

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ П.А. КОСТЫЧЕВА»

На правах рукописи



КУЗНЕЦОВА ЭМИЛИЯ ВАСИЛЬЕВНА

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТРАКТОРОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО
КОМПЛЕКСА**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
ЮХИН Иван Александрович

Рязань – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТРАКТОРОВ АПК.....	9
1.1. Анализ показателей, подлежащих диагностированию	9
1.2. Характер изменения технического состояния	16
1.3. Анализ способов диагностирования технического состояния	20
1.4. Анализ способов прогнозирования ресурса тракторов АПК	30
1.5. Пути совершенствования диагностирования тракторов АПК	36
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	37
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИРОВАНИЮ ТРАКТОРОВ АПК	39
2.1. Классификация диагностических показателей по направлению выхода за рамки нормативно-технической документации.....	39
2.1.1. Классификация температуры моторного масла по направлению выхода за рамки нормативно – технической документации.....	41
2.1.2. Классификация давления моторного масла по направлению выхода за рамки нормативно-технической документации.....	42
2.2 Ресурс тракторов АПК.....	43
2.3. Формирование диагностического кода тракторов АПК	45
2.3.1. Диагностический код двигателей тракторов АПК	45
2.3.2. Диагностический код технических объектов тракторов АПК	46
2.3.3. Диагностический код тракторов АПК	48
ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 2	49
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	51
3.1. Трактор «Кировец К – 5».....	51
3.1.1. Бортовой компьютер трактора «Кировец К – 5» с электронными блоками управления техническими объектами	52
3.1.2. Дизельный двигатель ЯМЗ – 53645 трактора «Кировец К – 5»	55
3.1.3. Электронный блок управления дизельным двигателем ЯМЗ – 53645 трактора «Кировец К – 5».....	60

3.2. Диагностический тестер «АСКАН – 10»	61
3.3. Методика исследования температуры и давления моторного масла	64
3.4. Методика формирования диагностического кода дизельного двигателя ЯМЗ – 53645.....	68
3.5. Методика планирования многофакторного эксперимента	70
ВЫВОД К ГЛАВЕ 3	77
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ..	79
4.1. Результаты исследования температуры охлаждающей жидкости.....	79
4.2. Результаты исследования температуры моторного масла.....	81
4.3. Результаты исследования давления моторного масла	83
4.4. Результаты формирования диагностического кода.....	85
4.5. Результаты проведения многофакторного эксперимента.....	86
ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 4	86
ГЛАВА 5. ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ	88
5.1. Затраты на техническое обслуживание и ремонт тракторов АПК	88
5.2. Экономический эффект от внедрения способа диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода ...	93
5.3. Рекомендации производству	94
5.4. Перспективы дальнейшей разработки темы исследования	95
ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 5	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	97
ЛИТЕРАТУРА	99
Приложение	122

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования.

Перспективным направлением развития агропромышленного комплекса России является поддержание тракторов в исправном техническом состоянии, что способствует повышению эффективности выполнения сельскохозяйственных работ [3, 93]. Регулярное диагностирование технического состояния, а также своевременное техническое обслуживание и ремонт существенно уменьшают риск возникновения различных видов отказов [3, 94]. В этой связи, диагностирование технического состояния тракторов АПК является ключевым фактором для предотвращения эксплуатационных отказов и уменьшения затрат на техническое обслуживание и ремонт тракторов АПК [8, 97].

В настоящее время существует большое разнообразие способов диагностирования технического состояния: визуальные, инструментальные, вибрационные, тепловизионные, лабораторные, акустические, компьютерные, комплексные [54]. Результатом реализации существующих способов является аналитическое сравнение фактических значений диагностических показателей со значениями нормативно-технической документации (НТД) и принятие решений по своевременному проведению технического обслуживания и ремонта [53].

Одним из путей уменьшения простоев в ремонте тракторов агропромышленного комплекса (АПК) является совершенствование способов диагностирования технического состояния путём приведения диагностических показателей в единую систему (диагностический код) за счёт перевода фактических значений в безразмерные показатели и прогнозирования их выхода за пределы НТД посредством выделения категорий, что является актуальной задачей [11, 54, 80, 99].

Степень разработанности исследования.

Диагностированию технического состояния тракторов АПК посвящены научные труды следующих российских учёных: Бышова Н.В., Дидманидзе

О.Н., Дорохова А.С., Иншакова А.П., Катаева Ю.В., Кокорева Г.Д., Костомахина М.Н., Лялякина В.П., Парлюк Е.П., Пучина Е.А., Савельева А.П., Тимохина С.В., Улитовского Б.А., Успенского И.А., Черноиванова В.И., Юхина И.А. и др.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 годы, а именно подраздела 1.1.3. «Обеспечение работоспособности в эксплуатации транспортно-технологических средств путем совершенствования их конструкций, технологий и средств технического воздействия» раздела 1.1. «Повышение эффективности эксплуатации мобильной техники за счет разработки новых конструкций и совершенствования методов поддержания её технического состояния» темы 1 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий».

