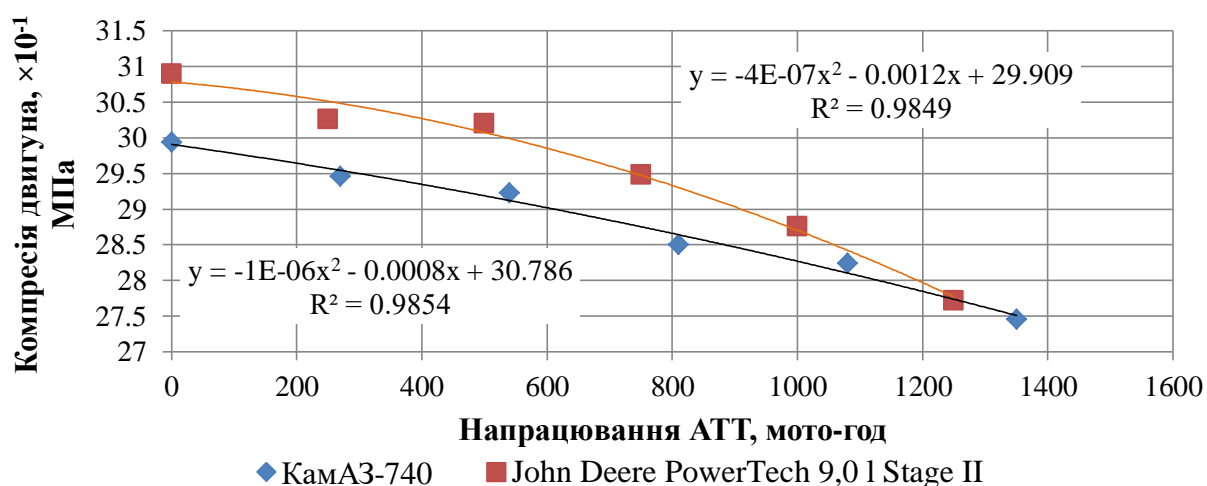


Рис. 4.5. Закономірності зміни компресії АТТ підчас експлуатації

Використовуючи дані закономірності в подальшому необхідно використовувати дані регресійні залежності для прогнозування необхідних технічних дій АТТ.

Наступною системою дизелів, для якої необхідно обґрунтувати діагностичні параметри, є система змащення. Матриця технічних станів системи змащення дизеля АТТ приведена в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8

Матриця технічних станів системи змащення дизеля АТТ

Діагностичні параметри	Технічний стан						
	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
1	2	3	4	5	6	7	8
D_1 - кінематична в'язкість	0	0	0	0	0	1	0
D_2 - кислотне число	0	0	0	0	0	1	1
D_3 - лужне число	0	0	0	0	1	1	1
D_4 - склад механічних домішок	0	1	1	1	0	0	0

Продовження таблиці 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8
D_5 - склад нерозчинного осаду	0	0	0	0	0	1	1
D_6 - діелектрична проникність	0	1	1	1	1	0	0
D_7 - тиск в системі мащення	0	0	1	0	0	0	0
D_8 - температура спалаху в тиглі	0	1	0	0	1	1	0

Матриця включає справний S_0 і технічні стани, що призводять до погіршення роботи даної системи дизелів АТТ з причин спрацювання: S_1 – компресійних кілець; S_2 – вкладишів; S_3 – шатунних підшипників; S_4 – оливи; S_5 – плунжерних пар форсунок паливної апаратури; S_6 – ущільнень двигуна. Ці технічні стани системи змащення дизеля АТТ враховано та включено в матрицю, відповідно до виявлених несправностей під час експлуатації на підприємствах АПВ, а діагностичні параметри підібрано за ступенем доступності технічного обладнання та їх інтегральністю у визначенні технічного стану самої системи змащення.

Оскільки технічний стан системи змащення дизелів АТТ передусім визначається надійністю компресійних кілець, вкладишів шатунних підшипників, плунжерних пар паливної апаратури, ущільнень дизелів АТТ та стану оливи, то результати дослідження їх показників надійності наведені в таблицях 4.9, 4.10. Кількість відмов елементів дизелів з пробігом наведено в табл.4.9.

Таблиця 4.9

Кількість відмов елементів дизелів АТТ сімейства КамАЗ, на різних інтервалах напрацювання та на їх початку.

Напрацювання мото-год.	Компресійні кілець		Вкладищі		Шатунні підшипники		Стан оливи		Плунжерні пари форсунок		Ущільнення	
	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.
0-270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
270-540	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
540-810	1	2	1	2	1	2	1	4	0	2	0	2
810-1080	2	3	2	2	2	3	4	3	2	1	2	1
1080-1350	3	4	2	1	3	4	3	2	1	3	1	2

Таблиця 4.10

Значення показників інтенсивності відмов елементів технічного стану дизелів АТТ сімейства КамАЗ, на різних інтервалах пробігу

Напрацювання мото-год.	Компресійні кільця		Вкладищі		Шатунні підшипники		Стан оливи		Плунжерні пари форсунок		Ущільнення	
	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.
0-270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
270-540	3,086·10 ⁻⁵	3,086·10 ⁻⁵	3,086·10 ⁻⁵	3,086·10 ⁻⁵	3,086·10 ⁻⁵	3,086·10 ⁻⁵	3,086·10 ⁻⁵	3,086·10 ⁻⁵	0	0	0	0
540-810	6,225·10 ⁻⁵	6,225·10 ⁻⁵	6,225·10 ⁻⁵	6,225·10 ⁻⁵	6,225·10 ⁻⁵	6,225·10 ⁻⁵	1,266·10 ⁻⁵	1,266·10 ⁻⁵	6,173·10 ⁻⁵	6,173·10 ⁻⁵	6,173·10 ⁻⁵	6,173·10 ⁻⁵
810-1080	9,416·10 ⁻⁵	9,416·10 ⁻⁵	6,278·10 ⁻⁵	6,278·10 ⁻⁵	9,416·10 ⁻⁵	9,416·10 ⁻⁵	9,579·10 ⁻⁵	9,579·10 ⁻⁵	3,139·10 ⁻⁵	3,139·10 ⁻⁵	3,139·10 ⁻⁵	3,139·10 ⁻⁵
1080-1350	1,266·10 ⁻⁵	1,266·10 ⁻⁵	3,139·10 ⁻⁵	3,139·10 ⁻⁵	1,266·10 ⁻⁵	1,266·10 ⁻⁵	6,331·10 ⁻⁵	6,331·10 ⁻⁵	9,337·10 ⁻⁵	9,337·10 ⁻⁵	6,225·10 ⁻⁵	6,225·10 ⁻⁵
Середнє значення	6,278·10 ⁻⁵	6,278·10 ⁻⁵	3,745·10 ⁻⁵	3,745·10 ⁻⁵	6,278·10 ⁻⁵	6,278·10 ⁻⁵	6,289·10 ⁻⁵	6,289·10 ⁻⁵	3,729·10 ⁻⁵	3,729·10 ⁻⁵	3,725·10 ⁻⁵	3,725·10 ⁻⁵

З наведених експериментальних даних випливає, що максимальне значення інтенсивності відмов для досліджуваного елемента дизелів АТТ сімейства КамАЗ знаходиться на інтервалі пробігу 810...1080 мото-год, а початок спрацювання – 270...540 мото-год напрацювання.

В свою чергу, дослідження виконані для визначення технічного стану системи змащення дизелів АТТ сімейства John Deere результати дослідження їх показників надійності наведені в таблицях 4.21. Кількість відмов елементів дизелів з пробігом наведено в табл.4.11.

Таблиця 4.11

Кількість відмов елементів дизелів АТТ сімейства John Deere, на різних інтервалах напрацювання та на їх початку.

Напрацювання мото-год.	Компресійні кільця		Вкладищі		Шатунні підшипники		Стан оливи		Плунжерні пари форсунок		Ущільнення	
	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.
0-250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250-500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
500-750	0	2	0	0	0	1	0	0	1	2	0	0
750-1000	2	1	0	1	1	0	0	1	2	0	0	1
1000-1250	1	2	1	1	0	1	1	2	0	1	1	0

Таблиця 4.12

Значення показників інтенсивності відмов елементів технічного стану дизелів АТТ сімейства John Deer, на різних інтервалах пробігу

Напрацювання мото-год.	Компресійні кільця	Вкладищі	Шатунні підшипники	Стан оливи	Плунжерні пари форсунок	Ущільнення
0-250	0	0	0	0	0	0
250-500	0	0	0	0	$3,334 \cdot 10^{-5}$	0
500-750	$6,67 \cdot 10^{-5}$	0	$3,334 \cdot 10^{-5}$	0	$6,723 \cdot 10^{-5}$	0
750-1000	$3,389 \cdot 10^{-5}$	$3,334 \cdot 10^{-5}$	0	$3,334 \cdot 10^{-5}$	0	$3,334 \cdot 10^{-5}$
1000-1250	$6,723 \cdot 10^{-5}$	$3,361 \cdot 10^{-5}$	$3,334 \cdot 10^{-5}$	$6,723 \cdot 10^{-5}$	$3,334 \cdot 10^{-5}$	0
Середнє значення	$3,36 \cdot 10^{-5}$	$1,339 \cdot 10^{-5}$	$1,334 \cdot 10^{-5}$	$2,011 \cdot 10^{-5}$	$2,678 \cdot 10^{-5}$	$6,667 \cdot 10^{-5}$

Відповідно до експериментальних даних маємо, що максимальне значення інтенсивності відмов для досліджуваного елементів технічного стану дизелів АТТ сімейства John Deer знаходиться на інтервалі пробігу 1000...1250 мото-год, а початок спрацювання – 500...750 мото-год напрацювання.

Експериментальними дослідженнями виявлено, що показники надійності елементів дизелів парку АТТ, що експлуатується на підприємствах АПВ, знаходяться в широких межах напрацювання. Більшість спряжень деталей конструктивно не узгодженні за показниками надійності, а тому виявлення інформативно значущих діагностичних параметрів є необхідним для вирішення завдання вирівнювання інформації про технічний стан на певному рівні експлуатаційної надійності АТТ і об'єднання їх в модулі при реалізації ЕМС ТО і Р. Для системи змащення дизелів АТТ інформативність діагностичних параметрів наведена в таблиці 4.12.

Виходячи з даних таблиці 4.13 за критерієм статистичної інформативності найбільш інформативними діагностичними параметрами системи змащення дизелів АТТ сімейства КамАЗ та сімейства John Deer можливо відібрати: D_3 – лужне число оливи; D_4 – вміст механічних домішок в оливі; D_6 – діелектрична проникність оливи; D_8 – температура спалаху в закритому тиглі. Для подальшого дослідження технічного стану системи змащення силових агрегатів слід отримувати та формувати

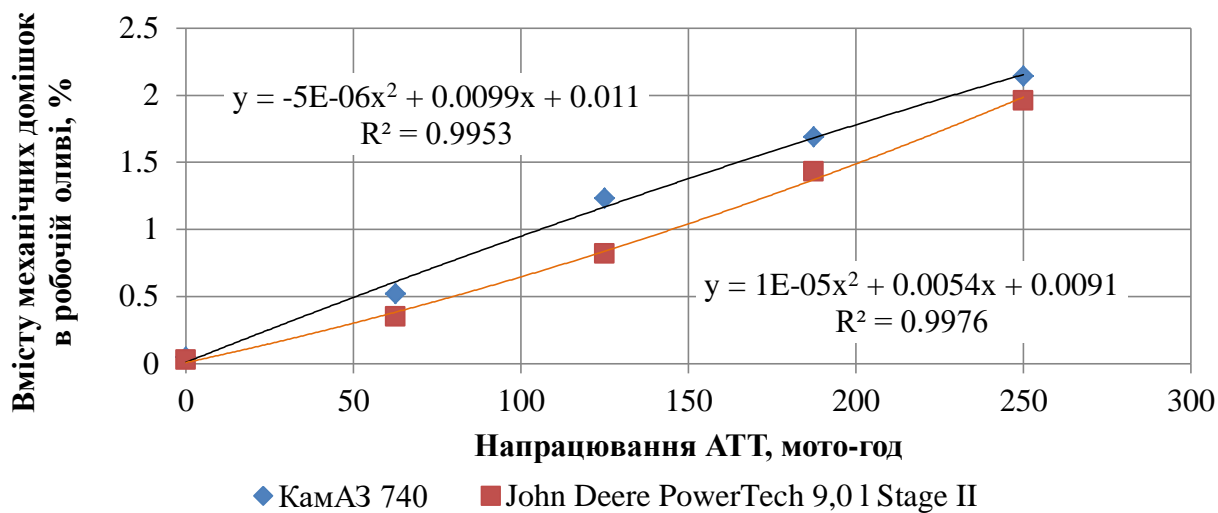
діагностичну базу даних, ґрунтуючись на відібраних діагностичних параметрах. Відповідні діагностичні параметри та їх зміна під час експлуатації відображено на рисунку

Таблиця 4.13

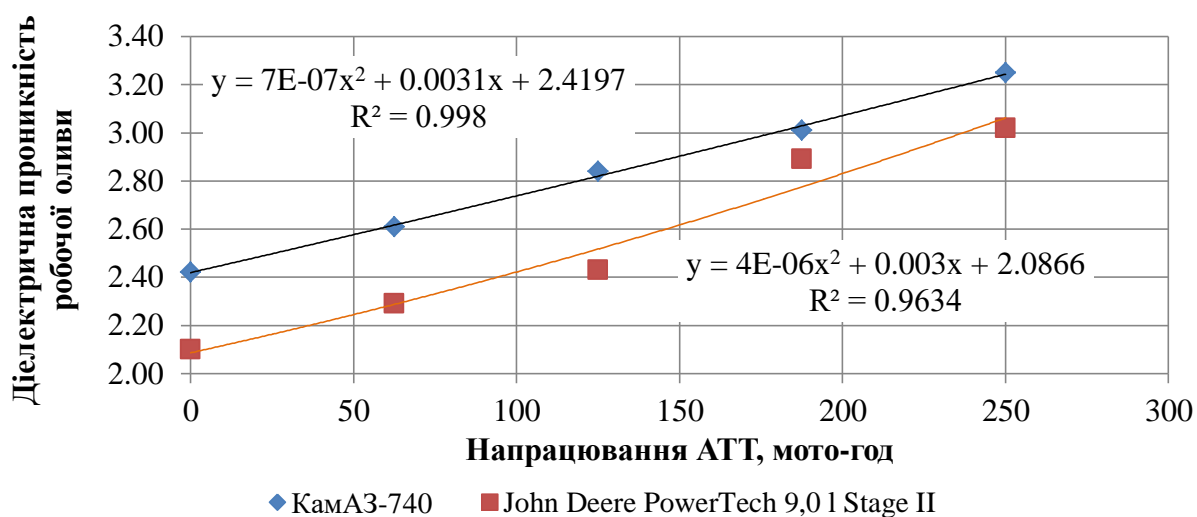
Значення інформативності діагностичних параметрів технічного стану системи змащення дизелів АТТ

Діагностичний параметр	Інформативна значущість, біт	
	АТТ сімейства КамАЗ	АТТ сімейства John Deer
D_1 - кінематична в'язкість оливи	0.604	0.561
D_2 - кислотне число оливи	0.817	0.622
D_3 - лужне число оливи	1.112	0.762
D_4 - вміст механічних домішок в оливі	1.193	0.797
D_5 - склад нерозчинного осаду в оливі	0.817	0.622
D_6 - діелектрична проникність оливи	1.487	0.937
D_7 - тиск в системі мащення двигуна	0.604	0.494
D_8 - температура спалаху в закритому тиглі	1.192	0.9

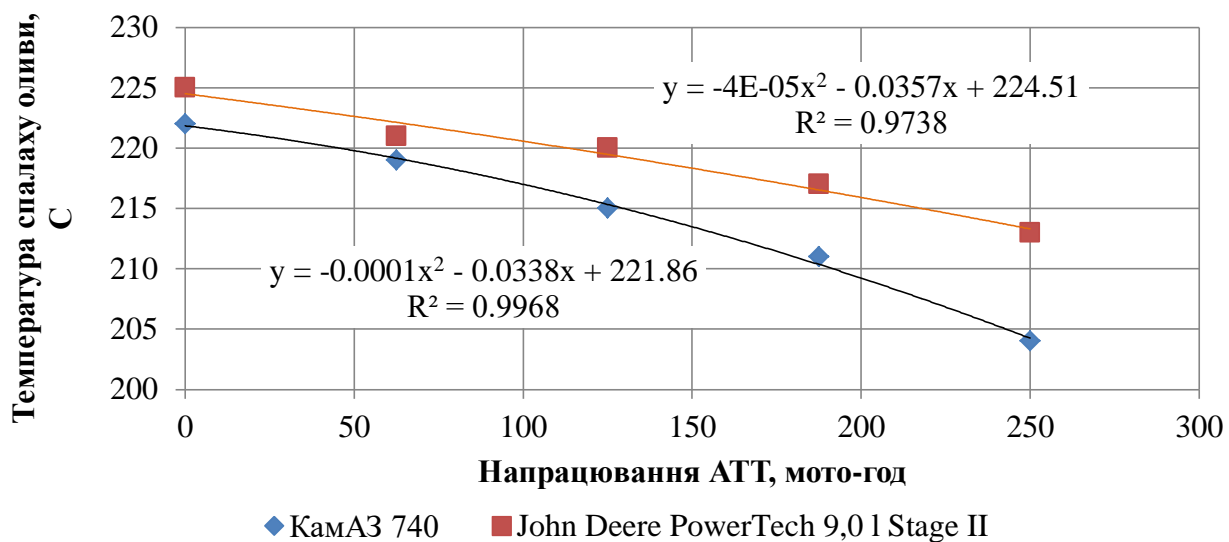
Можна бачити, що найбільш інформативним діагностичним параметрами для системи мащення дизелів за кількістю привнесеної інформації є лужне число оливи, вміст механічних домішок в оливі, діелектрична проникність оливи, температура спалаху в закритому тиглі оливи. Кількість інформації у зазначеним набором для АТТ сімейства КамАЗ складає 63...64 % від загального переліку діагностичних параметрів, а для АТТ сімейства John Deer 59...61 %, а тому для подальшого дослідження технічного стану системи мащення дизелів АТТ, що експлуатуються в умовах АПВ, будемо формувати на основі зазначеного переліку діагностичних параметрів базу даних. Відповідні закономірності зміни діагностичних параметрів відносно напрацювання АТТ наведено на рис. 4.6.