Цель исследования – совершенствование диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе формирования диагностического кода.

Задачи исследования:

1. Определить пути уменьшения затрат времени в ремонте тракторов АПК путём совершенствования диагностирования технического состояния на основе диагностического кода.
2. Усовершенствовать способы диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе формирования диагностического кода.
3. Определение остаточного ресурса тракторов АПК.
4. Получить регрессионную зависимость технического состояния современных тракторов АПК от ключевых показателей: температуры охлаждающей жидкости, величин давления и температуры моторного масла.
5. Оценить экономический эффект от внедрения способа диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе формирования диагностического кода.

Объект исследования: диагностирование технического состояния тракторов АПК.

Предмет исследования: диагностический код технического состояния тракторов АПК.

Научная новизна - усовершенствован способ диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе: формирования диагностического кода путём разделения показателей технического состояния по направлению выхода за пределы НТД на прямые и обратные; привязки их максимальных и минимальных значений к балльной шкале от 0 до 9 баллов.

Теоретическая значимость работы:

- проведены теоретические исследования оценки остаточного ресурса тракторов АПК на основе балльной шкалы от 0 до 9 баллов с учётом степеней отклонения прямых (температура охлаждающей жидкости; температура моторного масла) и обратных (давление моторного масла) показателей в пределах НТД и весового коэффициента наработки.

- получена регрессионная зависимость технического состояния двигателя «ЯМЗ – 53642» от ключевых показателей: температуры охлаждающей жидкости, величин давления и температуры моторного масла.

Практическая значимость работы. Сформирован диагностический код технического состояния двигателя «ЯМЗ – 53642» трактора «Кировец – 5» на основе ключевых показателей (температуры охлаждающей жидкости, величин давления и температуры моторного масла), указанных в НТД по эксплуатации двигателя «ЯМЗ – 53642». На техническое состояние двигателей основное влияние оказывают показатели температуры охлаждающей жидкости, величины давления и температуры моторного масла при эксплуатации тракторов в период посевной и уборочной кампании.

Методология и методы исследования. Исследования проводились с применением теории планирования экспериментов, что позволило минимизировать количество опытов и обеспечить их достоверность. Для формирования диагностического кода технического состояния современных

тракторов АПК предложена частная методика на основе использования минимальных и максимальных значений ключевых показателей (температуры охлаждающей жидкости, величин давления и температуры моторного масла), указанных в НТД по эксплуатации двигателя «ЯМЗ – 53642» трактора «Кировец – 5».

Положения, выносимые на защиту:

1. Способ диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе формирования диагностического кода.
2. Определение остаточного ресурса тракторов АПК на основе балльной шкалы.
3. Регрессионная зависимость технического состояния современных тракторов АПК от ключевых показателей: температуры охлаждающей жидкости, величин давления и температуры моторного масла.

Достоверность результатов исследования. Теоретические исследования технического состояния тракторов АПК подтверждены экспериментальными исследованиями. Расхождение между результатами, полученными теоретически и экспериментально менее 5%. Полученные результаты согласуются с выводами других исследователей в области диагностирования технического состояния, что подтверждает их валидность.

Реализация результатов исследования. Результаты исследований внедрены и используются при диагностировании тракторов АПК в ООО "СХП ФЕДЯКИНО" (Рязанская область, м. р-н Рыбновский, с. п. Вакинское, с. Федякино) (приложение).

Личный вклад соискателя состоит в обосновании способа диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе формирования диагностического кода; постановке и проведении экспериментальных исследований; оценке экономического эффекта от внедрения способа диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода; написании научных статей.

Апробация результатов исследования. Основные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, докладывались и обсуждались на: 75-й юбилейной международной научно-практической конференции «Научные приоритеты в АПК: вызовы современности» (Рязань, 25 апреля 2024 года), 76-й Международной научно-практической конференции «Научно-технические приоритеты развития АПК России» (Рязань, 25 апреля 2025 года).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных статей, в том числе 2 статьи в журналах, рецензируемых ВАК. Общий объем публикаций составляет 3,19 условных печатных листа, из которых доля автора – 2,23 условных печатных листа.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа представлена введением, пятью главами, заключением, списком литературы из 137 наименований и приложения. Работа изложена на 122 страницах, содержит 18 таблиц и 41 рисунок.

ГЛАВА 1. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТРАКТОРОВ АПК

«Приоритетным направлением развития агропромышленного комплекса России является поддержание тракторов АПК в исправном техническом состоянии, которое характеризуется совокупностью свойств, подверженных изменению в процессе эксплуатации» [111]. Техническое диагностирование (диагностирование) заключается в определении технического состояния путём поэтапного поиска места, характера и причин неисправностей с использованием диагностического оборудования и пределов диагностических показателей согласно НТД, прогнозирования остаточного ресурса и проведения технического обслуживания и ремонта тракторов АПК [31, 98].

1.1. Анализ показателей, подлежащих диагностированию

«Диагностические показатели должны иметь количественную оценку и встроенные датчики, чтобы определяться точно и без затрат диагностических средств и времени, а также иметь допустимые пределы, которые отражаются в НТД на технический объект. Трактор как совокупность технических объектов диагностирования технического состояния представлен не единственным образом, а как рациональная структура этих объектов, которая обеспечивается фактическими значениями диагностических показателей в определённый момент времени в условиях эксплуатации [7, 16].

Трактора АПК можно представить как сложную техническую систему, состоящую из отдельных технических объектов (двигатель, трансмиссия, система управления, ходовая часть, электрооборудование), которые подразделяются на множество технических узлов (например, двигатель: цилиндропоршневая группа; кривошипно-шатунный механизм; газораспределительный механизм; система питания топливом; система смазки; система охлаждения) и деталей (например: коленчатый и распределительный валы, поршень, цилиндр, поршневые и маслосъёмные кольца), которые представляют собой объекты диагностирования технического состояния» [46].

Технические объекты, подлежащие диагностированию, позволяют систематизировать диагностические показатели, которые оказывают наибольшее влияние на техническое состояние и выявить последовательность эффективного диагностирования тракторов АПК в условиях эксплуатации (рис. 1.1) [33].



Рисунок 1.1. – Технические объекты тракторов АПК, подлежащие диагностированию технического состояния

Конструктивные, производственные и эксплуатационные отказы тракторов «Кировец К – 5» представлены на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2. – Конструктивные, производственные и эксплуатационные отказы тракторов «Кировец К – 5»

Из рисунка 1.2 видно, что конструктивные отказы составляют 43,6%; производственные отказы - 32,2%; эксплуатационные отказы - 24,2%.

Внезапные и постепенные отказы тракторов «Кировец К – 5» представлены на рисунке 1.3: внезапные отказы составляют 38,6% и постепенные отказы - 61,4%.

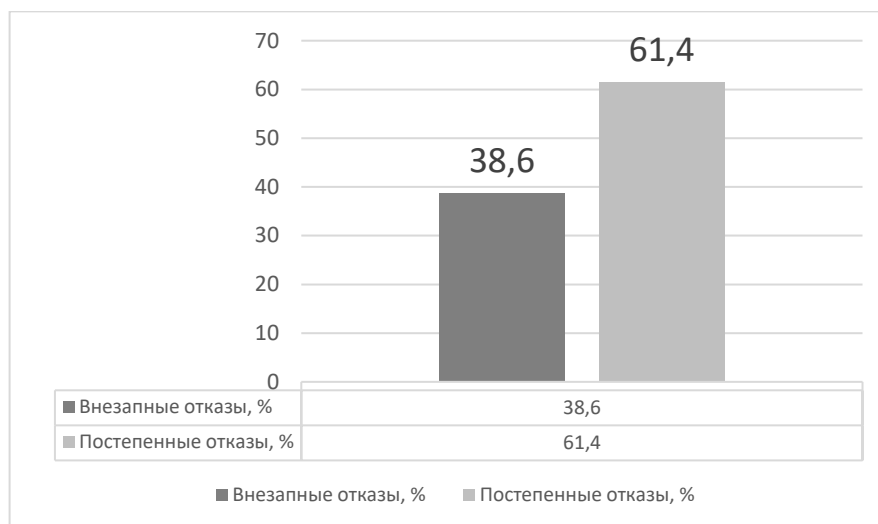


Рисунок 1.3. – Внезапные и постепенные отказы тракторов «Кировец К – 5»

Распределение отказов тракторов «Кировец К – 5» по техническим объектам представлено на рисунке 1.4 и составляет: двигатель 36%; системы управления 19%; трансмиссия 14%; ходовая часть 16%; электрооборудование 15%..