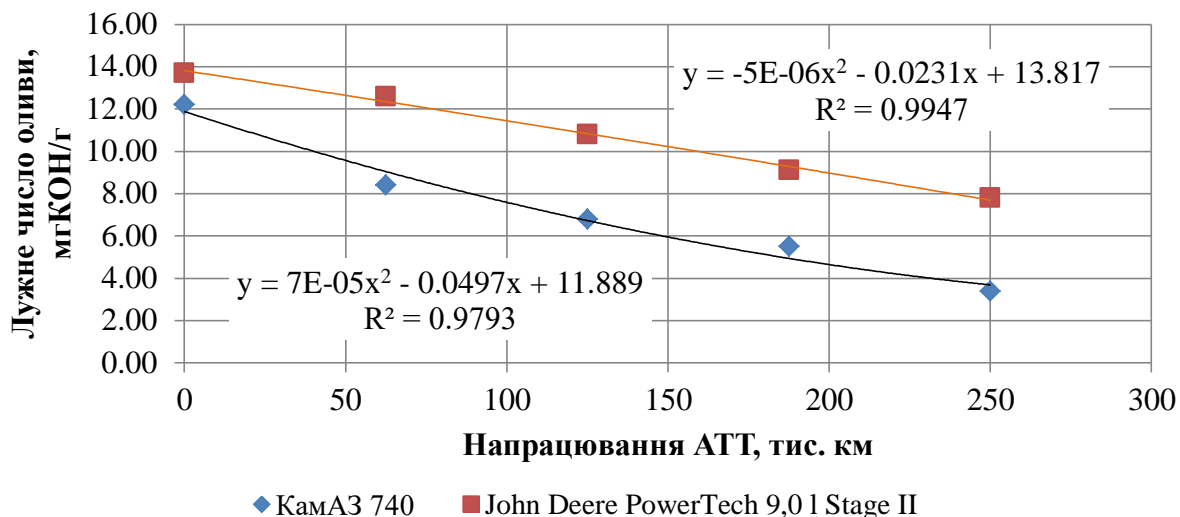
а



б



в



Г

Рис. 4.6. Закономірності зміни діагностичних параметрів системи мащення силового елемента АТТ: а – зміна вмісту механічних домішок в моторній оливі; б – зміна діелектричної проникності робочої моторної оливи; в – зміна температури спалаху моторної оливи; г – зміна лужного числа моторної оливи.

В подальшому всі закономірності, що відображені для контролю системи мащення необхідні для врахування підчас прогнозування технічних дій з ТО і Р АТТ підчас їх експлуатації

4.3 Формування діагностичних параметрів технічного стану та показників надійності трансмісії АТТ з напрацюванням при реалізації ЕМС ТО і Р

Для дослідження технічних станів трансмісії парку АТТ було обрано: коробка перемикачів передач та головна передача. Матриця технічних станів коробки перемикачів передач (КПП) та головної передачі (ГП) АТТ наведено в таблиці 4.14. До матриці технічних станів досліджуваних трансмісій АТТ включено S_0 - справний стан та несправні стани агрегатів, що приводять до погіршення їх функціональних можливостей та роботи з причин спрацювання: S_1 – робочих, опорних

поверхонь валів; S_2 – зубчастих поверхонь; S_3 – оливи; S_4 – підшипників КПП та ГП.

Таблиця 4.14

Матриця технічних станів КПП та ГП АТТ

Діагностичні параметри	Технічний стан				
	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4
D_1 - лужне число	0	0	0	1	1
D_2 - склад механічних домішок	0	1	1	1	0
D_3 - термоокислювальна стабільність оливи	0	0	1	0	0
D_4 - діелектрична проникність	0	1	1	1	1

Всі подальші операції, для визначення інформативних діагностичних показників для КПП та ГП ТМ проводили аналогічно, як і для ЦПГ та системи змащення силових агрегатів парку АТТ, що експлуатується на підприємствах АПВ. Оцінки показників надійності коробки перемикачів передач і головної передачі АТТ сімейства КамАЗ наведено в таблиці 4.16. Кількість відмов елементів трансмісії парку АТТ відображено в таблиці 4.15. Дані таблиці 4.15 дають можливість визначити інтенсивність відмов трансмісії АТТ з пробігом (табл. 4.16). Результати максимального значення інтенсивності відмов свідчать, що максимальна інтенсивність відмов трансмісії парку АТТ відбувається на інтервалі 1080...1350 мото-год., а початок їх спрацювання – 540...810 мото-год пробігу АТТ.

Таблиця 4.15

Кількість відмов елементів трансмісії АТТ сімейства КамАЗ з напрацюванням та на початку їх інтервалів

Напрацювання мото-год.	Вал КПП і ГП		Зубчасті поверхні КПП і ГП		Стан оливи		Підшипники КПП і ГП	
	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.
0-270	0	0	0	0	0	0	0	0
270-540	0	0	0	1	0	0	0	0
540-810	0	2	1	2	0	2	0	2
810-1080	2	0	2	1	2	2	2	2
1080-1350	0	1	1	1	2	1	2	1

Таблиця 4.16

Значення інтенсивності відмов елементів трансмісії АТТ сімейства КамАЗ з напрацюванням

Напрацю-вання мото-год.	Вал КПП і ГП	Зубчасті поверхні КПП і ГП	Стан оливи	Підшипники КПП і ГП
0-270	0	0	0	0
270-540	0	$1,372 \cdot 10^{-5}$	0	0
540-810	$1,234 \cdot 10^{-5}$	$2,754 \cdot 10^{-5}$	$2,469 \cdot 10^{-5}$	$6,173 \cdot 10^{-5}$
810-1080	0	$1,382 \cdot 10^{-5}$	$2,646 \cdot 10^{-5}$	$6,278 \cdot 10^{-5}$
1080-1350	$6,173 \cdot 10^{-5}$	$1,377 \cdot 10^{-5}$	$1,323 \cdot 10^{-5}$	$3,139 \cdot 10^{-5}$
Середнє значення	$3,704 \cdot 10^{-5}$	$1,376 \cdot 10^{-5}$	$1,285 \cdot 10^{-5}$	$3,118 \cdot 10^{-5}$

Відповідно оцінки показників надійності коробки перемикачів передач і головної передачі АТТ сімейства John Deere наведено в таблиці 4.18. Кількість відмов елементів трансмісії парку АТТ відображено в таблиці 4.17.

Дослідження даного роду інформації про технічний стан елементів трансмісії необхідно для точно виявлення та уточнення сервісної інформації для подальшого управління технічним станом парку АТТ. А тому вибір та постійний підбір діагностичної інформації є ключовою та важливою задачею дослідження.

Таблиця 4.17

Кількість відмов елементів трансмісії АТТ сімейства John Deere з напрацюванням та на початку їх інтервалів

Напрацю-вання мото-год.	Вал КПП і ГП		Зубчасті поверхні КПП і ГП		Стан оливи		Підшипники КПП і ГП	
	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.	Поч.	Кін.
0-250	0	0	0	0	0	0	0	0
250-500	0	0	0	0	0	0	0	1
500-750	0	0	0	0	0	1	1	0
750-1000	0	1	0	0	1	1	0	0
1000-1250	1	1	0	2	0	1	0	1

Дані таблиці 4.17 дають можливість визначити інтенсивність відмов трансмісії АТТ з пробігом (табл. 4.18). Результати максимального значення інтенсивності відмов свідчать, що максимальна інтенсивність відмов трансмісії парку АТТ відбувається на інтервалі 750...1250 мото-год., а початок їх спрацювання – 250...500 мото-год пробігу АТТ.

Таблиця 4.18

Значення інтенсивності відмов елементів трансмісії АТТ сімейства John Deer з напрацюванням

Напрацю-вання мото-год.	Вал КПП і ГП	Зубчасті поверхні КПП і ГП	Стан оливи	Підшипник и КПП і ГП
0-250	0	0	0	0
250-500	0	0	0	$3,334 \cdot 10^{-5}$
500-750	0	0	$1,334 \cdot 10^{-5}$	0
750-1000	$6,667 \cdot 10^{-5}$	0	$1,379 \cdot 10^{-5}$	0
1000-1250	$6,779 \cdot 10^{-5}$	$2,963 \cdot 10^{-5}$	0	$3,334 \cdot 10^{-5}$
Середнє значення	$2,689 \cdot 10^{-5}$	$5,926 \cdot 10^{-5}$	$5,425 \cdot 10^{-5}$	$1,334 \cdot 10^{-5}$

Результати експериментальних досліджень показали, що надійність КПП та ГП нерівноважна за конструктивними характеристиками, а тому виявлення інформативно значущих діагностичних параметрів КПП і ГП є необхідним [128]. Для вирішення завдання вирівнювання на певному рівні експлуатаційної надійності АТТ, що працюють на підприємствах АПВ, в таблиці 4.19 дано оцінку інформативності діагностичних параметрів технічного стану трансмісії АТТ.

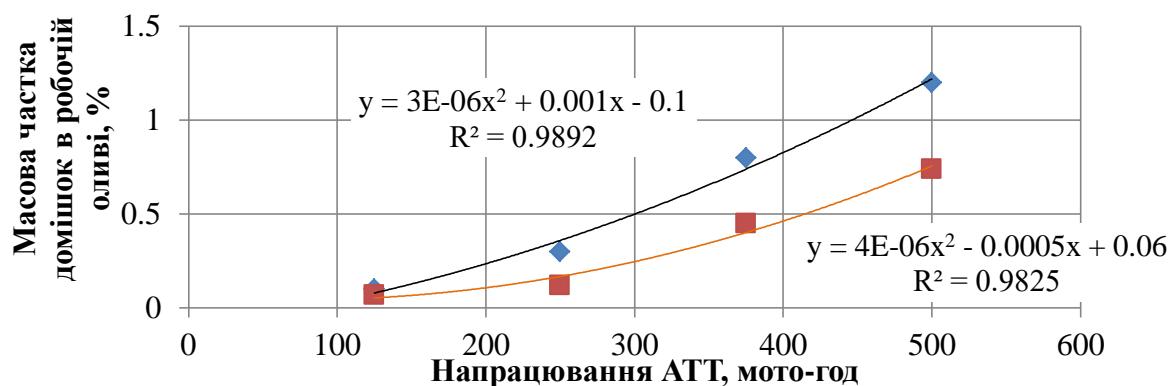
Таблиця 4.19

Значення інформативності діагностичних параметрів станів КПП і ГП АТТ

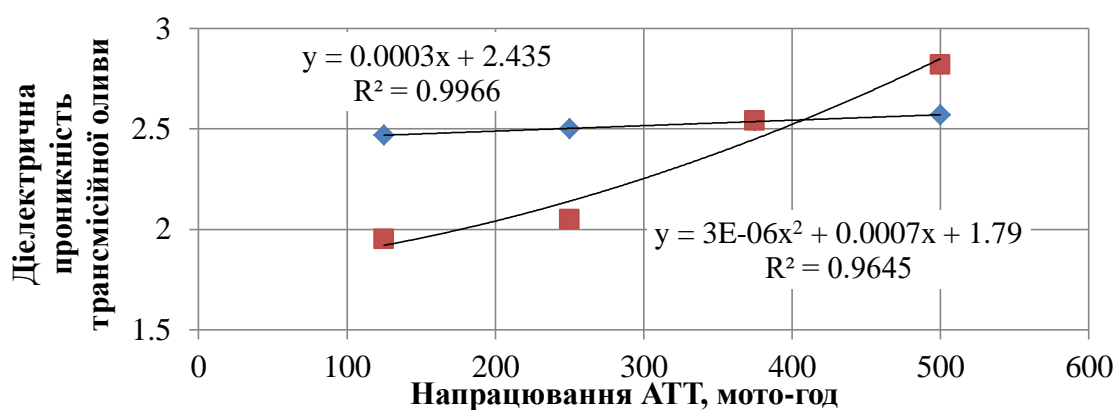
Діагностичний параметр	Інформативна значимість, біт	
	АТТ сімейства КамАЗ	АТТ сімейства John Deer
D_1 - лужне число	0.921	0.544
D_2 - склад механічних домішок	1.049	0.668
D_3 - термоокислювальна стабільність оливи	0.415	0.226
D_4 - діелектрична проникність	1.239	0.772

Оцінкою значень інформативності встановлено, що за критерієм статистичної інформативності найбільш інформативними діагностичним параметрами для контролю технічного стану трансмісії парку АТТ є: D_1 лужне число; D_2 склад механічних домішок; D_4 діелектрична проникність трансмісійної оливи АТТ. Кількість інформації за зазначеним набором для АТТ сімейства КамАЗ складає 87...88 % від загального переліку діагностичних параметрів, а

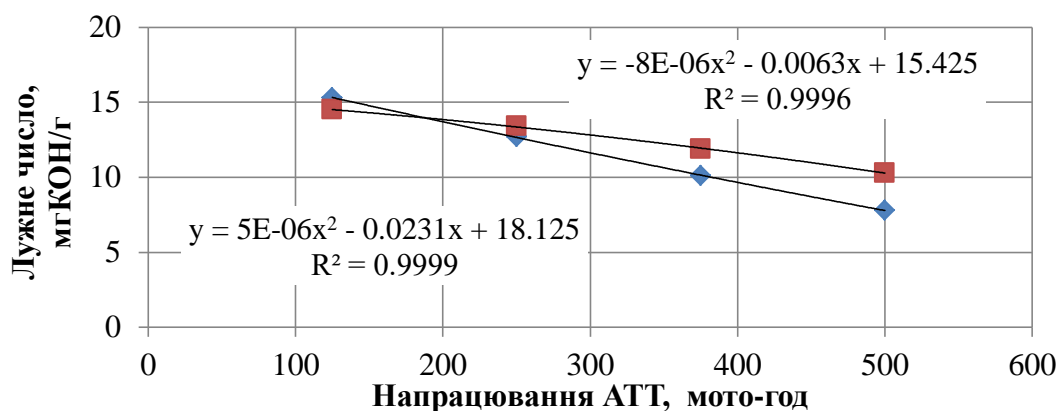
для АТТ сімейства John Deer 84...85 %, а тому для подальшого дослідження технічного стану трансмісії парку АТТ, що експлуатуються в умовах АПВ, будемо формувати на основі зазначеного переліку діагностичних параметрів базу даних. Відповідні закономірності зміни діагностичних параметрів відносно напрацювання АТТ наведено на рис. 4.7.



а



б



в

Рис. 4.7. Закономірності зміни діагностичних параметрів трансмісії АТТ підчас експлуатації: а – зміна масової частки домішок в трансмісійній оливі; б – зміна діелектричної проникності трансмісійної оливи; в – зміна лужного числа трансмісійної оливи

В подальшому всі закономірності, що відображені для контролю технічного стану трансмісії необхідні для врахування під час прогнозування технічних дій з ТО і Р АТТ під час їх експлуатації

4.4 Діагностична інформація про технічний стан систем і агрегатів автотракторної техніки під час експлуатації

При проведенні досліджень було виявлено, що технічний стан елементів АТТ в цілому змінюються в залежності від умов експлуатації. Знаючи їх характеристики можна обґрунтовано рекомендувати певну стратегію проведення підтримуючих та коректуючих дій для забезпечення високого рівня показників надійності парку АТТ.

Зовнішній або суб'єктивний рівень отримання діагностичної інформації про технічний стан вузлів, систем та агрегатів передбачає використання органів відчуття, програмні методи і значно залежить від кваліфікації робітника. Якщо умовно виділити 3 ступеня кваліфікації виконавців робіт: професіонал, фахівець, початківець, то результати суб'єктивного рівня проведення робіт при управлінні технічним станом елементів АТТ на підприємстві АПВ представлені в табл. 4.20.

Таблиця 4.20

Результати проведення робіт при управлінні технічним станом елементів АТТ на підприємствах АПВ планово-запобіжною та елементно-модульною системами ТО і Р

Кваліфікація виконавців робіт	Категорія несправностей	Стратегія ТОР	Імовірна похибка	Повнота виконання робіт ЩО, %	Усування відмов	Невиконання робіт ЩО, днів (змін)
1	2	3	4	5	6	7
Професіонал	Прості	ПЗС	0	80...100	+	1...3
		ЕМС	0	80...100	+	1...3
	Складні	ПЗС	0...5	80...100	+	1...3
		ЕМС	0...5	80...100	+	1...3

Продовження таблиці 4.20

1	2	3	4	5	6	7
Фахівець	Прості	ПЗС	0	95...100	+	1...2
		ЕМС	0	90...100	+	1...2
	Складні	ПЗС	0...20	95...100	+/-	1...2
		ЕМС	0...15	85...100	+	1...2
Початківець	Прості	ПЗС	5...7	100	+	1
		ЕМС	4...5	90...100	+	1
	Складні	ПЗС	5...20	100	+/-	1
		ЕМС	5...10	95...100	+	1

При високій впевненості фахівця в нормальному технічному стані елементів АТТ, роботи ЩО коректуються у бік їх зменшення. В той час, початківець має більшу ймовірність похибки, що змушує його проводити роботи ЩО щоденно (щозмінно) в повному обсязі.

Наведені результати свідчать про те, що нормативну базу проведення робіт ЩО можна переглянути й прийти до оптимальних технічних рішень. Зазначимо також, що істотне значення має факт знаходження одиниці техніки, а отже і агрегату, в роботі минулий період (день, зміна) чи на місці зупинки (зберігання). Це впливатиме на норми проведення ЩО.

Також в експлуатації всі контрольні діагностичні параметри потрібно піддавати аналізу за алгоритмом, що відображено на рис. 3.3. Даний алгоритм дає можливість оцінити наскільки той чи інший діагностичний параметр буде ефективним в експлуатації і можливість його вибору для сервісної служби підприємства, всі діагностичні параметри, що було обрано для можливого контролю підчас експлуатації АТТ відображено в табл. 4.21.

Таблиця 4.21

Результати оцінки діагностичних параметрів за сервісними можливостями контролю діагностичних параметрів

Назва діагностичного параметру	Бали сервісної ефективності контролю діагностичного параметру
1	2
ЦПГ для парку АТТ підприємств АПВ	
D ₁ - тиск газів, що прориваються в картер	9,1
D ₂ - компресія в циліндрах	10,0

Продовження таблиці 4.21

1	2
СМ для парку АТТ підприємств АПВ	
D ₁ - кінематична в'язкість	8,9
D ₂ - кислотне число	10,25
D ₃ - лужне число	10,25
D ₄ - склад механічних домішок	10,0
D ₅ - склад нерозчинного осаду	9,8
D ₆ - діелектрична проникність	10,25
D ₇ - тиск в системі мащення	9,55
D ₈ - температура спалаху в тиглі	9,6
Трансмiсія для парку АТТ підприємств АПВ	
D ₁ - лужне число	10,25
D ₂ - склад механічних домішок	10,0
D ₃ - діелектрична проникність	10,25
D ₄ - температура спалаху в тиглі	9,6

Враховуючи дані, табл. 4.21 можна стверджувати, що для елементів АТТ, а саме ЦПГ ефективним в експлуатації є діагностичний параметр – компресія в циліндрах; для СМ інтерес формує: кислотне число або лужне число, склад механічних домішок, діелектрична проникність. Натомість для трансмісії АТТ важливими діагностичними параметрами є: лужне число, склад механічних домішок, діелектрична проникність.

4.5 Розробка технічних дій для впровадження елементно-модульної системи ТО і Р для парку АТТ

Беручи за основу математичний апарат, алгоритм якого відображено в пункті 3.6, можливо спрогнозувати необхідні операції ТО, що в подальшому будуть відображені в послідовності їх реалізації для реальної експлуатації АТТ досліджуваного парку. Враховуючи значення діагностичних даних досліджуваних елементів АТТ та математичні закономірності зміни відповідних діагностичних параметрів здійснюємо прогнозування на основі системи диференціальних рівнянь розробленого графу зміни станів АТТ. Для отримання розв'язків цієї системи складено характеристичні та розв'язано відповідні рівняння. Виявлено, що фізичний зміст мають позитивні розв'язки

характеристичного рівняння, а тому інші розв'язки були вилучені з подальшого використання.

Результати прогнозування технічного контролю та регулювання досліджуваних елементів АТТ наведено в таблиці 4.22.

Таблиця 4.22

Результати прогнозування експлуатаційної надійності технічного стану АТТ на основі реалізації елементно-модульної системи ТО і Р

Двигун АТТ					
Напрацювання, мото-год	Перелік діагностичних параметрів	Значення діагностичних параметрів		Ймовірність знаходження досліджуваних ТМ, в стані нормальної експлуатації	Пробіг (напрацювання) до проведення контролю та ТО, мото-год
		Граничне	Поточне		
1	2	3	4	5	6
КамАЗ-740					
0...270	Компресія в ЦПГ, МПА	2,5	2,82	0,91	245
	Лужне число робочої моторної оливи, мг/мгКОН	4,0	3,9		
	Вміст механічних домішок в робочій моторній оливі, %	2,2	2,1		
	Діелектрична проникність робочої моторної оливи	3,0	3,25		
	Температура спалаху моторної оливи в закритому тиглі, С°	210	205		
John Deere PowerTech 9,0 I Stage II					
0...250	Компресія в ЦПГ, МПА	2,6	3,05	0,92	290
	Лужне число робочої моторної оливи, мг/мгКОН	5,0	7,9		
	Вміст механічних домішок в робочій моторній оливі, %	2,5	2,1		
	Діелектрична проникність робочої моторної оливи	3,4	3,09		
	Температура спалаху моторної оливи в закритому тиглі, С°	190	214		

Продовження таблиці 4.22

1	2	3	4	5	6
Трансмісія					
АТТ сімейства КамАЗ					
1	2	3	4	5	6
0...270	Вміст механічних домішок в робочій моторній оливі, %	3,2	1,2	0,92	280
	Діелектрична проникність робочої моторної оливи	3,8	2,5		
	Лужне число оливи, мг/мгКОН	6,0	7,9		
АТТ сімейства John Deere					
0...500	Вміст механічних домішок в робочій моторній оливі, %	3,2	0,8	0,91	460
	Діелектрична проникність робочої моторної оливи	2,7	2,8		
	Лужне число оливи, мг/мгКОН	11,0	10,4		

Аналіз отриманих результатів свідчить, що на основі розробленої елементно-модульної системи ТО і Р та методик використанням критеріїв статистичної інформативності контрольних діагностичних параметрів вдалося спрогнозувати та отримати дані надійності та пробіги АТТ, які задовольняють рівень надійності на межі 0,9. Отримані значення прогнозних пробігів за діагностичними параметрами технічного стану досліджуваних елементів АТТ, на яких слід проводити контрольні та регулювальні дії досліджуваних елементів АТТ, що працюють у важких умовах експлуатації АПВ, та дають змогу проводити уточнення стратегії технічного обслуговування для конкретних модулів парку АТТ на підприємствах, що їх експлуатують. Дані таблиці 4.22 дають можливість коректувати інтервали напрацювання, з урахуванням пробігів контролю і регулювання для силових агрегатів АТТ, та в свою чергу зменшує кількість діагностичних простоїв. Відповідно до умов експлуатації для елемента АТТ КамАЗ 740 ТО2 потрібно зменшити на 9,3 %, щоб забезпечити його експлуатаційну надійність більше рівня 0,9, а обслуговування трансмісії АТТ сімейства КамАЗ можливо збільшити на 3,4 % відповідно. Натомість для елемента АТТ John Deere PowerTech 9,0 1 Stage II

ТО2 можна збільшити за напрацюванням на 16,1 %, а трансмісію потрібно обслуговувати раніше на 8%. Дані розрахунки є ефективними для всього сформованого модулів досліджуваного парку АТТ.

4.6 Результати застосування діагностичної інформації для елементів автотракторної техніки різними системами ТО і Р

Системно-спрямований підхід до отримання діагностичної інформації про технічний стан елементів АТТ реалізували згідно запропонованого алгоритмічного підходу інформаційного забезпечення системи управління технічним станом [128-131].

Згідно методики, виконано порівняльний хімічний аналіз, метою якого є визначення зміни характеристик моторної оливи при використанні ПЗС і ЕМС ТО і Р для покращення технічного стану АТТ під час експлуатації. Передусім досліджено такий ресурсовий елемент АТТ як силовий агрегат.

Проведено попередній аналіз наявності води та перевірку гранично допустимого рівня ряду показників. Основні результати досліджень зміни властивостей моторної оливи SAE 15W-40 Plus 50 - II та M10Г₂К автомобілів наведені в табл. 4.9 та 4.10. Відібрання проб було змінено, щоб більш адекватні оцінити зміну технічного стану робочих оливи. Отримані результати дослідження дають досить вірогідну картину зміни властивостей моторної оливи залежно від напрацювання силового агрегату. Наприклад, при реалізації ПЗС ТО і Р моторна олива SAE 15W-40 Plus 50 - II (John Deere PowerTech 9,0 l Stage II) має динаміку зменшення в'язкості від $9,9 \pm 0,5 \times 10^{-6}$ до $9,2 \pm 0,5 \times 10^{-6}$ м²/с. При комплексу технологічних операцій ЕМС ТО і Р (табл. 4.23) в'язкість моторної оливи протягом всього терміну експлуатації змінюється майже аналогічно і несуттєво: знижується від $9,9 \pm 0,5 \times 10^{-6}$ ($10,0 \pm 0,5 \times 10^{-6}$ - максимум) до $9,8 \pm 0,5 \times 10^{-6}$ м²/с.

Таблиця 4.23

Результати управління технічним станом агрегатів АТТ на основі експлуатаційних властивостей моторної оливи при проведенні комплексу ПЗС ТО і Р

Вимірювані параметри	Марка моторної оливи											
	SAE 15W-40 Plus 50 - II (John Deere PowerTech 9,01 Stage II)						M10Г ₂ К (КамАЗ-740)					
	Напрацювання, мото-год.											
	0	102	198	301	401	502	0	101	203	297	402	499
В'язкість, $\eta \times 10^{-6}$, м ² /с	9,9±0,5	9,8±0,5	9,7±0,5	9,5±0,5	9,3±0,5	9,2±0,5	8,0±0,5	7,5±0,5	7,4±0,5	7,2±0,5	7,1±0,5	7,0±0,5
Температура спалаху, t_{cn} , С	297	292	288	275	270	261	283	280	275	271	263	262
Лужне число k , мгКОН/г	9,0	8,7	8,7	8,4	8,1	7,9	6,1	6,1	6,1	5,8	5,7	5,7
Вміст води, %	0,10	0,11	0,15	0,17	0,18	0,20	0,15	0,18	0,19	0,20	0,25	0,30
Густина, кг/м ³ × 10 ³	0,91	0,91	0,91	0,93	0,94	0,94	0,90	0,90	0,91	0,92	0,95	0,96
Забрудненість, %	0,12	0,15	0,17	0,18	0,22	0,25	0,14	0,18	0,27	0,29	0,34	0,51

Наявна динаміка вмісту води при різних системах ТО і Р доводить, що хоча до заміни оливи, при рівному напрацюванні (близько 500 мото-год), при ПЗС концентрація не перевищила допустимий рівень, але при ЕМС вона все ж була меншою - 0,19% проти 0,20%. Отже задовільним є отриманий ресурс до заміни оливи, що співпадає з рекомендованим. Це в першу чергу свідчить про задовільний технічний стан конкретних силових агрегатів АТТ, що досліджувались, прийнятні властивості моторної оливи, за даних умов експлуатації та позитивна організація робіт ТО, що забезпечило можливість виконання АТТ транспортної роботи.

Аналіз зміни інших діагностичних показників показав також кращу їх динаміку при ЕМС ніж при ПЗС ТО і Р. При цьому температура спалаху складала: 281...296 С при реалізації ЕМС і 261...297 С – при ПЗС; лужне число змінювалось від 8,4...9,1 мгКОН/г - при ЕМС і 7,9...9,0 мгКОН/г при ПЗС; густина підвищувалась в межах 910...930 – при ЕМС і 910...930 кг/м³ при ПЗС; забрудненість складала 0,12...0,21 – при ЕМС і 0,12...0,25% при ПЗС.

Моторна олива М10Г₂К (КамАЗ-740) мала наступну динаміку зміни по в'язкості: при ПЗС – зменшується від $8,0 \pm 0,5 \times 10^{-6}$ до $7,0 \pm 0,5 \times 10^{-6}$ м²/с (на 12,5%), при ЕМС - від $8,0 \pm 0,5 \times 10^{-6}$ до $7,2 \pm 0,5 \times 10^{-6}$ (на 10%). Виявлено, що така динаміка вмісту зміни концентрації води показує значний розкид значень при різних системах ТОР: при ПЗС – 0,15...0,30 й при АС – 0,15...0,24%. Виявлено, що така динаміка зміни концентрації води в моторній оливі, при ПЗС ТО і Р спостерігалось вже при напрацюванні 395...405 мото-год, а при ЕМС ТО і Р при 496...502 мото-год. Це свідчить про необхідність заборони експлуатації або обезводнювання олив силових агрегатів КамАЗ-740. Можна стверджувати, що моторна олива при ЕМС ТО і Р практично відпрацювала рекомендований виробником АТТ термін. Збільшення терміну напрацювання при ЕМС ТО і Р, виходячи зі зміни останнього показника, складає близько 20%.

Таблиця 4.24

Результати управління технічним станом агрегатів АТТ на основі експлуатаційних властивостей моторної оливи при проведенні комплексу операцій за ЕМС ТО і Р

Вимірювані параметри	Марка моторної оливи											
	SAE 15W-40 (ЯМЗ-236)						М10Г ₂ К (КамАЗ-740)					
	Напрацювання, мото-год.											
	0	104	201	303	402	504	0	97	202	298	402	501
В'язкість, $\eta \times 10^{-6}$, м ² /с	9,9±0,5	10,0±0,5	9,9±0,5	9,9±0,5	9,8±0,5	9,8±0,5	8,0±0,5	7,8±0,5	7,7±0,5	7,6±0,5	7,4±0,5	7,2±0,5
Температура спалаху, t_{cn} , С	296	291	292	285	283	281	283	282	281	281	273	269
Лужне число k , мгКОН/г	9,1	9,0	8,9	8,8	8,8	8,4	6,1	6,2	6,0	5,9	5,8	5,8
Вміст води, %	0,10	0,11	0,12	0,14	0,15	0,19	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,24
Густина, кг/м ³ × 10 ³	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92	0,90	0,91	0,91	0,91	0,93	0,94
Забрудненість, %	0,12	0,14	0,15	0,16	0,19	0,21	0,14	0,17	0,26	0,28	0,30	0,44

Решта досліджуваних діагностичних показників стану моторної оливи М10Г₂К дизелів КамАЗ-740, як і у випадку з моторною оливою SAE

15W-40 Plus 50 - II (John Deere PowerTech 9,0 l Stage II), також мали кращу динаміку зміни при реалізації ЕМС ТО і Р ніж при ПЗС. Так, температура спалаху складала 269...283 С - при ЕМС і 262...283 С – при ПЗС, лужне число знижувалось в межах - 6,1...5,8 – при ЕМС і 6,1...5,7 мгКОН/г, густина зменшувалась в діапазоні 900...940 – при ЕМС і 900...960 кг/м³ при ПЗС; забрудненість збільшувалась в інтервалі 0,14...0,44 – при ЕМС і 0,14...0,51% при ПЗС.

Спектральний аналіз проб оливи на фотоелектричному спектрометрі МФС-11 дозволив визначити наявність більше 26 металів, методом обертального електроду. Результати зміни концентрації хімічних елементів в моторній оливі силового агрегату КамАЗ-740 при використанні ПЗС і ЕМС ТО і Р наведено на рис. 4.8, 4.9.

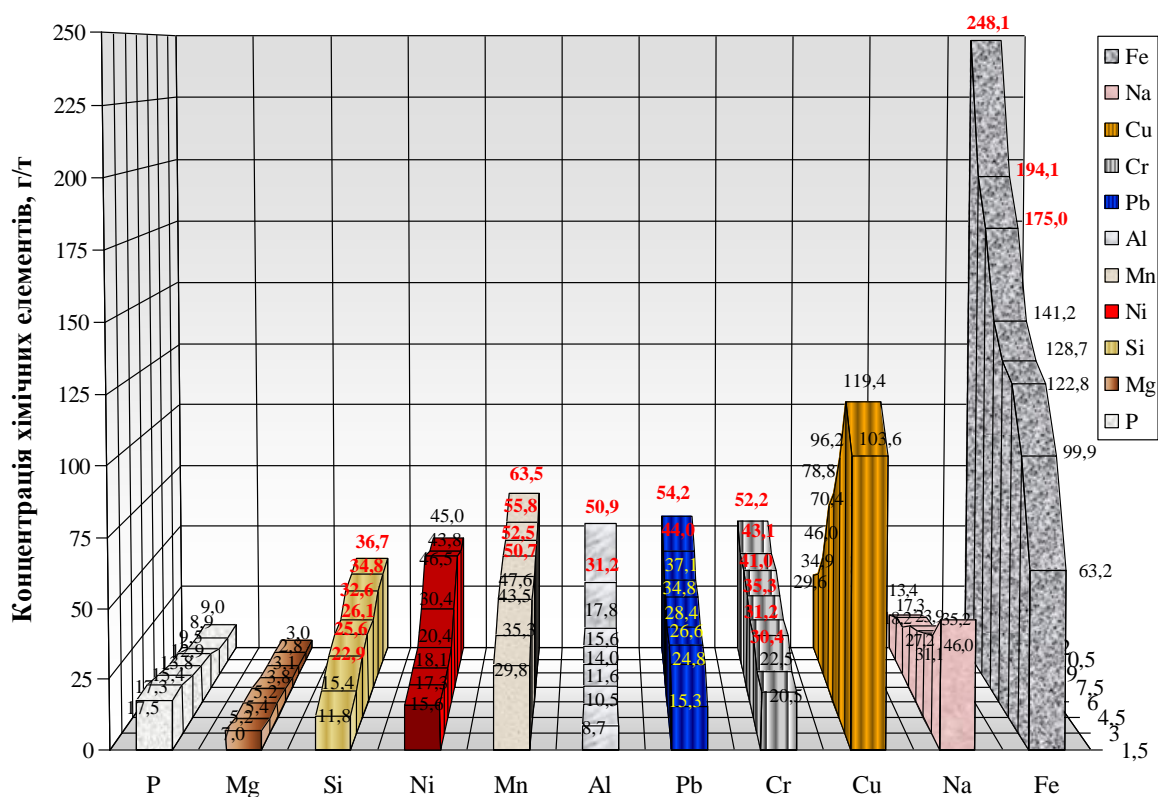


Рис. 4.8. Зміна концентрації хімічних елементів в моторній оливі силового агрегату КамАЗ-740 при реалізації ПЗС ТО і Р (напрацювання до 245 мото-год)

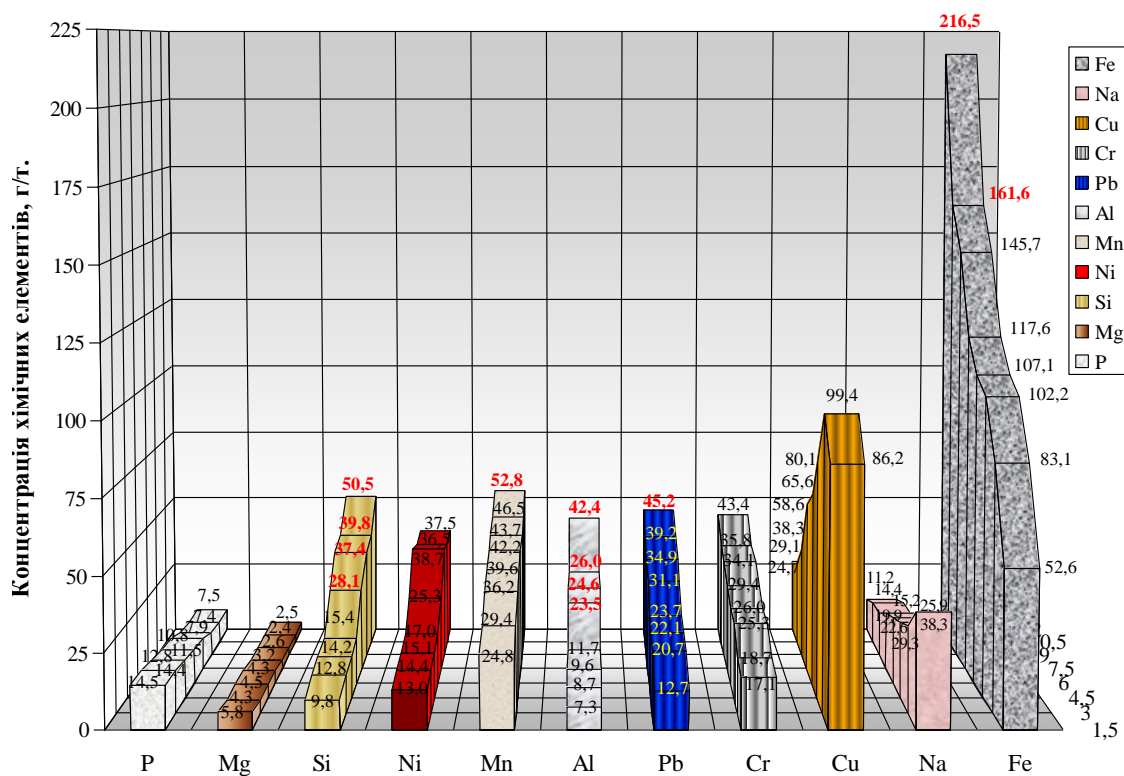


Рис. 4.9. Зміна концентрації хімічних елементів в моторній оливі силового агрегату КамАЗ-740 при реалізації ЕМС ТО і Р (напрацювання до 245 мото-год)

Аналіз результатів представлених на рис.4.8, при ПЗС ТО і Р досягнення критичних концентрацій по *Si* та *Cr* відбувається вже при напрацюванні 150 мото-год. На підвищення концентрації хрому у методній оливі, значний вплив здійснює, концентрація кремнію наявного у абразивних частинок. При пробігу більше 197 мото-год спостерігається різке збільшення концентрації заліза. Це свідчить про зростання інтенсивності зношування спряжень деталей силового агрегату. При настанні часу заміни моторної оливи в дизелі КамАЗ-740 (напрацювання 245 мото-год), максимальних значень при цьому набуває концентрація заліза.