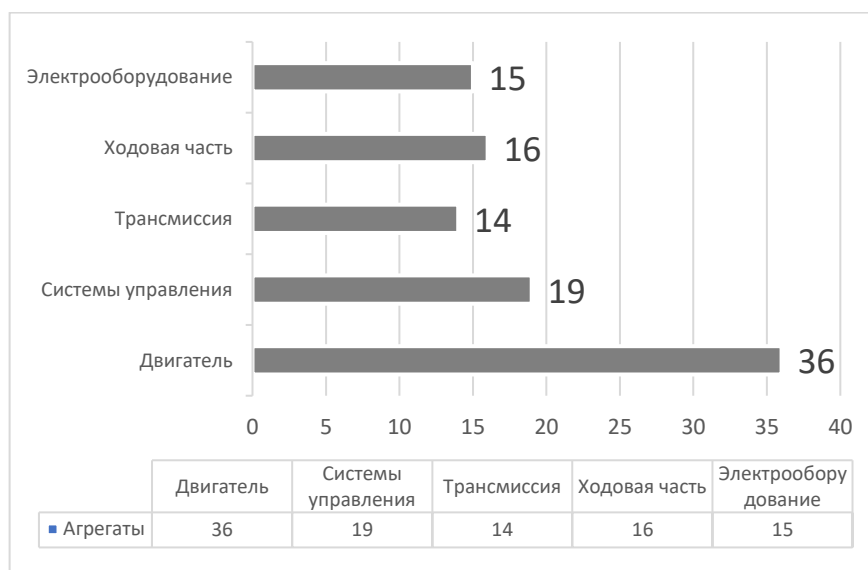


Рисунок 1.4. – Распределение отказов тракторов «Кировец К – 5» по техническим объектам

Диагностирование должно определять исправен или неисправен технический объект диагностирования и возможность его дальнейшей эксплуатации контроля и отслеживания характера изменения технического состояния в целом. Начальным этапом, предшествующим выбору диагностических показателей, является анализ состава технических объектов диагностирования, который должен в наибольшей степени отражать комплекс значимых диагностических показателей. Множество технических объектов, выделенных для диагностирования технического состояния с использованием пределов диагностических показателей согласно НТД [58, 74]:

$$\bar{R}_o = R_k \cup R_n \quad (1.1)$$

Подмножество технических объектов, подлежащих диагностированию технического состояния, определяется по формуле:

$$R_k = \bigcup_{j=1}^k R_j \quad (1.2)$$

«Подмножество технических объектов, не подлежащих диагностированию технического состояния, определяется по формуле:

$$R_n = \bigcup_{j=k+1}^p R_j \quad (1.3)$$

$\bigcup_j^p$ – общее количество технических объектов, выделенных для диагностирования, шт.

R_j – количество технических объектов, подлежащих диагностированию, шт.

R_n – количество технических объектов, не подлежащих диагностированию, шт» [45].

Факторы, определяющие выбор технических объектов диагностирования технического состояния содержат [18, 44]:

- Анализ последствий отказов в эксплуатации (влияние отказа на готовность технических объектов к эксплуатации; материальные затраты на устранение отказа).
- Оценка влияния необнаруженного отказа на затраты по техническому обслуживанию и ремонту технического объекта (влияние отказа на расход

дизельного топлива, моторного масла, запчастей; материальные затраты, связанные с несвоевременным обнаружением неисправностей, вызвавшим отказ).

- Характеристика конструктивной сложности технических объектов (возможность устранения отказа трактористом; упреждающее выявление технических неисправностей).

Диагностирование технического состояния тракторов АПК в условиях эксплуатации представлено на рисунке 1.5 [12].



Рисунок 1.5. – Диагностирование технического состояния тракторов АПК в условиях эксплуатации [12].

Критерий весомости отказа технического объекта определяется по формуле:

$$B_i = \frac{1}{L} \cdot \sum_{j=1}^m n_{ij} \cdot k_{ij} \cdot (3_{ij} \cdot \tau_{ij} + C_l) \quad (1.4)$$

m —количество отказов.

L – пробег.

n_{ij} – количество одноименных отказов.

k_{ij} – коэффициент работоспособности.

$З_{ij}$ – зарплата специалистов ремонтного предприятия.

τ_{ij} – трудоёмкость устранения отказа.

C_1 – стоимость запчастей.