Швидкість надходження хімічних елементів у моторну оливу також менша на 5...16% у порівнянні зі швидкістю надходження при ПЗС ТО і Р. Виявлено підвищену концентрація кремнію та хрому при реалізації ЕМС

ТО і Р, що відбувається після пробігу 134 мото-год, що вказує на кращий стан моторної оливи при цій системі ТО і Р ніж при ПЗС за умови рівного пробігу.

На діаграмах зміни концентрації хімічних елементів в моторній оливі (рис. 4.8, 4.9) спостерігаємо різке підвищення концентрації заліза, як при реалізації ПЗС ТО і Р, так і при ЕМС при рівних напрацюваннях (245 мото-год). Разом з тим концентрація заліза в моторній оливі при ЕМС в 1,2 рази менше ніж при ПЗС. При проведенні комплексу операцій ТО-2 при ЕМС ТО і Р і відповідно заміни оливи, максимальна концентрація заліза перевищує гранично допустиме значення на 20...30%, що в 1,3...1,5 рази нижче у порівнянні зі значеннями концентрації заліза при ПЗС. Аналогічні дані спостерігалися і при порівняльному дослідженні зміни концентрації інших хімічних елементів в моторній оливі силових агрегатів АТТ інших. Всі аналогічні засоби діагностування і методи їх реалізації застосовувалися як для автомобілів так і для тракторів, а для зменшення обсягів роботи їх дані були зведені лише у загальні таблиці реалізації елементно-модульної системи підчас експлуатації автотракторної техніки.

Жорстка регламентація виконання операцій ПЗС зменшує можливість оперативного реагування на зміну технічного стану. Про це свідчить відмінність між досягненнями граничних концентрацій по залізу (9,0 і 10,5 тис.км пробігу) при ПЗС ТО і Р. Застосування ЕМС ТО і Р дає оператору та обслуговуючому персоналу більше можливостей для раціонального використання ресурсу елементів силових агрегатів АТТ при експлуатації. Звичайно, для найбільш ефективного контролю необхідно здійснювати постійне спостереження та коректування технічного стану елементів АТТ. Через те, що при ЕМС ТО і Р комплекс операцій по підтриманню працездатного стану АТТ виконується згідно її фактичного технічного стану у нерегламентовані терміни, а по необхідності, то реагування на критичні зміни є більш адекватним. Звичайно, це дає переваги у вирішенні питання найбільш оптимального використання

ресурсу силових агрегатів управління своєчасними, необхідними за видом та обсягом технічними діями. Не зважаючи на досить вірогідні результати досліджень, вирішальним є використання системно-спрямованого та елементно-модульного підходів до діагностики елементів АТТ на підприємствах АПВ і виділення модулів парку машин.

Таким чином, отримані результати дослідження на даному етапі показали, що не завжди отримана діагностична інформація дає змогу об'єктивно оцінити технічний стан агрегату та діапазони відхилень величин діагностичних параметрів, що вимагає необхідність отримання більш конкретної інформації про причини різкого погіршення діагностичних параметрів або виникнення відмов вузлів, систем та агрегатів АТТ.

4.7 Вплив зміни системи ТО і Р на рівень показників надійності АТТ підприємств АПВ

Ступінь забезпечення експлуатаційної надійності АТТ при зміні системи ТО і Р, ефективність стратегій ТО і Р оцінювали в господарствах АПВ Кіровоградської області на основі визначення таких показників надійності як ймовірність безвідмовної роботи, коефіцієнтів готовності та технічного використання.

Визначено, що проведення адаптивних ТО і ПР збільшує ймовірність безвідмовної роботи агрегатів в межах 91...95 %.

Виявлено, що при збільшенні впливу кількості чинників, що характеризують випадковий та детермінований процеси роботи, відбувається зменшення ймовірності безвідмовної роботи АТТ. Дані розподілу ймовірностей безвідмовної роботи силових агрегатів АТТ після виконання певних технічних дій при ПЗС і ЕМС ТО і Р, наведено на рис. 4.10 - 4.11.

Отримані результати досліджень технічного стану АТТ свідчать, що

проведення технічних дій краще корелює зі зміною технічного стану, необхідністю проведення робіт із утримання на достатньому рівні та забезпечення працездатності техніки з більш високою ймовірністю. При ПЗС ТО і Р, ймовірність безвідмовної роботи АТТ для всіх досліджуваних господарств Кіровоградської області нижче на 6,7...14,3% у порівнянні з ЕМС ТО і Р.

У відповідності до принципів синергетики [125] на конкретних технічних системах, можна спостерігати певну інерційність виникнення потоку відмов, що обумовлюється "накопиченням" дефектів різної природи виникнення та їх реалізацією у вигляді відмов конкретних елементів АТТ [124]. При цьому системи ТО і Р можуть управляти рівноважним станом, що прямує до працездатного. Виконання технічних дій допомагає стабілізувати цей стан з мінімальним втручанням у чітко визначений час впливу за певною системою ТО і Р.

Виявлено, що значний безпосередній та опосередкований впливи на зміни показників експлуатаційної надійності АТТ свідчать про значну величину потенційного ресурсу, що недовикористовується.

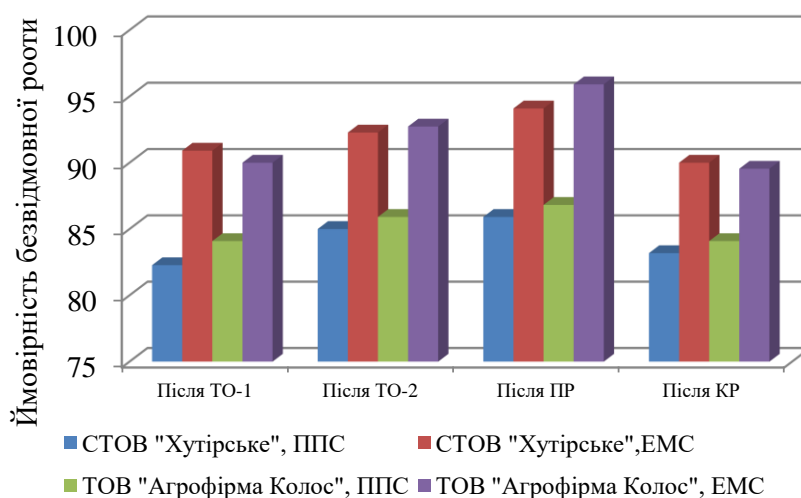


Рис. 4.10. Діграма ймовірностей безвідмовної роботи силових агрегатів КамАЗ-740 в системі управління технічним станом АТТ після виконання певних технічних заходів при ПЗС і ЕМС ТО і Р

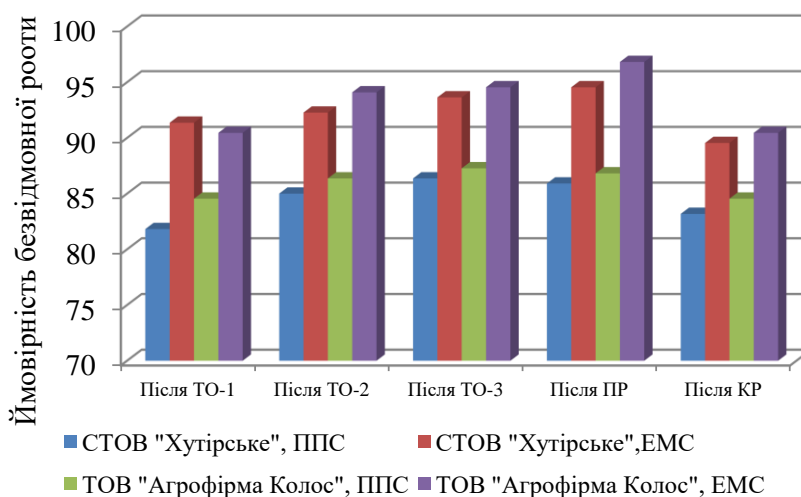


Рис. 4.11. Діаграма розподілу ймовірностей безвідмовної роботи силових агрегатів John Deere PowerTech 9,0 1 Stage II в системі управління технічним станом АТТ після виконання певних технічних дій при ПЗС і ЕМС ТО і Р

Результати проведення оцінки коефіцієнтів готовності та технічного використання за двома системами виконання робіт комплексу операцій ТО і Р. Середнє значення коефіцієнтів готовності зведені в табл. 4.25.

Таблиця 4.25

Коефіцієнт готовності досліджуваного парку машин підприємств АПВ при використанні ПЗС і ЕМС

Підприємство АПВ	Парк машин (одиниць АТТ), двигуни	Системи ТО і Р	
		ПЗС	ЕМС
		Коефіцієнт готовності парку АТТ, K_r	
СТОВ "Хутірське"	автомобілі сімейства КамАЗ (9)	0,63	0,75
	Трактори сімейства John Deer (2)	0,67	0,78
ТОВ "Агрофірма Колос"	автомобілі сімейства КамАЗ (6)	0,69	0,79
	Трактори сімейства John Deer (1)	0,71	0,82

Коефіцієнт готовності при ЕМС при цьому вище в 1,12...1,32 рази в порівнянні з реалізацією ПЗС ТО і Р.

Виявлено, що для СТОВ "Хуторське" при ПЗС для різних марок агрегатів АТТ середнє значення коефіцієнту готовності, K_r коливався в межах 0,63...0,67, а при ЕМС – 0,75...0,78; для підприємства АПВ ТОВ "Агрофірми Колос", при ПЗС – 0,69...0,71, при ЕМС – 0,79...0,82.

Спостерігається розкид значень коефіцієнту готовності по силовим агрегатам дизелів, що обумовлюється їх вихідними та динамічними параметрами: конструктивними, технологічними, суттєвою різницею в напрацюванні за одиницю часу, якістю обслуговування, паливно-мастильних матеріалів застосованих при експлуатації, умовами та інтенсивністю використання. Але слід зазначити, що визначальним впливом на готовність техніки вносить людський фактор, як при виготовленні, так і утриманні.

Вищенаведене свідчить про те, що використання системи управління технічним станом отримання інформації про реальний технічний стан в часі, дає можливість адекватно обґрунтовувати подовження терміну експлуатації до технічних дій, коректувати номенклатуру виконуваних операцій, аргументувати можливе підвищення ресурсу використання техніки, коефіцієнтів готовності та використання, тобто підвищити основні показники експлуатаційної надійності.

Отримані експериментальні результати управління технічним станом агрегатів АТТ, що експлуатуються підприємствами АПР, свідчать про значну різницю між значеннями їх планованого, реального і можливого, ресурсів в даних умовах експлуатації. Особливо, це стосується наявної картини розподілу відмов при ПЗС ТО і Р та недовикористання бажаного прогнозованого ресурсу. Використання цієї системи ТО і Р попередньо обумовлює розвиток поступових відмов, аж до досягнення відмов III групи складності, без можливості виявлення, а отже і реагування на погіршення технічного стану агрегатів АТТ. При цьому виникає необхідність трансформації системи ТО і Р в напрямку більшої адекватності змін, що виникають у процесі експлуатації таких складних систем як агрегати АТТ, тобто до ЕМС ТО і Р.

Інформаційне забезпечення системи управління технічним станом агрегатів АТТ, при реалізації ЕМС ТО і Р, дозволяє отримати достатньо інформації про розвиток ресурсних факторів впливу, як в негативному (руйнування), так і позитивному (відновлення) напрямках. Застосування системи управління технічним станом по ЕМС ТО і Р на підприємствах АПВ Кіровоградської області дозволяють говорити про певну кореговану структуру існуючих систем ТО і Р, з метою оптимальної організації режимів проведення вчасних технічних дій для відповідних агрегатів АТТ щоб забезпечити прийнятні показники їх надійності і АТТ в цілому (Додаток Б).

Отримані результати проведених досліджень дають можливість сформулювати наступні рекомендації:

1. Початковий стан агрегатів АТТ що вводяться в експлуатацію та приймаються на баланс, повинен характеризуватися приблизно однаковими вхідними параметрами, що закладені заводами-виробниками як для ПЗС, так і для ЕМС.

2. При переході агрегатів АТТ в робочий стан, що відповідає номінальним експлуатаційним режимам, згідно ПЗС і ЕМС проводять операції технічного контролю, при необхідності втручання в системи агрегатів та для корегування їх технічного стану. Момент діагностування, визначається з умови досягнення або перевищення бажаної динаміки зміни технічного стану. Обслуговуючий персонал повинен пройти підготовку, для засвоєння основ даної системи ТО і Р при виконання конкретних робіт. Трудомісткість проведених робіт при запропонованій системі управління технічним станом при ЕМС не буде перевищувати нормативних показників аналогічних операцій при ПЗС, що виконуються щозмінно.

- 3 Виконання робіт ТО-1, ТО-2 та ТО-3 (для тракторів) в системі управління технічним станом агрегатів при ЕМС має цілеспрямований характер, з поетапним уточненням технічного стану і відповідними технічними діями із переліку операцій номерних ТО. У порівнянні з ПЗС ТО і Р це дає можливість більш раціонально використовувати ресурс, тим

самим відстрочити або провести комплекс необхідних і достатніх технічних дій і досягти сумарного зменшення трудомісткості робіт та обсягу виконуваних операцій.

4. Проведення вчасних відповідних операцій при ТО-1, ТО-2 та ТО-3 при ЕМС, які встановлюються по результатам дослідження, робить можливим відтермінувати момент настання та кількість складних відмов, які вимагають проведення ПР; такий прояв характерний при обслуговуванні техніки при ПЗС. Останній випадок обумовлює більш складні наслідки, і відповідні трудові та матеріальні затрати.

5. Регламент проведення операцій КР при ППС встановлено дуже чітко для кожного виду техніки, що не є достатньо обґрунтованим в умовах сучасних, світових ринкових відносин та їх реальної експлуатації, при постійно змінних факторах впливу. Необхідність проведення робіт КР при ЕМС повинна обумовлюватися аналогічними змінами технічного стану, що реєструються і при ПР, але з більш складними взаємозв'язками, вагою та кількістю факторів впливу.

6. Процес зберігання техніки як при ЕМС, так і при ПЗС не вимагає особливих оборотних фондів. Звичайно, підготовка до зберігання в ЕМС, повинна враховувати індивідуальні особливості та при необхідності певні вимоги, що має знаходити своє відображення в змінах по трудомісткості та матеріальних затратах.

8. Використовуючи інформаційного забезпечення системи управління технічним станом агрегатів в ЕМС можна досягти майже 100% готовності та використання техніки обмеживши режими її експлуатації, які допустимі для конкретного технічного стану певної одиниці парку однотипних машин з їх сукупності, тобто модулів АТТ.

Дані рекомендації дають можливість скласти обґрунтовану картину проведення технічних дій в системі управління станом агрегатів АТТ з урахуванням стратегій ТО і Р.

4.8 Техніко-економічне обґрунтування доцільності використання елементно-модульного підходу в системі технічного обслуговування і ремонту автотранспортної техніки підприємств АПВ та рекомендації для впровадження запропонованих заходів

Оцінка економічного ефекту від впровадження запропонованої ЕМС ТО і Р АТТ, що експлуатуються на підприємствах АПВ передбачає зниження витрат на виконання роботи парком АТТ. Загальна кількість АТТ досліджуваного сумарного парку у СТОВ "Хуторське" та ТОВ "Агрофірма Колос" складає 15 одиниць автомобілів та 3 одиниці важких тракторів.

Визначено, що запропонована елементно-модульна система ТО і Р експлуатації АТТ на основі прогнозування їх технічного стану на СТОВ "Хуторське" та ТОВ "Агрофірма Колос" підвищенням надійності парку АТТ дозволить отримати чистий прибуток у розмірі 377,3 тис. грн з можливістю зниження вартості робіт на 8,5...11,2 %. Незважаючи на збільшення річного напрацювання, підприємства отримали прибуток за рахунок раціональної організації системи ТО і Р для парку АТТ, що спричинила збільшення обсягів робіт для аутсорсингу сільськогосподарських робіт, а тому річний прибуток підприємств зріс на 10,5...12,8%, річна економія амортизаційних відрахувань складає 9,7 тис. грн, що пов'язано зі зменшенням витрат на запасні частини. В загальному випадку впровадження розробленої методики дозволяє зменшити собівартість транспортної роботи на 0,75 грн/т-км, що сприяє розширенню клієнтської бази на ринку наданих послуг. За розрахованим тарифом чистий прибуток від ЕМС ТО і Р на СТОВ "Хуторське" складає 25,8 тис. грн за рік.

Для впровадження розробленої елементно-модульної системи ТО і Р АТТ на підприємствах АПВ та підвищення надійності парку машин необхідно передусім створити передумови інформаційного та технічного

розвитку на підприємстві.

З врахуванням розроблених методик на початковому етапі потрібно створити інформаційне забезпечення та впроваджена на підприємстві комп'ютерного забезпечення для формування обробки та аналізу баз даних про технічний стан елементів, одиниць АТТ та модулів парку машин.

На першому етапі реалізації запропонованої системи ТО і Р, стану елементів, модулів парку машин, визначається періодичністю діагностування і допустимими у момент діагнозу значеннями параметра технічного стану. За результатами оцінки величини діагностичних параметрів конкретних елементів прогнозується показник надійності на необхідному рівні і виходячи з цього встановлюється напрацювання до необхідного контролю та регулювання.

З вищесказаного випливає, що наявні методи прогнозування технічного стану базуються на вивченні закономірностей зміни надійності елементів АТТ та їх діагностичних параметрів при конкретному визначенні значень та інтервалів розбіжностей по кожній одиниці АТТ. Складність встановлення закономірностей зміни по кожному діагностичному параметру систем і агрегатів АТТ призводить до значних витрат часу на здійснення прогнозу. В зв'язку з цим, для виключення цього недоліку, прогнозування технічного стану пропонується здійснювати, ґрунтуючись на закономірностях зміни ймовірності виникнення відмов в об'єктах діагностування від пробігу (напрацювань) машини [129].

Вимоги, що пред'являються до математичного апарату, обґрунтуванню функції зміни ймовірності виникнення відмови від пробігу в основному зводяться до того, що функція повинна:

- відображати інтегральний характер зміни ймовірності безвідмовної роботи систем та агрегатів АТТ залежно від пробігу;
- характеризуватися лінійною, степеневою, експоненціальною і іншими залежностями зміни ймовірності безвідмовної роботи від пробігу;
- містити невелике число коефіцієнтів, що полегшить прогнозування і

забезпечить можливість використання простих формул.

На останньому етапі здійснюється безпосередньо прогнозування технічного стану АТТ в цілому шляхом визначення та встановлення додаткових контрольних та регулювальних робіт по підвищенню значень діагностичних параметрів.

Таким чином, запропонована система ТО і Р технічного стану АТТ за зміною ймовірності безвідмовної роботи від пробігу та діагностичних параметрів дозволяє знизити витрати на прогнозування і підвищити рівень надійності.

Важливою проблемою реалізації керованої системи ТО і Р на підприємстві є формування ресурсовизначальних систем та агрегатів АТТ, що підлягають додатковому регулюванню та значно впливають на їх експлуатаційну надійність (Додаток Б).

Відбір обладнання для контролю технічного стану можливий на основі декількох підходів. За першим підходом можливо встановлювати безперервне вимірювання технічного стану, тобто впроваджувати датчики та електронні системи контролю, за другим можливо впроваджувати зовнішній періодичний контроль за найбільш важливими параметрами, які впливають на технічний стан систем і агрегатів АТТ. Саме за другим підходом реалізовувалась методика діагностування технічного стану ресурсовизначальних систем та агрегатів АТТ на підприємстві. А тому для даної методики необхідно сформувати необхідну номенклатуру обладнання, яке найбільш раціонально буде відображати зміну технічного стану підконтрольних систем і агрегатів АТТ. Номенклатуру основного обладнання можливо формувати на основі мінімальної кількості часу діагностичного простою та розбирань для проведення контролю, а також вартості закупівлі необхідного обладнання, що не повинна перевищувати фонду розвитку парку АТТ, який передбачається керівництвом підприємства. Саме тому інженерам з ТЕ можливо рекомендувати мати на озброєнні компресометри; устаткування для визначення: кислотного і

лужного числа оливи РН-метр; температури спалаху в закритому тиглі; визначення в'язкості оливи; термоокислювальної стабільності оливи, моделі яких можливо закупити на ринку контрольного обладнання.

Одним з основних завдань прогнозування періодичності контролю та регулювання технічного стану є попередження виникнення значущих відмов в системах і агрегатах АТТ. Попередження відмов можливе за рахунок врахування допусків діагностичних нормативів, які дозволяють запобігти переходу системам та агрегатам АТТ в непрацездатний стан на міжконтрольних пробігах. Основною операцією, на підставі якої визначається періодичність контролю технічного стану АТТ, є порівняння заданої ймовірності безвідмовної роботи систем і агрегатів з прогнозним їх значенням.

Запропонований спосіб прогнозування періодичності контролю технічного стану АТТ дозволяє значно знизити витрати по прогнозуванню періодичності контролю і підвищенню надійності отриманих результатів за рахунок аналізу та контролю технічного стану АТТ.

З використанням теоретичних та експериментальних досліджень, проведених у даній дисертаційній роботі, на підприємствах АПВ необхідно формувати інформаційні бази даних, що можуть оброблятися як в автоматичному режимі, так і аналізуватися в режимі корегування інженером-аналітиком. Обов'язково для силових агрегатів АТТ перед періодом зберігання потрібно проводити консервацію їх робочих поверхонь в умовах АПВ підчас експлуатаційних випробувань. За таких умов інженерів з експлуатації АТТ рекомендується перекваліфікувати в інженерів-аналітиків, що будуть користуватися інформаційними технологіями і розробляти раціональні стратегії ТО і Р парку АТТ на різних підприємствах, що бажають їх удосконалити.

Висновки по розділу 4

1. За період спостережень 2016 – 2020 рр. у досліджуваних господарствах СТОВ "Хуторське" та ТОВ "Агрофірма Колос" виявлено, що рівень експлуатаційної надійності АТТ за категоріями і групами складності відмов становив: I нові 172-120, б/в 254-148; II нові 48-73, б/в 73-57; III нові 17-4, б/в 29-11. Враховуючи незначну кількість іноземної та вітчизняної нової техніки (14,28% – автомобілі, 8,12% – трактори), складно достовірно визначати технічний стан агрегатів АТТ, використовуючи існуючу нормативну базу. Адже вона розрахована на дотримання певних норм по тривалості експлуатації (7...10 років до списання – реально 15...22 років) та напрацювання (8...12 тис. мото-год. – реально 11,2...22,2 тис. мото-год або 250...500 тис. км. пробігу – реально 400...850 тис. км.). Сумарне напрацювання елементів АТТ рідко перевищує 70...80% від запланованого ресурсу. Саме тому, різниця напрацювання до повної втрати працездатності елемента (заміни) АТТ може відрізнятись в 2...3 рази для однієї одиниці техніки.

2. Визначено, що технічний стан агрегатів АТТ, що експлуатується на агропідприємствах Кіровоградської області, в значній мірі визначається і конкретними умовами господарювання: існуючим парком машин; наявністю кваліфікованого, досвідченого персоналу; ремонтно-обслуговуючою базою; загальним фінансовим станом та іншими факторами. Кількість відмов I та II-ї групи складності при застосуванні ПЗС знаходиться в майже прийнятних межах, а стосовно III-ї групи існує значне перевищення, наслідком якого є вагомі матеріальні збитки. У випадку експлуатації морально застарілої техніки, спостерігається підвищення відмов III-ї групи більше ніж у 2 рази. Тобто, виникає необхідність застосування більш ефективної елементно-модульної системи ТО і Р, яка дозволить знизити кількість важких відмов і пов'язаних з ними матеріальних втрат.

3. Розглянуто динаміку зміни кількості та технологічної потреби в АТТ

та забезпечення підприємств АПВ Кіровоградської області. Сформовано інформацію про віковий стан АТТ та наявності техніки по районах Кіровоградської області. Можна бачити, що парк АТТ, в середньому, складає машини вік яких більше 5...15 років. Це обумовлює необхідність розробки та впровадження нових систем технічного сервісу.

4. З'ясовано, що силові агрегати першочергово потребують втручання в систему технічного сервісу та реалізації елементно-модульної стратегії для АТТ. Визначено порядок формування діагностичних параметрів контролю технічного стану та показників надійності силових агрегатів АТТ, сформовано матриці технічних станів ЦПП, визначено значення середньої ймовірності відмов та інформативність діагностичних параметрів, виявлено закономірність зміни компресії в циліндрах дизеля АТТ під час експлуатації.

5. Для системи змащення дизелів АТТ сформовано матрицю технічних станів, визначено кількість відмов дизелів АТТ сімейства КамАЗ та John Deere на різних інтервалах напрацювання, а також значення показників інтенсивності відмов елементів та інформативності діагностичних параметрів. Побудовані математичні моделі: вмісту механічних домішок в робочій оливі, температури спалаху, лужного числа для сімейств КамАЗ і John Deere від напрацювання.

6. Технічний стан трансмісій парку АТТ досліджували за коробкою перемикачів передач та головною коробкою, розроблено матрицю технічних станів, визначено кількість та інтенсивність відмов елементів трансмісії АТТ сімейства КамАЗ і John Deere з напрацюванням, а також інформативність діагностичних параметрів контролю технічного стану трансмісії. Побудовано регресійні математичні моделі вмісту механічних домішок в робочій оливі, діелектричної проникненості, лужного числа трансмісійної оливи від напрацювання АТТ. Дано графічну інтерпретацію побудованих математичних моделей.

7. За порівняльним аналізом розроблено проведення робіт по управлінню технічного стану АТТ на підприємствах АПВ планово-

запобіжною та елементно-модульною системами. При цьому враховується кваліфікація виконавців, категорія несправності, стратегії, імовірна похибка, повнота виконання і не виконання робіт ТО та усунення відмов. В балах сервісної ефективності контролю діагностичних параметрів дано оцінку за сервісними можливостями підприємства.

8. Як результат прогнозування експлуатаційної надійності технічного стану АТТ на основі реалізації елементно-модульної системи ТО і Р дано напрацювання і перелік діагностичних параметрів їх значення, рівень ймовірності нормальної експлуатації та пробігу до проведення контролю та ТО для дизелів та трансмісій АТТ сімейства КамАЗ і John Deere. Відповідно до умов експлуатації для елемента АТТ КамАЗ 740 термін ТО₂ потрібно зменшити на 9,3 %, щоб забезпечити його експлуатаційну надійність більше рівня 0,9, а обслуговування трансмісії АТТ сімейства КамАЗ можливо збільшити - на 3,4 % відповідно. Визначено, що для елемента АТТ John Deere PowerTech 9,0 I Stage II термін ТО₂ можна збільшити за напрацюванням на 16,1 %, а трансмісію потрібно обслуговувати раніше на 8%. Дані розрахунки є ефективними для всього сформованого модулів досліджуваного парку АТТ.

9. В якості прикладу наведені результати застосування діагностичної інформації елементів системи змащення АТТ при проведенні комплексу планово-запобіжної та елементно-модульної системами ТО і Р з напрацюванням. Виявлено, що динаміка зміни показників моторної оливи при елементно-модульній системи краще ніж при планово-запобіжній системі. Визначено, що збільшення терміну напрацювання при елементно-модульній системі ТО і Р, виходячи зі зміни діагностичних показників, складає 20 %. На діаграмах зміни концентрації хімічних елементів в моторній оливі спостерігали різке підвищення концентрації заліза як при реалізації планово-запобіжній, так і при елементно-модульній системах при напрацюванні 275 мото-год. Разом з тим концентрація заліза в моторній оливі при планово-запобіжній системі більша ніж при елементно-модульній системі в 1,2 рази. Жорстка регламентація виконання операцій у планово-

запобіжній системі зменшує оперативне реагування на зміну технічного стану ніж при елементно-модульній системі ТО і Р. Комплекс операцій при підтримці працездатного стану АТТ виконується згідно її фактичного стану у нерегламентовані терміни, тобто по необхідності.

10. Визначено, що проведення адаптивних ТО і Р збільшує ймовірність безвідмовної роботи агрегатів в межах 91...95 %. Виявлено розподіл ймовірності безвідмовної роботи силових агрегатів АТТ після виконання певних технічних дій, при планово-запобіжній і елементно-модульній системах ТО і Р. Показано, що при планово-запобіжній системі ТО і Р ймовірність безвідмовної роботи силових агрегатів сімейств КамАЗ і John Deere АТТ, для досліджуваних господарств, нижче на 6,7...14,3 % у порівнянні з елементно-модульною системою ТО і Р. Коефіцієнт готовності при елементно-модульній системі ТО і Р вищий у 1,12...1,32 рази у порівнянні з реалізацією планово-запобіжної системи ТО і Р. Сформульовані рекомендації, щодо поліпшення технічного стану АТТ та виконання робіт ТО для тракторів в системі управління технічним станом агрегатів при елементно-модульній системі ТО і Р.

11. Дано оцінку економічного ефекту від впровадження запропонованої елементно-модульної системи ТО і Р АТТ, що експлуатується на підприємствах АПВ. Визначено, що запропонована елементно-модульна система ТО і Р експлуатації АТТ на основі прогнозування їх технічного стану на СТОВ "Хуторське" та ТОВ "Агрофірма Колос" підвищенням надійності парку АТТ дозволить отримати чистий прибуток у розмірі 377,3 тис. грн з можливістю зниження вартості робіт на 8,5...11,2 %. В загальному випадку впровадження розробленої методики дозволяє зменшити собівартість транспортної роботи на 0,75 грн/т-км, що сприяє розширенню клієнтської бази на ринку наданих послуг. За розрахованим тарифом чистий прибуток від ЕМС ТО і Р на СТОВ "Хуторське" складе 25,8 тис. грн за рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішене науково-технічне завдання підвищення надійності АТТ, що експлуатується на підприємствах агропромислового виробництва елементно-модульною системою технічного обслуговування і ремонту парку машин.

1. Аналіз умов роботи автотракторної техніки на підприємствах АПВ та зміни надійності її систем та агрегатів в процесі експлуатації свідчить, що ресурс силових агрегатів складає 26...47 % у порівнянні з аналогічними, що працюють в інших галузях. Виявлено, що вклад спряжень деталей систем і агрегатів в загальну надійність автотракторної техніки залежить не лише від питомої ваги відмов, точності і довговічності діагностичної інформації про їх технічний стан, але й внаслідок витрат на проведення комплексу технологічних операцій технічного обслуговування і ремонту. Визначено, що для вирішення завдання підвищення надійності автотракторної техніки підчас експлуатації, мінімізації витрат і підтримання її в працездатному стані, а також забезпеченні максимальної ефективності використання необхідне розроблення нової системи технічного обслуговування і ремонту або удосконалення існуючої.

2. Теоретично з'ясовано, що для побудови елементно-модульної системи технічного обслуговування і ремонту й управління технічним станом автотракторної техніки доцільним є використання відносних величин діагностичних параметрів з можливістю подання їх у вигляді сукупності реалізації діагностичної бази даних про технічний стан. Отримано зв'язок визначальних діагностичних параметрів з показниками експлуатаційної надійності у вигляді диференціального рівняння у частинних похідних, що дає можливість оцінити щільність розподілу напрацювання на відмову. З'ясовано тенденції зміни визначальних діагностичних параметрів розподілених за різними законами при виборі інтервалу напрацювання і поділу парку машин на модулі, яким надаються визначені технічні дії за системою технічного обслуговування і ремонту.

3. З'ясовано, що управління технічним станом АТТ на основі діагностичної інформації може гарантувати прийнятний рівень експлуатаційної надійності при впровадженні елементно-модульної системи технічного обслуговування і ремонту. Запропонований підхід дозволяє з достатньою ймовірністю визначати граничний, залишковий та використаний ресурси і найбільш обґрунтовано прийняти технічні рішення по відновленню технічного стану елементів та модулів одиниць техніки в будь-який момент експлуатації, визначити оптимальні терміни і обсяги робіт по комплексу операцій технічного обслуговування і ремонту машин, а також планувати більш раціональне їх використання на підприємствах агропромислового виробництва.

4. Розроблено методики формування номенклатури елементів АТТ, поділу парку машин на модулі технічного обслуговування і ремонту та їх дослідження. Запропоновано алгоритм дослідження інформативності при конкретних параметрах технічного стану визначені ресурсовизначальних елементів АТТ, методики вибору інформативно значимих діагностичних параметрів технічного стану та методів отримання діагностичної інформації. Запропоновано систему управління технічним станом АТТ на основі інформаційного забезпечення. Розроблено схему проведення технічних дій в елементно-модульній системі технічного обслуговування і ремонту та з'ясовано основні принципи стратегії. Запропоновано структурну схему елементно-модульну систему технічного обслуговування і ремонту АТТ на підприємстві АПВ та методи визначення рівня надійності парку машин.

5. Отримано масив діагностичної інформації про технічний стан елементів АТТ з урахування кваліфікації виконавців робіт, точності вимірювання діагностичної інформації, необхідного обладнання. При цьому реалізовано системно-спрямований підхід при зміні ресурсовизначальних діагностичних параметрів технічного стану АТТ з напрацюванням. За порівняльним аналізом зміни діагностичних

параметрів існуючої і запропонованої системи технічного обслуговування і ремонту виявлено збільшення очікуваного ресурсу АТТ у середньому на 17...25%. В запропонованій системі ТО і Р визначено, що найбільш інформативним при цьому діагностичним параметром ЦПГ дизелів є тиск газів, що прориваються в картер та компресія в циліндрах; для системи мащення - діелектрична проникність оливи, лужне число, вміст механічних домішок в оливі та температура спалаху в закритому тиглі, для коробки передач і головної передачі – діелектрична проникність, склад механічних домішок та лужне число трансмісійної оливи. Складено діагностичні матриці технічного стану та таблиці елементів дизелів і трансмісій АТТ

6. На основі проведених спостережень за технічним станом АТТ встановлено, що при проведенні комплексу технологічних операцій за запропонованою системою ТО і Р величина залишкового ресурсу збільшується в 1,13...1,25 разів, а кількість відмов III-ї групи складності - зменшується в 1,29...1,36 разів, що свідчить про високу її якість. Визначено, що проведення позапланового ТО і ПР збільшує ймовірність безвідмовної роботи агрегатів АТТ до 15...35 %. Ймовірність безвідмовної роботи АТТ для досліджуваних підприємств Кіровоградської області за існуючою системою ТО і Р нижче на 6,7...14,3 %. Виявлено, що для СТОВ "Хуторське" при планово-запобіжній системі для різних марок агрегатів АТТ середнє значення коефіцієнту готовності коливався в межах 0,63...0,67, а при елементно-модульній системі – 0,75...0,78; для підприємства АПВ ТОВ "Агрофірми Колос", значення коефіцієнту готовності відповідно складають 0,69...0,71 і 0,79...0,82.