Коэффициенты работоспособности при отказе тракторов АПК представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. – Коэффициенты работоспособности при отказе тракторов АПК

№	Последствия отказа	Коэффициенты работоспособности: k_{ij}
1.	Нарушение и ухудшение функциональных качеств без потери работоспособности	0,05 – 0,10
2.	Эксплуатация с неисправностями, определяющими ухудшению диагностических показателей относительно НТД	0,10 – 0,20
3.	Эксплуатация на предельных и аварийных режимах при ускоренном износе сопряжённых деталей за счет приложения дополнительных усилий	0,20 – 0,40
4.	Отказ, то есть полная потеря работоспособности и невозможность продолжения эксплуатации	0,40 – 0,60
5.	Тяжелые последствия отказа, повлекшие значительные затраты на техническое обслуживание и ремонт технических объектов (например, выход двигателя внутреннего сгорания)	0,60 – 1,00

«Критерий неустранимых отказов при наличии запасных частей и отсутствии диагностического оборудования:

$$V_i = \frac{H_i}{M_i} \quad (1.5)$$

H_i – количество отказов неустранимых трактористом i – ого технического объекта.

M_i – общее количество отказов i – ого технического объекта» [45].

Целесообразность диагностирования двигателей тракторов АПК представлена в таблице 1.2 [129].

Таблица 1.2. – Целесообразность диагностирования двигателей тракторов АПК

№	Элементы двигателя	B_i	Ранг	V_i	Ранг	Общий ранг
1.	Система охлаждения	0,60	12	0,04	10	22
2.	Масляная система	0,20	17	0,10	11	25
3.	Топливная система	1,22	8	0,18	7	15
4.	Газораспределительный механизм	0,70	11	0,50	11	22
5.	Кривошипно-шатунный механизм	0,10	18	0,20	11	29
6.	Цилиндропоршневая группа	2,95	4	1,00	1	5

Критерии весомости отказа тракторов АПК представлены на рисунке 1.7.

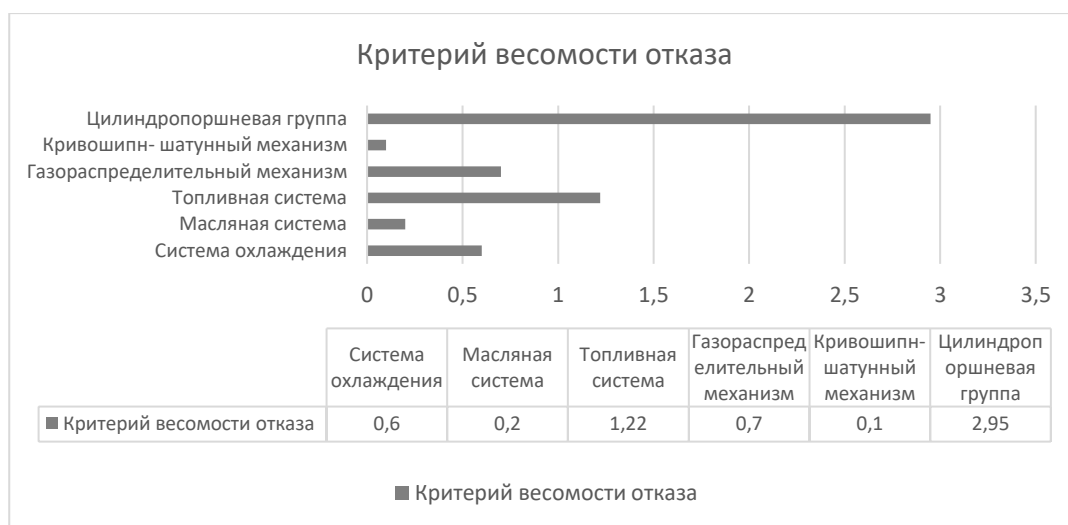


Рисунок 1.7. – Критерии весомости отказа двигателей тракторов АПК

Критерии неустраняемых отказов двигателей тракторов АПК представлены на рисунке 1.8.