7. Для стабілізації термінів виконання операцій за запропонованою системою ТО і Р відповідно до умов експлуатації, для елемента АТТ КамАЗ 740 термін ТО₂ потрібно зменшити на 9,3 % за напрацюванням, щоб забезпечити експлуатаційну надійність на рівні не нижче 0,9, а обслуговування трансмісії АТТ сімейства КамАЗ - можливо збільшити на 3,4 %. Визначено, що для елемента АТТ John Deere PowerTech 9,0 l Stage II термін ТО₂ можна

збільшити за напрацюванням на 16,1 %, а трансмісію потрібно обслуговувати за терміном раніше на 8 % відносно напрацювання.

8. Для впровадження розробленої системи ТО і Р АТТ на підприємствах АПВ та підвищення надійності парку машин розроблено наступні рекомендації: необхідно створити передумови інформаційного та технічного розвитку на підприємствах; забезпечити комп'ютерне формування та обробку, аналіз бази даних про технічний стан елементів, одиниць АТТ та модулів парку машин. Впровадження розроблених методів інформаційної реалізації вибору ресурсовизначальних систем та агрегатів, вибору діагностичного обладнання контролю технічного стану АТТ, прогнозування періодичності контролю та регулювання технічного стану систем та агрегатів АТТ, а також методик визначення характеру зміни діагностичного параметру технічного стану систем і агрегатів з напрацюванням.

9. Визначено, що запропонованої системи ТО і Р АТТ на основі прогнозування їх технічного стану на СТОВ "Хуторське" й підвищення її надійності дозволила отримати чистий прибуток у розмірі 377,3 тис. грн, з можливістю зниження тарифу на 8,5...11,2 %. Річний прибуток підприємства зріс на 10,5...12,8 %, а річна економія амортизаційних відрахувань – складає 9,7 тис. грн, що пов'язано зі зменшенням витрат на запасні частини. Розроблена система ТО і Р дозволяє зменшити собівартість транспортної роботи на 0,75 грн/т-км, що сприяє розширенню клієнтської бази на ринку надання послуг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Mousazadeh, H. A technical review on navigation systems of agricultural autonomous off-road vehicles. *Journal of Terramechanics*. 2013. Vol. 50(3). P. 211-232.
2. Fazekaš, T., Bobera, D., Ćirić, Z. Ecologically and economically sustainable agricultural transportation based on advanced information technologies. *Economics of agriculture*. 2017. 64(2). P. 739-751.
3. Gollin, D., Rogerson, R. Productivity, transport costs and subsistence agriculture. *Journal of Development Economics*. 2014. №107. 38-48.
4. Patel, K. K., Schot, J. Twisted paths to European integration: comparing agriculture and transport policies in a transnational perspective. *Contemporary European History*. 2011. 20(4). P. 383-403.
5. Galiev, I., Khafizov, C., Adigamov, N., Khusainov, R. Increase of efficiency of tractors use in agricultural production. 17th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development". Proceedings. May 23–25, 2018, Jelgava, Latvia Univ. of Life Sciences and Technologies. 2018. Vol. 17. P 23-25.
6. Sroka, Z. J. Some aspects of thermal load and operating indexes after downsizing for internal combustion engine. *Journal of thermal analysis and calorimetry*. 2012. № 110(1). P. 51-58.
7. Mihov, M. Optimization of the frequency of the technical service of machines with reliance of reliability. *Mechanization in agriculture Conserving of the resources*. 2018. Vol. 64(6). P. 200-202.
8. Kurochkin, V. N., Nikitchenko, S. L., Nesmiyan, A. Y., Nazarenk, S. A. Reliability of technological systems: structure and modeling. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Production 27-28 August 2020, Rostov Region. 2021. Vol. 659, No. 1. P. 012-009.
9. Kazakov, D. V., Kuzmenko, I. P., Moskvitin, A. A., Abelyan, A. S. Development and testing of hardware-software complex for diagnostics of freight vehicles energy parameters. The 9th International Conference on *Engineering and Technology. Materials Science and Engineering*. May 27th, 2021. Thailand. Prince of Songkla University (PSU). 2020. Vol. 873. No 1. P 012-027
10. Фуад А. Н. Обоснование и реализация методов автоматизированного диагностирования бензиновых двигателей на основе анализа параметров в их системах: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Харьковский нац. техн. университет "ХПИ". Харьков, 2003. 190с.

11. Калетник Г. М., Войтюк В. Д., Бондар С. М., Скорук О. П. Управління інженерною діяльністю виробничих і сервісних підприємств АПК. К.: Изд-во: Хай-Тек Прес. 2010. 448 с.

12. Крикунов, Д. В. Математические модели для эксплуатационного мониторинга температурного состояния деталей ГТД в системах учета выработки ресурса: дис... канд. техн. наук: 05.14.06 / Национальный аэрокосмический ун-т им. Н.Е.Жуковского "Харьк. авиац. ин-т". Харьков. 2003. 171 с.

13. Варбанец, Р. А. Диагностический контроль рабочего процесса судовых дизелей в эксплуатации: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Одес. нац. мор. ун-т. Одеса, 2010. - 392 с.

14. Кириченко Г. І. Методологія підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту шляхом вдосконалення науково-обґрунтованої стратегії управління технологічними процесами: дис... канд. техн. наук: 05.22.20 / Держ. ун-т інфрастр. та техн. Київ. 2021. 346с.

15. Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Беляев Э.И. Повышение коэффициента технической готовности парка автомобильной техники средствами интеллектуализации транспортной системы. *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10-2. С. 282-287.

16. Антонюк О. П. Покращення процесу забезпечення запасними частинами рухомого складу автотранспортного підприємства: дис... канд. техн. наук: 05.22.20 / Вінниц. нац. техн. ун-т. Вінниця. 2021. 174 с.

17. Гаєвський В. В. Удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації на основі оперативної ідентифікації та локалізації порушень: дис... канд. техн. наук: 05.22.20 / Укр. держ. ун-т залізн. трансп. Харків. 2021. 359 с.

18. Sawicki, P., Żak, J. Technical diagnostic of a fleet of vehicles using rough set theory. *European Journal of Operational Research*. 2009. Vol. 193(3). P. 891-903.

19. Курніков С. І. Підвищення ефективності використання виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту: дис... канд. техн. наук: 05.22.20 / Нац. трансп. ун-т. Київ. 2020. 174 с.

20. Предко А.В., Грицук Ю.В., Грицук И.В., Волков В.П. Мониторинг, диагностирование и прогнозирование параметров технического состояния транспортных средств в условиях ITS. *Альтернативные источники энергии в*

транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. Сборник научных трудов по материалам ежегодных конференций. Воронеж. Воронежский государственный лесотехнический университет 2015. Вып. 2. С. 126–131.

21. Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных материалов по параметрам термоокислительной стабильности и температурной стойкости: монография / Безбородов Ю.Н. и др. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. 367 с.

22. Слободянюк М. Е. Розвиток теоретичних основ підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах: дис. ... д-р техн. наук: 05.22.20 / Держ. у-т інфраст. та техн. Київ, 2020, 378 с.

23. Juściński, S. A survey on the structure of servicing activities carried out within the technical maintenance services of farm vehicles and machines. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 2012. Vol. 15(4). P.132-148

24. Маулевич В. О. Визначення основних діагностичних параметрів робочого процесу транспортних дизелів в експлуатації: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Одес. нац. морс. ун-т. Одеса. 2020. 149 с.

25. Шульга Е.Ф., Щукина В.Н. Мониторинг качества движения и технического состояния транспортных средств. *Вестник МГАУ им.В.П.Гарячкина. Техника и технологии АПК*. 2015. № 2. С. 43-47.

26. Полянський О.С. Формування властивостей надійності автотракторних двигунів у гарантійний і післягарантійний періоди експлуатації: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.20 / Харківський нац. авт.-дор. університет. Харків. 2004. 381с.

27. Аналитические исследования эксплуатации автотранспортных средств: монография / Г.Н. Груздов та інші. М.: РУСАЙНС, 2015. 144с.

28. Залож В. І. Підвищення ефективності контролю технічного стану транспортних дизелів шляхом використання методу аналітичної синхронізації даних моніторингу: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Нац. ун-т "Одес. морс. ак-я". Одеса. 2020. 137с.

29. Repin, S., Evtulov, S., Rajczyk, J. Optimizing the service life of plant machinery and vehicles using information system for management of engineering status. *Architecture and Engineering*. 2016. Vol. 1(2). P. 53-57

30. Колобов К. С. Удосконалення способу експрес-діагностування

технічного стану транспортних дизелів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Держ. підпр. "Держ. автотрансп. наук.-досл. та проект. ін-т". Київ, 2019. 186 с.

31. Повышение готовности к использованию по назначению мобильной сельскохозяйственной техники совершенствованием системы диагностирования / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский и др. Рязань: РГАТУ. 2013. 172 с.

32. Daniyarovich, B. D. Creation and organization of a system of branded technical service for agricultural machines. international journal of discourse on innovation, integration and education. *International journal of discourse on innovation, integration and education*. Karshi. Karshi branch of the Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers. 2020. Vol. 1. №4. С. 120-124.

33. Голубев И.Г., Фадеев А.Ю., Макуев В.А. Оценка качества технического сервиса тракторов. *Техника и оборудование для села*. 2010. №7. С. 40–41.

34. Голубев И.Г. Организация сервисного обслуживания сельскохозяйственной техники зарубежными фирмами на российском рынке. *Техника и оборудование для села*. 2013. №6. С. 36 -38.

35. Дидманидзе О.Н., Варнаков Д.В. Прогнозирование параметрической надежности двигателей автотранспортных средств в нормальном и специальном эксплуатационных режимах. *Международный технико-экономический журнал*. 2013. №3. С. 94-98.

36. Rybacki, P. The research of the quality of agricultural machines technical service by servqual method. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 2011. Vol. 56, № 2. С. 122-143.

37. Успенский И.А., Безруков Д.В., Николотов И.Н. Роль диагностирования тормозных систем в повышении безопасности движения и эффективности технической эксплуатации. *Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей*. XII Международная научно-практическая конференция. Владимир: ВГТУ. 2010. С. 329–331.

38. Osuch, A., Osuch, E., Rybacki, P., Przygodziński, P., Kozłowski, R., Przybylak, A. A decision support method for choosing an agricultural machinery service workshop based on fuzzy logic. *Agriculture*. 2020. Vol. 10(3). С. 76 – 84

39. Диагностика технических устройств / Г. А. Бигус, Ю. Ф. Даниев, Н. А. Быстрова, Д. И. Галкин М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. 615с.

40. Filipczyk, J., Madej, H. The application of on-board diagnostics systems for assessing the technical state of automotive vehicles. *Journal of KONES*. 2010. Vol. 17, P. 99-104.
41. Салмин В.В. Обоснование эвристического метода оценки элементов системы ВАДС. *Транспорт Урала*. 2011. №4. С. 12–16.
42. Dalla Vedova, M. D., Berri, P. C. Optimization techniques for prognostics of on-board electromechanical servomechanisms affected by progressive faults. *International Review of Aerospace Engineering (I. RE. AS. E)*. India. Indian Institute of Technology Kanpur. 2019. Vol. 12(4). P 160-170
43. Voronov, V. S., Rouban, A. I. Identification of models using analog sensitivity functions. *In Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1679. No. 3. P. 032-045
44. Цимбал, С. В., Біліченко, В. В., Крещенецький, В. Л., Мальченко, В. Ю. Вдосконалення методики формування потужності зони поточного ремонту автомобілів. *Наукові нотатки*. 2018. Вип. 62. С. 44-47.
45. Дубінін, Є. О., Клец, Д. М., Холодов, А. П., Слинченко, І. В. Мобільний реєстраційно-вимірювальний комплекс для оцінювання та підвищення експлуатаційних властивостей колісних машин. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Вип. 2(88). 2020. С. 56-60
46. Ermakova, O. V., Kaloshina, M. N., Dianova, E. V. Management of innovative projects over the life cycle of distributed aviation systems. *Russian Engineering Research*. 2019. Vol. 39(5), P. 439-442.
47. Корневский, Н. А., Разумова, К. В. Синтез коллективов гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем. *Наукоемкие технологии*. 2014. Вип. 15(12). P. 31-39.
48. Афанасьева Т.В. Моделирование нечётких тенденций временных рядов Монография. Ульяновск: Изд-во УлГТУ. 2013. 214 с.
49. Ярушев, С. А., Аверкин, А. Н., Павлов, В. Ю. Когнитивные гибридные системы поддержки принятия решений и прогнозирования. *Программные продукты и системы*. 2017. Вип. 30(4). С. 57-68
50. Воронина В.В., Мухаметзянов А.Д., Балдина Ю.С. Разработка web-сервиса для работы с программируемыми логическими интегральными схемами. *Automation of control Proce*. 2015. №3(41). С.98-105.

51. Субботин С.О. Метод синтеза нейро-нечетких моделей количественных зависимостей для решения задач диагностики и прогнозирования. *Радиоелектроніка, інформатика, управління*. 2010. №1. С 121-127.

52. Аулін В.В., Гриньків А.В. Прогнозування технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту на основі класифікації діагностичних часових рядів з пам'яттю. Матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф. *Проблеми конструювання, виробн. та експлуатації сільськогосп. техніки*. Кропивницький: ЦНТУ. 2017. С.153-154.

53. Dombi, J., Jónás, T., Toth, Z. E. Fuzzy time series models using pliant- and asymptotically pliant arithmetic-based inference. *Neural Processing Letters*. 2020. Vol. 52(1). P. 21-55.

54. Wulff, S. S. Time series analysis: Forecasting and control. *Journal of Quality Technology*. 2017. Vol. 49(4). P. 418-426

55. Gritsenko, A., Shepelev, V., Zadorozhnaya, E., Shubenkova, K. Test diagnostics of engine systems in passenger cars. *FME Transactions*. 2020. Vol. 48(1). P. 46-52.

56. Селін Ю.М. Прогнозування часових рядів різного типу з урахуванням взаємного впливу. *Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: тезисы докладов*. Херсон: ХНТУ. 2014. С. 170-172.

57. Nikitin, N., Kizim, A., Matokhina, A. Multi-agent system for monitoring, diagnosis and forecasting the technical system condition with the car as an example. III International scientific conference "*Information technologies in science, management, social sphere and medicine (ITSMSSM 2016)*". Tomsk. Tomsk Polytechnic University. 2016. P. 166-171

58. Diebold F., Mariano R. Comparing predictive accuracy. *Journal of Business and Economic Statistics*. 2002. № 13. P. 253-263

59. Zorin, V. Assessment of products risks of mechanical engineering by results of diagnosing. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*. 2019. Вип. 7(1). С. 287-293.

60. Yemelyanov, V., Chernyi, S., Yemelyanova, N., Varadarajan, V. Application of neural networks to forecast changes in the technical condition of critical production facilities. *Computers Electrical Engineering*. 2021. Vol. 93. С. 107-125.

61. Poddubnaya, A. A., Keller, A. V. 1. "Forecast"-adaptive forecast diagnostic intelligent system for vehicles. *International Conference on Robotics and Mechantronics (ICRoM 2017)*. Hong Kong Polytechnic University. December 12-14, 2017. 2020. Vol. 819. No. 1. p. 012008

62. Gabitov, I., Insafuddinov, S., Ivanov, Y., Yunusbaev, N., Abdrazakov, F., Farhutdinov, T. Examination of the system of continuous diagnosis and forecasting of mechanical condition of tractors and other farm machinery. *Journal of Applied Engineering Science*. 2020. Vol. 18(1). С. 70-80.

63. Zhengxiang Y. Transport volume forecast based on GRNN network. *Future Computer and Communication (ICFCC)*. 2010 2nd International Conference. 21-24 May 2010. Wuhan, China. 2010. Т. 3. С. 629-632.

64. Кухтов, В. Г., Щербак, О. В., Суминов, А. В. Расчет усталостной долговечности несущих систем технологических машин в nCode DesignLife. *Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів»*. 2018. Вип. 13. С. 193-199.

65. Makarova, I., Mukhametdinov, E., Mavrin, V., Shubenkova, K., Garipov, R. Improvement of the vehicle's onboard diagnostic system by using the vibro-diagnostics method. *In 2018 International Conference on Diagnostics in Electrical Engineering (Diagnostika)*. 4-7 Sept. 2018. Pilsen, Czech Republic. P. 1-4.

66. Лебедев, А. Т., Артьомов, М. П., Шуляк, М. Л., Лебедева, І. А. Забезпечення стійкості і керованості сільськогосподарських агрегатів із змінною масою. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. Вип. 1, №1. С. 57-61.

67. Gubanov, N., Miheev, Y., Morev, A., Odintsov, V., Akhtyamov, R. Architecture of a system for diagnosing and predicting the technical condition of a robotic vehicle. *In 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP)*. 3-6 September 2019. Samara, Russia. 2019. pp. 671-674.

68. Bolshakova, A. V., Boronachin, A. M., Larionov, D. Y., Podgornaya, L. N., Shalymov, R. V. Embedded multiphysical track diagnostic systems for intelligent transport. *In 2019 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (ITQMIS)*. 23-27 Sept. 2019. Sochi, Russia. P. 171-175.

69. Черный С.Г. Применение case based reasoning для поддержки принятия решений. *Вестник ХНТУ*. 2010. № 2(38). С. 336-342.

70. Матейчик, В. П., Цюман, М. П. Формування структури інтелектуальної системи моніторингу показників екологічної безпеки транспортних засобів на окремих етапах життєвого циклу. *Вісник Національного транспортного університету*. 2015. Вип. 2. С. 193-200.

71. Сахно, В. П., Свостін-Косяк, Д. О. Форми організації моніторингу технічного стану транспортних засобів. *Вісник Національного транспортного університету: науково-техн. зб. Серія "Технічні науки"*. 2017. С. 373-380.

72. Гринченко, О. С., Алфьоров, О. І., Гринченко, А. С., Алфєров, А. І. Прогнозування показників механічної надійності за результатами прискорених випробувань. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2013. Вип. 133. С. 155-161

73. Сорокін С. П., Козаченко О. В., Шкрегаль О. М., Каденко В. С., Блезнюк О. В. Зозуля Д. Обґрунтування параметрів пневмотестера для контролю технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна. *Науковий журнал "Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів"*. 2019. № 15. С. 49-59

74. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Введ. 15.11.1978. М.: Издательство стандартов, 1991. 15 с.

75. Dobromirov, V., Verkhorubov, V., Chernyaev, I. Systematizing the factors that determine ways of developing the vehicle maintenance system and providing vehicle safety. *Transportation research procedia*. 2018. Vol. 36. P. 114-121.

76. Vojtov, V., Berezchnaja, N., Kravcov, A., Volkova, T. Evaluation of the reliability of transport service of logistics Chains. *International Journal of Engineering Technology*. Vol. 7 (4). С. 270-274

77. Николайчук О.А. Методы, модели и инструментальное средство для исследования надежности и безопасности сложных технических систем: автореф. дис... д-ра техн. наук : 05.13.01. Иркутск. 2010. 37 с.

78. Чебоксаров А.Н. Основы теории надежности и диагностика. Омск: СибАДИ, 2012. 76 с.

79. Chang, C. C. Optimum preventive maintenance policies for systems subject to random working times, replacement, and minimal repair. *Computers Industrial Engineering*. 2014. Vol. 67. P. 185-194

80. Saraiev, O., Saraieva, I., Gritsuk, I., Volkov, V., Litikova, O., Belousov, E., Savchuk, V., Samarin, O., Ahieiev, M., Volodarets, M., Vrublevskiy, R.,

Kurnosenko, D., Automated diagnostic system for engine cylinder-piston group. *SAE Technical Paper 2020-01-2022*. 2020.

81. Yang, L., Ye, Z. S., Lee, C. G., Yang, S. F., Peng, R. A two-phase preventive maintenance policy considering imperfect repair and postponed replacement. *European Journal of Operational Research*. 2019. Vol. 274(3). P. 966-977.

82. Хабибуллин Р.Г., Макарова И.В., Беляев Э.И., Мухаметдинов Э.М. Предупреждение отказов как основа повышения эксплуатационной надежности автомобилей. *Автомобильная промышленность*. 2013. № 7. С. 20-23.

83. Nosoohi, I., Hejazi, S. R. A multi-objective approach to simultaneous determination of spare part numbers and preventive replacement times. *Applied Mathematical Modelling*. 2011. Vol. 35. № 3. P. 1157-1166.

84. Волков В.П., Матейчик В.П., Комов П.Б. Ретроспективный анализ состояния и перспективы развития технической эксплуатации автомобилей. *Вісник Севастопольського національного технічного університету. Збірник наукових праць*. 2012, №135. С.164-168.

85. Сахно В.П. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 частинах. Плавність ходу та прохідність автотранспортних засобів. Донецьк: Ноулідж. 2014. Ч2. 354 с.

86. Біліченко В.В. Передумови обґрунтування стратегічного розвитку виробничих систем автомобільного транспорту в Україні. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2014. № 2. С. 33-43

87. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удосконалення стратегії технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки. *Збірник наукових праць КНТУ: Техніка в сільськогосподарства. виробництві, галузеве машинобудування*. 2015. №28. С 126-131.

88. Полянський А.С., Строков А.П., Кальченко Б.И. Оценка, нормирование и обеспечение надежности автотранспортных двигателей. *Вісник ХНАДУ*. 2005. С. 86-95

89. Tulenov, A., Pernebekov, S., Dzhunusbekov, A., Tortbayeva, D., Manzhula, K. Main models of optimizing indicators of reliability of motor vehicles. *In industrial technologies and engineering. ICITE-2018*. P. 216-219.

90. Лудченко А.А., Лудченко Я.А., Примак Д.С. Усовершенствование методов расчета производственной мощности предприятий автотранспорта для формирования условий повышения лояльности потребителей к услугам автосервиса. *Вісник Національного транспортного університету*. 2014. Вип. 29. № 2. С. 51-59.

91. Анцев А.В. Техническая эксплуатация технологического оборудования на основе проектного подхода. *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2011. Вып. 3. С331-338.

92. Старов В.Н. Совершенствование структуры системы технического обслуживания машин. *Обеспечение качества продукции на этапах конструкторской и технологической подготовки производства: межвузовский сборник научных трудов*. Воронеж: ВГТУ. 2012. Вып. 9. С.25-30.

93. Яцура А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования: Справочник. СПб., Litres. 2017 г. 8211с.

94. Мачнев В.А. Прогнозирование остаточного ресурса по результатам вибрационного диагностирования. *Нива Поволжья*. 2012. С. 83–87.

95. Dąbrowski, Z., Madej, H. Diagnostics of Internal Combustion Engine Mechanical Faults Masked by Adaptive Control Systems. *In Engineering Asset Management and Infrastructure Sustainability*. 2012. P. 143-154

96. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчётные методы исследования): Монография. Харьков, ХНАДУ. 2011. 280с.

97. Васильев В.И., Жаров С.П. Совершенствование методики корректирования нормативов управления эксплуатацией подвижного состава предприятий автомобильного транспорта региональных транспортных систем. *Современные проблемы науки и образования*. Известия ТулГУ. 2012. №6. С. 8-9.

98. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В., Мартиненко О.Д. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2015. № 158. С. 252-262.

99. Siegel, J., Bhattacharyya, R., Deshpande, A., Sarma, S. Vehicular engine oil service life characterization using on-board diagnostic (OBD) sensor data. *In SENSORS. 2014 IEEE*. 2-5 Nov. 2014. Valencia, Spain. P. 1722-1725

100. Кузовлев В.И., Орлов А.О. Метод выявления аномалий в исходных данных при построении прогнозной модели решающего дерева в системах поддержки принятия решений. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал*. 2012. № 9. С. 209-218.

101. Kashapov, N. F., Nafikov, M. M., Gazetdinov, M. K., Gazetdinov, S. M., Nigmatzyanov, A. R. About one approach to the assessment of technical equipment of agricultural enterprises in conditions of economy modernization. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 6–8 December 2017, Kazan. 2018. Vol. 412, № 1, P. 012-038

102. Öhman, M., Finne, M., Holmström, J. Measuring service outcomes for adaptive preventive maintenance. *International Journal of Production Economics*. 2015. Vol. 170. P. 457-467

103. Зубрицкас И. И. Прогнозирование параметров технического состояния тормозных систем автомобилей. *Фундаментальные исследования. Вісник НовГУ*, 2014. № 9. С. 978-982.

104. Хомутов С.О. Система поддержания надежности электрических двигателей на основе комплексной диагностики и эффективной технологии восстановления изоляции: монография. Барнаул: ООО "МЦ ЭОР", 2015. 401с.

105. Nodem, F. D., Gharbi, A., Kenné, J. P. Preventive maintenance and replacement policies for deteriorating production systems subject to imperfect repairs. *International Journal of Production Research*. 2011. Vol. 49 № 12. P. 3543-3563.

106. Taghipour S., Banjevic D. Optimum inspection interval for a system under periodic and opportunistic inspections. *Iie Transactions*. 2012. Vol. 44. № 11. P. 932-948

107. Syundyukov, I. S., Ivanov, E. K., Skotnikova, M. A., Qian, J. D., Medvedeva, V. V., Krylov, N. A. Tribotechnical diagnostics of an internal combustion engine according to the condition of the oil. *In Key Engineering Materials*. 2019. Vol. 822. pp. 649-655

108. Liu, Y., Peng, Z. Design and simulation of fuzzy logic control system based on MATLAB. *Engineering Journal of Wuhan University*. 2008. Vol 2. P. 56-74

109. Zhu, J., He, D., Bechhoefer, E. Survey of lubrication oil condition monitoring, diagnostics, and prognostics techniques and systems. *Journal of chemical science and technology*. 2013. Vol. 2. № 3. С. 100-115.

110. Аулин В.В., Гринькив А.В. Использование теоретико-информационного подхода для анализа технического состояния топливной системы автомобиля. *"MOTROL" journal according of the Commission of Motorization and Energetic in Agriculture*, CULS. 2016. Vol.18, №2. P.63-69.
111. ДСТУ ГОСТ 33: 2003. Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости [Чинний від 1992-03-12]. Київ, 1992. 22с.
112. ДСТУ 5094:2008 Нефтепродукты. Масла смазочные, присадки и пакеты присадок. Определение общего щелочного числа методом потенциометрического титрования [Чинний від 2009-03-01]. Київ, 2009. 15с.
113. Vozmilov, A. G., Ilimbetov, R. Y., Korobkov, D. S., Faizulloev, N. L., Astafev, D. V., Andreev, L. N. Diagnostics of engine oil of internal combustion engine by electrophysical method of control. *In 2018 Global Smart Industry Conference (GloSIC)*. 13-15 Nov. 2018. Chelyabinsk. pp. 1-5
114. Аулін В.В., Гриньків А.В. Інформаційна технологія оцінки технічного стану об'єктів на основі теорії чутливості функції. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2016)*. Дев'ята міжнар. наук.-практ. конф. 17-18 травня 2016 р. К.: НАУ. 2016. С.196-198.
115. Olszowski, S., Marczak, M. Diagnostics of new generation diesel engines. *Diagnostyka*. 2008. Vol. 48. P. 83-88.
116. Аулин В.В., Гринькив А.В. Связь информационной энтропии с показателями надежности агрегатов и транспортных средств. Материалы X межд. научно-техн. конф. *"Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта"*. Пенза: ПГУАС. 2015. С.39-44.
117. Fong, B., Situ, L., Poon, L. C., Liu, J., Mo, R. T., Tsang, K. F. A prognostics framework for reliability optimization of mass-produced vehicle onboard diagnostics system. *In 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics*. 27-30 Oct. 2015. Osaka. 2015. P. 408-411
118. Аулін В.В., Гриньків А.В., Замота Т.М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості. *Вісник Інженерної академії України*. 2015. №.3. С. 66-73.
119. Гринькив А.В. Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів. *Збірник наукових*

праць КНТУ. Техніка в сільськогосп. виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2016. №29. С. 25-32.

120. Спосіб консервування двигуна внутрішнього згорання. Пат. 115047 Україна, МПК F02B77104 (2006.01); Заявник і патенто-отримувач КНТУ. № u201611779; заявл. 21.11.2016; опубл. 27.03.2017; Бюл.№6.

121. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В. Критерії оцінки організації системи технічної діагностики для дослідження технічного стану засобів транспорту. Наукові праці. Міжнародна науково-практична конференція "Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців". Харків, ХНАДУ. 2017. С.55-56.

122. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М. Транспортні засоби в агропромисловому комплексі та система діагностичного моніторингу їх технічного стану. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник.* Кіровоград: КНТУ. 2007. Вип. 37. С. 146-154.

123. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Жулай О.Ю. Стан проблеми підвищення ефективності технічного сервісу СГТ в нових умовах господарювання. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник.* Кіровоград: КНТУ. 2007. Вип. 37. С. 158-162.

124. Аулін В.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Лисенко В.М. Прогнозування довговічності СГТ на основі ресурсної механіки. *Збірник науковий праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.* Луганськ: ЛНАУ. 2007. №76 № 99. С 19-23.

125. Аулін В.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М. Керування зносним станом деталей ДВЗ при триботехнічному відновленні з реалізацією ефекту самоорганізації. *Вісник інженерної академії України.* 2008. №1. С. 106-109.

126. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М., Барановський Д.М. Порівняльний аналіз технічного стану дизелів засобів транспорту в АПК при планово-попереджувальній та адаптивній стратегії ТОР. *Науковий вісник Луганського нац. аграр. університету. Серія: Технічні науки.* 2009. №2. С. 5-8.

127. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Інформаційне забезпечення в системі технічного сервісу, діагностичного моніторингу та охорони праці в с/г виробництві. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин.*

Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. 2009 р. Вип.39. С. 287-291.

128. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Концепція управління технічним станом і безпекою експлуатації транспортних засобів сільськогосподарського виробництва. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. Луганськ: СНУ*, 2010. Вип. 6, №148. С. 173-177.

129. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Голуб Д.В. Вплив стратегій технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської техніки на її стан, умови і охорону праці операторів. *Вісник ЖНАЕУ: науково-теоретичний збірник*. Вип. 2, № 45. т.4, ч.ІІ. 2014. С. 37-50

130. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2016. Вип. 29. С.2-12.

131. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Головатий А.О., Дьяченко В.О. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів Technical service of agriculture, forestry and transport systems*. 2020. №22. С. 162 - 174.

132. Лівіцький О.М. Вдосконалення технічного сервісу автотракторної техніки в умовах агропромислового виробництва. *Вісник Центральноукраїнського національного технічного університету*. 2021 р. Вип. 4, № 35. С 36 - 45.

133. Любимов, С. В. Расчетно-теоретическое обоснование организации технического сервиса тракторов смешанного парка. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2012. Вип. 26. С. 360-369.

134. Dižo, J., Galliková, J., Blatnický, M., Barta, D. Modern methods for the teaching of vehicles control and diagnostics systems. *Machines. Technologies. Materials*. 2015. Vol. 9. № 9. P. 13-16.

135. Лабушев, Н. А. Организация технического сервиса сельскохозяйственных машин и оборудования в АПК Республики Беларусь. *Труды ГОСНИТИ*. 2013. Вип. 113. С. 20-25.

136. Nikiforov, S. Method of diagnostics of the information system assemblies on motor vehicles. *Transportation research procedia*. 2018. Vol. 36. P. 527-532.
137. Глущенко, А. А., Зейнетдинов, Р. А., Вайчик, И. С. Диагностирование двигателя по содержанию продуктов износа в картерном масле. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2015. Вып. 41. С. 48-51.
138. Gopal, K., Prakash, R. Building the business case for telematics based diagnostics at Mahindra Reva. *World electric vehicle journal*. 2012. Vol. 5(3). P. 722-729.
139. Песковацков, Д. Н. К вопросу технического обслуживания тракторов в сельском хозяйстве за рубежом. *Наука без границ*. 2018. Вып. 10, № 27. С. 69-73.
140. Малыха Е.Ф., Катаев Ю.В., Вялых Д.Г. Дилерская форма организации технического сервиса машин. *Наука без границ*. 2018. Вып 5, № 22. С. 73-78.
141. Filipczyk, J., Madej, H. The application of on-board diagnostics systems for assessing the technical state of automotive vehicles. *Journal of KONES*. 2010. Vol. 17. P. 99-104.
142. Шило, И. Н., Миклуш, В. П., Лабушев, Н. А. Концепция модернизации инженерно-технической системы АПК Республики Беларусь. *Труды ГОСНИТИ*. 2014. Вып. 117. С. 18-23.
143. Erokhin, M., Pastukhov, A. G., Kazantsev, S. P. Operability assessment of drive shafts of John Deere tractors in operational parameters. *Engineering for Rural Development*. 2019. Вып. 17. С. 28-33
144. Казакова, В., Шинкевич, В., Дунаев, А. Перспектива совершенствования технического обслуживания сельскохозяйственной техники. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. Вып. 3. С. 218-224.
145. Looor-Sácido, O. A., Cevallos-Mera, R. X., Shkiliova, L. Diagnosis of agricultural mechanization in faour communities in Manabí Province, Ecuador. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*. 2019. Vol. 28, № 1. P. 28-39
146. Krzaczek, P., Piekarski, P. Utilization of vehicle control-diagnostic system in evaluation of energetic parameters. *Zeszyty naukowe politechniki rzeszowskiej. Mechanika*. 2010. Vol. 81. № 277. С. 7-14.
147. Hrushets'kii S.N., Didur V.V. The problems of technical servicing and

providing machinery reliability for AIC. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. 2015. Вип. 3. С. 154-160.

148. Gupta, S., Khosravy, M., Gupta, N., Darbari, H., Patel, N. Hydraulic system onboard monitoring and fault diagnostic in agricultural machine. *Brazilian archives of biology and technology*. 2019. Vol. 62. P. 110-122.

149. Zhao F, Tian Z, Zeng Y. Uncertainty quantification in gear remaining useful life prediction through an integrated prognostics method. *Transactions on Reliability*. 2013. Vol. 62, № 1. P. 146-59.

150. Staszak, Ż., Selech, J., Marcinkiewicz, J., Romek, D., Włodarczyk, K., Gierz, Ł., Wojcieszak, D. The diagnostic information valuation method in servicing tractors. *In MATEC Web of Conferences*. 30 July 2018. Vol. 182. p. 10-13

151. Michalski, R., Gonera, J. On-board diagnostic systems in wheeled tractors. *Journal of Polish CIMAC*. 2014. Vol. 9. № 2. P. 151-159

ДОДАТКИ

Додаток А

Список публікацій та та відомості про апробацію результатів за темою
дисертаційної роботи

Статті у фахових виданнях

1. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М. Транспортні засоби в агропромисловому комплексі та система діагностичного моніторингу їх технічного стану. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2007р. Вип.37. Ч.1. С. 146-154.
 2. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Жулай О.Ю. Стан проблеми підвищення ефективності технічного сервісу СГТ в нових умовах господарювання. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2007р. Вип.37. Ч.2. С. 158-162.
 3. Аулін В.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Лисенко В.М. Прогнозування довговічності СГТ на основі ресурсної механіки. *Збірник науковий праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. 2007. №76(99). С 19-23.
 4. Аулін В.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М. Керування зносним станом деталей ДВЗ при триботехнічному відновленні з реалізацією ефекту самоорганізації. *Вісник інженерної академії України*. 2008. №1. С. 106-109.
 5. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М., Барановський Д.М. Порівняльний аналіз технічного стану дизелів засобів транспорту в АПК при планово-попереджувальній та адаптивній стратегії ТОР. *Науковий вісник Луганського нац. аграр. університету. Серія: Технічні науки*. 2009. №2. С. 5-8.
 6. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Інформаційне забезпечення в системі технічного сервісу, діагностичного моніторингу та охорони праці в с/г виробництві. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2009 р. Вип.39. С. 287-291.
 7. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Концепція управління технічним станом і безпекою експлуатації транспортних засобів сільськогосподарського виробництва. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*. 2010. №6(148). С. 173-177.
 8. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Голуб Д.В. Вплив стратегій технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської техніки на її стан, умови і охорону праці операторів. *Вісник Житомирського національного аграрно-екологічного університету: науково-теоретичний збірник*. 2014. Вип. № 2 (45), т.4, ч.ІІ. С. 37-50
 9. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2016. Вип. 29. С.2-12.
 10. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Головатий А.О., Дьяченко В.О. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Technical service of agriculture, forestry and transport systems*. 2020. №22. С. 162 - 174.
 11. Лівіцький О.М. Вдосконалення технічного сервісу автотракторної техніки в умовах агропромислового виробництва. *Вісник Центральноукраїнського національного технічного університету*. 2021. Вип. 4(35). С 36 - 45.
- Статті у закордонних виданнях*
12. Аулін В.В., Жулай А.Ю., Ливіцький А.Н., Барановський Д.М. Экспериментальная проверка системы диагностического мониторинга технического состояния дизелей транспортных средств. *Материалы Междунар. науч.-практ. конф.*,

посвященної 100-летию со дня рождення професора Вадивасова Д.Г.: ФГОУ ВПО "Саратовський ГАУ". Саратов, 2009. С.5-10.