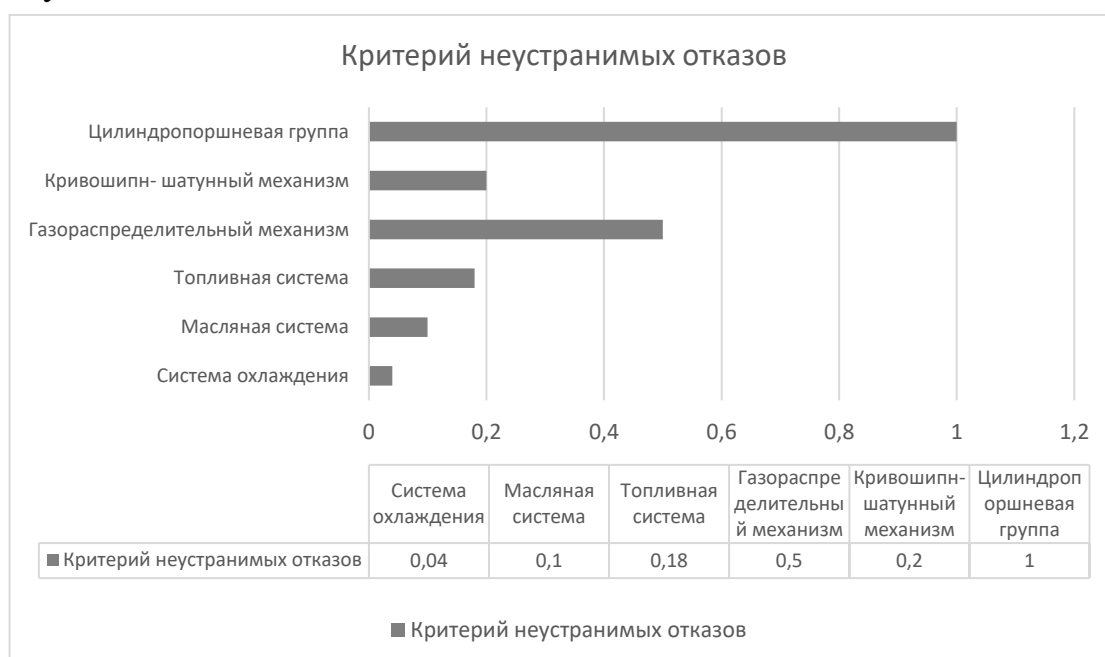


Рисунок 1.8. - Критерии неустраняемых отказов двигателей тракторов АПК

1.2. Характер изменения технического состояния

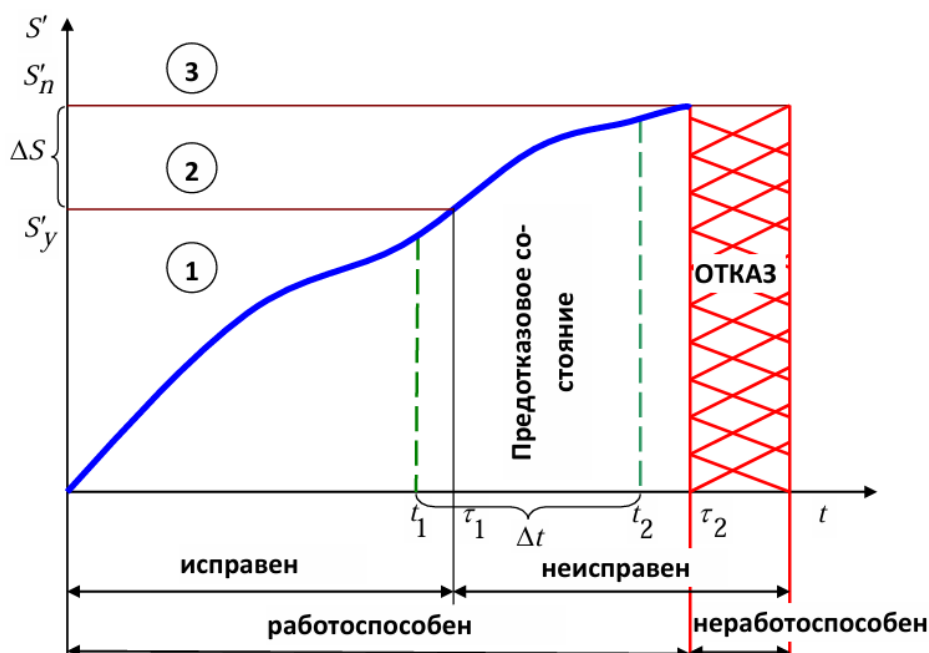
Трактора АПК учувствуют в производственном процессе и приносят определенный доход, если они технически исправны и находятся в работоспособном состоянии. Техническое состояние определяется совокупностью изменяющихся свойств его технических объектов, характеризующихся текущим значением диагностических показателей, которые имеют прямую зависимость от продолжительности эксплуатации, которая измеряется единицами пробега, количеством израсходованного топлива, времени (мото-часы), числом циклов, календарным временем. Различают наработку с начала эксплуатации, наработку до определенного состояния (например, предельного) [83, 100]. Для автомобилей наработку исчисляют в километрах пробега, для тракторов – количестве израсходованного топлива или мото-часах. Наиболее точным является учет в единицах израсходованного топлива, так как учитывают условия эксплуатации основного технического объекта – двигатель внутреннего сгорания.

По мере увеличения наработки l , t параметры технического состояния изменяются от номинальных Y_n , свойственных новому трактору, до предельных Y_p , при которых дальнейшая эксплуатация по техническим, конструктивным, экономическим, экологическим причинам недопустима. Величины номинальных значений параметров технического состояния устанавливаются нормативно-технической и проектно-конструкторской документацией [65, 66, 95].

Изменение технического состояния тракторов АПК представлено на рисунке 1.9 [3].

Техническое состояние является нестабильным и в процессе эксплуатации претерпевает изменения, которые зависят от многих факторов, действующих комплексно, находясь в сложной зависимости друг от друга. Основные факторы обычно делят на следующие группы: конструктивные, технологические и эксплуатационные, которые приводят к изнашиванию и старению. Изнашивание характеризуется процессом разрушения и отделения

материала с поверхности сопряжённых деталей и накопления остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и формы деталей [3, 84].



S' — техническое состояние; S'_y — упреждающее (начальное) значение диагностических показателей; S'_n — предельное значение диагностических показателей; t_1 ; t_2 — моменты диагностирования технического состояния; τ_1 ; τ_2 — моменты изменения технического состояния

Рисунок 1.9. — Изменение технического состояния тракторов АПК в условиях эксплуатации [3].

Процесс изнашивания возникает под действием сил трения, зависящих от материала и обработки сопряжённых поверхностей, смазки, нагрузки, скорости относительного перемещения поверхностей и теплового режима работы сопряжения. Результат изнашивания, определяемый в установленных единицах, называется износом, который может быть линейным, объемным, массовым. Интенсивность изнашивания — это относительные величины износа (отношение износа к пути трения или показателю, связанному с эксплуатацией), например километру пробега или наработке [85].

Понятие исправное техническое состояние, которое шире понятия работоспособность, и соответствует такому состоянию, при котором диагностические показатели удовлетворяет всем требованиям НТД. Для

оценки технического состояния используют: остаточный ресурс до ближайшего ТО; остаточный ресурс до списания (или капитального ремонта); остаточный ресурс до истечения срока хранения при консервации [101, 102].

Техническое состояние H_0 технического объекта определяется по формуле [57]:

$$H_0 = H(y_\varphi) + H(y_\varphi^*) \quad (1.6)$$

$H(y_\varphi)$ – вероятность нахождения диагностических показателей в рамках НТД

$H(y_\varphi^*)$ – вероятность нахождения диагностических показателей за рамками НТД.

Вероятность нахождения $H(y_\varphi)$ технического состояния в стадии исправного определяется по формуле [57]:

$$H(y_\varphi) = P(y_\varphi) \cdot \mathcal{E}(y_\varphi) \quad (1.7)$$

$P(y_\varphi)$ – отклонение между минимальными и максимальными значениями диагностических показателей

$\mathcal{E}(y_\varphi)$ – энтропия диагностического показателя

$$P(y_\varphi) = \sum_{j \in \Omega_\varphi} P(S_j) \quad (1.8)$$

$$\mathcal{E}(y_\varphi) = - \sum_{j \in \Omega_\varphi} \frac{P(S_j)}{\sum_{j \in \Omega_\varphi} P(S_j)} \cdot \log_2 \frac{P(S_j)}{\sum_{j \in \Omega_\varphi} P(S_j)} \quad (1.9)$$

Вероятность нахождения $H(y_\varphi)$ диагностических показателей в рамках НТД определяется по формуле [56]:

$$H_\varphi(y_\varphi) = \sum_{j \in \Omega_\varphi} P(S_j) \cdot \left[- \sum_{j \in \Omega_\varphi} \frac{P(S_j)}{\sum_{j \in \Omega_\varphi} P(S_j)} \cdot \log_2 \frac{P(S_j)}{\sum_{j \in \Omega_\varphi} P(S_j)} \right] \quad (1.10)$$

Вероятность нахождения $H(y_\varphi^*)$ технического состояния в стадии неисправного технического состояния определяется по формуле [56]:

$$H(y_\varphi^*) = P(y_\varphi^*) \cdot \mathcal{E}(y_\varphi^*) \quad (1.11)$$

$P(y_\varphi^*)$ – отклонение фактического значения от предельного значения диагностических показателей.

$\mathcal{E}(y_\varphi^*)$ – энтропия диагностического показателя

$$P(y_\varphi^*) = \sum_{j \in \Omega_\varphi^*} P(S_j) \quad (1.12)$$

$$\mathcal{E}(y_\varphi^*) = - \sum_{j \in \Omega_\varphi^*} \frac{P(S_j)}{\sum_{j \in \Omega_\varphi^*} P(S_j)} \cdot \log_2 \frac{P(S_j)}{\sum_{j \in \Omega_\varphi^*} P(S_j)} \quad (1.13)$$