13. Аулін В.В., Ливицький А., Замота О., Гриньків А. Повышение эффективности использования мобильной сельскохозяйственной техники на предприятиях АПК. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.18. No.2. P. 117-122.

Матеріали та тези конференції

14. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Голуб Д.В., Жулай О.Ю. Прогнозування потреб в послугах ТО і ремонту за технічним станом двигунів. *Актуальні проблеми та наукові звершення молоді на початку третього тисячоліття*: матеріали тез I Всеукраїнської наукової конференції студентів, магістрантів, аспірантів і докторантів, 12-14 лист. 2008р. Луганськ: "Елтон-2", 2008. С. 257–261.

15. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Система трибомоніторингу технічного стану МСГТ – інженерно-технічне рішення її безпеки. *Суднова енергетика: стан та проблеми*: матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, науковців та фахівців. Миколаїв: НУК, 2009. С. 182-184.

16. Аулін В.В., Ігнатенко С.Г., Лівіцький О.М., Долинський М.О., Діагностичний моніторинг технічного стану дизелів транспортних засобів у с/г виробництві. *Молодежь и с/х техника в XXI веке*: матеріали VI-го междунар. форуму молодіж. Харків: ХНТУСХ. 2010. С. 94.

17. Аулін В.В., Кузик О.В., Лівіцький О.М., Лисенко С.В. Обґрунтування зміни режимів тертя в ЦПГ. *Молодежь и с/х техника в XXI веке*: матеріали VI-го междунар. форуму молодіж. Харків: ХНТУСХ. 2010. С. 122.

18. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Системно-адаптивна концепція охорони праці операторів транспортних засобів сільськогосподарського виробництва. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с/г техніки*: матеріали IX-ї Міжнар. наук.-практ. конф., Кіровоград: КНТУ, вип. 1. 2013. С. 214-216.

19. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Статистичний метод розрахунку показників аварійних станів транспортних засобів і транспортного травматизму. *Підвищення надійності машин і обладнання*: збірник тез доповідей VIII Всеукр. науково-практичної конференції студентів та аспірантів, Кіровоград: КНТУ, 2014. С. 171-175.

20. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лівіцький О.М. Дослідження технічного стану системи транспортних засобів "агрегат-олива". *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII міжнародна науково-практична конференція 19-21 жовтня 2015 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 16-19.

21. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лівіцький О.М. Підвищення надійності мобільної та автотранспортної техніки сільськогосподарського виробництва на основі діагностики їх стану. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки*: матеріали X Міжнар. наук.-практичної конференції, Кіровоград: КНТУ, 2015. С.163-164.

22. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лівіцький О.М. Математичний апарат для оцінки діагностичних параметрів та визначення оптимальної їх кількості. *Автомобіль і електроніка. сучасні технології*: матеріали IV міжнародної науково-технічної інтернет-конференції, 17-19 листопада 2015 р., Харків, Україна, 2015. С. 126-128.

23. Аулін В.В., Замота Т.М., Гриньків А.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Перспективність впровадження системи технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки з елементами прогнозування. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*:

матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції, Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 245-246.

24. Аулін В.В., Замота О.Н., Ливицький А.Н. Влияние системы технического обслуживания и ремонта на себестоимость грузовых перевозок в сельскохозяйственном производстве. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції, 22-23 лют. 2018 р., м. Київ / НУБіП. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2018. С. 112-115.*

25. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Вплив надійності сільськогосподарської та транспортної техніки на оптимальний термін її служби. *Крамаровські читання: збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції, 21-22 лют. 2019 р., м. Київ. НУБіП. 2019. С. 83-86.*

26. Аулін В.В., Панков А.О., Гриньків А.В., Лівіцький О.М., Щеглов А.В. Автоматизація робочих процесів засобів механізації застосуванням розподілених систем управління. *Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали XXI Міжнародної наукової конференції, Харків: ХНТУСГ. 2020. С.18-19.*

27. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Гриньків А.В., Кернус Р.О. Інтелектуальні елементи експертних систем в галузі транспорту і виробництва. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту: Збірник наукових матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет конференції, ЦНТУ м.Кропивницький, Україна, 18-19 листопада 2020р. С.151-161.*

28. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Гриньків А.В., Головатий А.О., Лисенко С.В. Роль інтелектуальних інформаційних систем у транспортних і виробничих підприємствах та їх класифікація. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту: збірник наукових матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет конференції, ЦНТУ м.Кропивницький, Україна 18-19 листопада, 2020 р. С. 167-173.*

29. Аулін В.В., Слонь В.В., Лівіцький О.М., Гриньків А.В., Артюх Є.Г. Удосконалення методів і засобів діагностування системи змащення силових агрегатів транспортних засобів. *Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines processes and systems: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, 14-16 квітня 2021 р. Кропивницький: ЦНТУ. С. 169-174.*

30. Системно спрямований підхід до формування інтелектуальної системи технічного сервісу. *Крамаровські читання: збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції 25-26 лютого 2021 р. м. Київ/НУБіП. – К.: Видавничий центр НУБіП Україна, 2021. – С. 25-32.*

Патенти

31. Спосіб експрес-діагностики вмісту води в працюючій моторній оливі: пат. 44523 Україна: МПК(2009) С102М 177/00. №u200903237; заявл. 06.04.2009; опубл. 12.10.2009; Бюл.№ 19.

32. Спосіб автоматичного керування зносом деталей двигуна внутрішнього згорання: пат. 45786 Україна: МПК(2009) F01М 9/00 №u200906111; заявл. 15.06.2009; опубл. 25.11.2009; Бюл.№ 22.

33. Спосіб керування двигуном внутрішнього згорання: пат. 50669 Україна: МПК(2009) F02В 1/00. №u200911039; заявл. 02.11.2009; опубл. 25.06.2010; Бюл.№12.

34. Спосіб керування зносом трибосполучень деталей: пат. 69658 Україна: МПК(2012.01) F01М 7/00. В23Н 5/00. №u201112126; заявл. 17.10.2011; опубл. 10.05.2012; Бюл.№ 9.

Додаток Б

Акти про проведення досліджень та впровадження результатів досліджень

**Сільськогосподарське товариство з обмеженою відповідальністю
"ХУТІРСЬКЕ"**
26212, с. Копанки Маловисківський р-н Кіровоградська обл.
Код ЄДРПОУ 30825212 р/р UA 3838080500000000260047731 в „Райффайзен банк
Аваль” м. Кіровоград
МФО 380805 № свід. 100200771 ІПН 308252111104
тел/факс: (05258)-44680
kopanki@ukr.net

Акт

Про дослідження технічного стану автотракторної техніки під час експлуатації

Комісія в складі представників СТОВ "Хутірське": директора СТОВ "Хутірське" Бабенка О.В., головного бухгалтера Галбен В.Г., гол. інженер Бабенка Д.О., з одного боку та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: професора Ауліна В.В., с.н.с. Гриньківа А.В., здобувача Лівіцького О.М. з іншого боку, склали даний акт про те, що у СТОВ "Хутірське" протягом періоду з 30 жовтня 2017 року по 22 листопада 2019 рік проведені дослідження технічного стану парку автотракторної техніки підприємства. Підприємством надано допуск до парку машин для проведення експлуатаційних досліджень без фінансових зобов'язань з обох сторін.

В процесі досліджень отримані наступні результати:

1. Виявлено особливості умов експлуатації автотракторної техніки, яка використовується на підприємстві агропромислового виробництва.
2. Визначено технічний стан елементів автотракторної техніки під час експлуатації за допомогою сукупності діагностичних параметрів.
3. Виявлено перелік контрольованих діагностичних параметрів, що істотно впливають на надійність вузлів, систем і агрегатів автотракторної техніки.
4. Визначено діапазони зміни діагностичних параметрів, за якими можливий поділ парку машин на модулі автотракторної техніки.
5. Досліджено зміну діагностичних параметрів та показників експлуатаційної надійності в залежності від напрацювання (пробігу) автотракторної техніки.
6. На основі результатів досліджень сформовано систему контролю технічного стану одиниць парку автотракторної техніки на підприємстві та методологією створення ефективної системи технічного сервісу.

Основні результати досліджень наведені у додатку до цього акту.



Представники СТОВ "Хутірське":
Директор Бабенко О.В.
Гол. бухгалтер Галбен В.Г.
Гол. інженер Бабенко Д.О.

Представники ЦНТУ:
професор В.В. Аулін
с.н.с. А.В. Гриньків
здобувач О.М. Лівіцький

**Сільськогосподарське товариство з обмеженою відповідальністю
"ХУТІРСЬКЕ"**

26212, с. Копанки Маловисківський р-н Кіровоградська обл.
Код ЄДРПОУ 30825212 р/р UA 3838080500000000260047731 в „Райффайзен банк
Аваль” м. Кіровоград
МФО 380805 № свід. 100200771 ІПН 308252111104
тел/факс: (05258)-44680
kopanki@ukr.net

Акт

Прийняття до впровадження результатів дисертаційних досліджень здобувача
Лівіцького Олександра Миколайовича у процес експлуатації

Комісія в складі представників СТОВ "Хутірське": директора СТОВ "Хутірське" Бабенка О.В., головного бухгалтера Галбен В.Г., гол. інженер Бабенка Д.О., з одного боку та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: професора Ауліна В.В., с.н.с. Гриньківа А.В., здобувача Лівіцького О.М. з іншого боку, склали даний акт про те, що на СТОВ "Хутірське" прийнято до впровадження результати досліджень та розроблення рекомендації здобувачем Лівіцьким О.М.

Комісія стверджує, що впровадження результатів дисертаційного дослідження істотно покращують систему технічного обслуговування та ремонту парку машин підприємства та підвищать експлуатаційну надійність автотракторної техніки. Використання розроблених методів, алгоритмів, методик дослідження та управління технічним станом, вибору ресурсовизначальних елементів автотракторної техніки, інформативно-значущих діагностичних параметрів дає можливість побудувати ефективну елементно-модульну систему технічного обслуговування і ремонту на даному підприємстві. Розроблені заходи, методи та методики, система технічного обслуговування і ремонту прийняті підприємством до впровадження на безоплатній основі.

Представники СТОВ "Хутірське":

Директор Бабенко О.В.
Гол. бухгалтер Галбен В.Г.
Гол. інженер Бабенко Д.О.

Представники ЦНТУ:

професор В.В. Аулін
с.н.с. А.В. Гриньків
здобувач О.М. Лівіцький



«ТОВ «Агрофірма КОЛОС»

КОД ЄДРПОУ:30800125

26211, Україна, Кіровоградська обл., Маловисківський р-н., с.Леніна

Тел.(0522)35-40-66

Акт

Про дослідження технічного стану автотракторної техніки під час експлуатації

Комісія в складі представників ТОВ "Агрофірма Колос": директора ТОВ "Агрофірма Колос" Кучеренка С.В., головного бухгалтера Краснікової А.П., гол. інженер Давиденка С.М., з одного боку та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: професора Ауліна В.В., с.н.с. Гриньківа А.В., здобувача Лівіцького О.М. з іншого боку, склали даний акт про те, що у ТОВ "Агрофірма Колос" протягом періоду з 07 жовтня 2016 року по 04 грудня 2018 рік проведені дослідження технічного стану парку автотракторної техніки підприємства. Підприємством надано допуск до парку машин для проведення експлуатаційних досліджень без фінансових зобов'язань з обох сторін.

В процесі досліджень увагу зосереджено на:


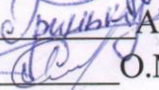
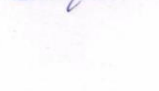
- з'ясуванні особливостей умов експлуатації автотракторної техніки;
- визначенні технічного стану вузлів, систем та агрегатів автотракторної техніки під час експлуатації на основі діагностичної інформації;
- виявлено сукупність контрольованих ресурсовизначальних діагностичних параметрів технічного стану;
- зміні діагностичних параметрів, показників експлуатаційної надійності та їх взаємозв'язку в залежності від напрацювання (пробігу) автотракторної техніки;
- на розгляді заходів управління технічним станом автотракторної техніки та її парку в цілому на підприємстві та створенні системи технічного сервісу.

Основні результати досліджень наведені у додатку до цього акту.

Представники ТОВ "Агрофірма Колос":

Директор  Кучеренко С.В.
 Гол. бухгалтер Краснікова А.П.
 Гол. інженер Давиденко С.М.

Представники ЦНТУ:

професор  В.В. Аулін
 с.н.с.  А.В. Гриньків
 здобувач  О.М. Лівіцький

«ТОВ «Агрофірма КОЛОС»**КОД ЄДРПОУ:30800125****26211, Україна, Кіровоградська обл., Маловисківський р-н., с.Леніна****Тел.(0522)35-40-66****Акт**

Прийняття до впровадження результатів дисертаційних досліджень
здобувача Лівіцького Олександра Миколайовича

Комісія в складі представників ТОВ "Агрофірма Колос": директора ТОВ "Агрофірма Колос" Кучеренка С.В., головного бухгалтера Краснікової А.П., гол. інженер Давиденка С.М., з одного боку та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: професора Ауліна В.В., с.н.с. Гриньківа А.В., здобувача Лівіцького О.М. з іншого боку, склали даний акт про те, що у ТОВ "Агрофірма Колос" прийнято до впровадження результати досліджень та розроблення рекомендації здобувачем Лівіцьким О.М.

Комісія стверджує, що впровадження результатів дисертаційного дослідження дає можливість впорядкувати діагностичну інформацію про технічний стан елементів автотракторної техніки, удосконалити систему технічного обслуговування та ремонту парку машин на основі визначення і аналізу елементів автотракторної техніки та обґрунтування поділу парку машин на модулі одиниць техніки, для яких визначено сукупність операцій технічного обслуговування і ремонту, підвищення їх експлуатаційної надійності. Розроблені заходи, методи та методики, елементно-модульна система технічного обслуговування і ремонту прийняті підприємством до впровадження на безоплатній основі.

Представники ТОВ "Агрофірма Колос":
Директор _____ Кучеренко С.В.
Гол. бухгалтер _____ Краснікова А.П.
Гол. інженер _____ Давиденко С.М.

Представники ЦНТУ:
професор _____ В.В. Аулін
здобувач _____ О.М.Лівіцький

ТОВ "АТП-2004"
 КОД ЄДРПОУ: 32967654
 25014, Кіровоградська обл., м. Кропивницький, вул. Мурманська, буд. 37-Б
 Тел. (0522) 36-91-95


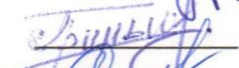
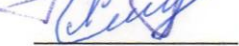
АКТ

Прийняття до впровадження результатів дисертаційних досліджень здобувача
 Лівіцького Олександра Миколайовича

Комісія в складі представників ТОВ "АТП-2004": директора підприємства Денисов О.М. і заст. головного бухгалтера Юрзій О.С., головного механіка парку засобів транспорту підприємства Артеменко В.А. та представників Центральноукраїнського національного технічного університету доктора технічних наук, професора кафедри експлуатації та ремонту машин Ауліна В.В., провідного наукового співробітника кафедри експлуатації та ремонту машин Гриньківа А.В. здобувача, асистента кафедри експлуатації та ремонту машин Лівіцького О.М. склали даний акт про те, що на ТОВ "АТП-2004" прийнято до впровадження результати дисертаційних досліджень та розроблені рекомендації по реалізації на базі підприємства обслуговування засобів транспорту за елементно-модульною системою ТО і Р.

Комісія стверджує, що під час реалізації елементно-модульної системи ТО і Р для автомобілів КамАЗ 53215 (11 шт) під час їх експлуатації істотно покращується технічний стан та зменшується кількість несправностей. Використання розроблених методів, алгоритмів і методик дослідження технічного стану, вибору ресурсовизначальних систем та агрегатів, проведення контролю та прогнозування технічного стану досліджуваних автомобілів дає можливість: удосконалити організацію технічної експлуатації парку вантажних автомобілів за рахунок раціонального встановлення операцій контролю та вчасного проведення технічних дій у порівнянні з технологією попередньої технічної експлуатації автомобілів на підприємстві. В свою чергу, під час досліджень було розроблено програмний продукт на основі програми MS Excel, що дає змогу інженерним працівникам в напівавтоматичному режимі аналізувати технічний стан автомобілів, а також прогнозувати необхідні технічні дії для підтримання експлуатаційної надійності. Розроблені заходи і програмний продукт дали можливість знизити кількість споживання палива на 2,3...2,8% від загального об'єму, фонд запасних частини - на 7,2%, а також вдалось знизити вартість транспортної роботи на 1.7 грн/т-км. Розроблені методи і методики прийняті підприємством ТОВ "АТП-2004" до впровадження.

Представники від ВНЗ:

 В.В. Аулін
 А.В. Гриньків
 О.М. Лівіцький

Представники ТОВ "АТП-2004":

 О.М. Денисов
 О.С. Юрзій
 В.А. Артеменко



Додаток В

Патенти