Вероятность нахождения $H(y_\varphi^*)$ технического состояния в стадии неисправного технического состояния определяется по формуле:

$$H(y_\varphi^*) = \sum_{j \in \Omega_\varphi^*} P(S_j) \cdot \left[- \sum_{j \in \Omega_\varphi^*} \frac{P(S_j)}{\sum_{j \in \Omega_\varphi^*} P(S_j)} \cdot \log_2 \frac{P(S_j)}{\sum_{j \in \Omega_\varphi^*} P(S_j)} \right] \quad (1.14)$$

Техническое состояние H_0 технического объекта определяется по формуле:

$$H_0 = \sum_{j \in \Omega_\varphi} P(S_j) \cdot \left[- \sum_{j \in \Omega_\varphi} \frac{P(S_j)}{\sum_{j \in \Omega_\varphi} P(S_j)} \cdot \log_2 \frac{P(S_j)}{\sum_{j \in \Omega_\varphi} P(S_j)} \right] + \\ + \sum_{j \in \Omega_\varphi^*} P(S_j) \cdot \left[- \sum_{j \in \Omega_\varphi^*} \frac{P(S_j)}{\sum_{j \in \Omega_\varphi^*} P(S_j)} \cdot \log_2 \frac{P(S_j)}{\sum_{j \in \Omega_\varphi^*} P(S_j)} \right] \quad (1.15)$$

$P(S_j)$ – вероятность S_j – ого технического состояния технического объекта

$\sum_{j \in \Omega_\varphi} P(S_j)$ – суммарная вероятность нахождения диагностических показателей агрегата в пределах НТД

$\sum_{j \in \Omega_\varphi^*} P(S_j)$ – суммарная вероятность нахождения диагностических показателей агрегата за пределами НТД

Ω_φ – средний индекс диагностических показателей агрегата в пределах НТД, $\Omega_\varphi = \{j; V_{\varphi j} = 1\}$

Ω_φ^* – средний индекс диагностических показателей агрегата за пределами НТД, $\Omega_\varphi^* = \{j; V_{\varphi j} = 0\}$

Плотность распределения скорости изменения диагностических показателей тракторов АПК представлена на рисунке 1.10.

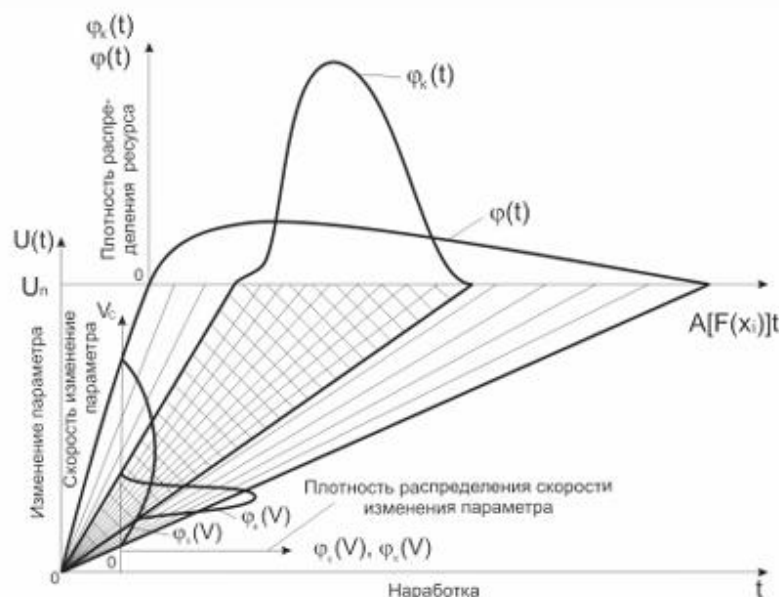


Рисунок 1.10. – Плотность распределения скорости изменения диагностических показателей тракторов АПК

1.3. Анализ способов диагностирования технического состояния

«Теоретические основы прогнозирования наработки трактора от начала эксплуатации или её возобновление после капитального ремонта до наступления предельного состояния (ресурса) строятся на законе случайных функций (кривая нормального распределения случайной величины). В силу случайного характера процесса изнашивания сопряжённых деталей (например: двигателей), изменение диагностических показателей аппроксимируют степенной функцией. Степенная функция обладает универсальностью, а диагностические показатели имеют четкий физический смысл, что объясняется широким использованием в теории прогнозирования ресурса. Для определения ресурса необходимо знать значения диагностических показателей к моменту времени. Значение диагностических показателей к определённому моменту наработки (пробег) определяется по формуле:

$$U(t) = V_c \cdot t^\alpha + z \quad (1.16)$$

V_c – интенсивность изменения диагностических показателей.

t – наработка (пробег).

α – степень изменения диагностического показателя ($\alpha = 1$ – прямая линия; $\alpha > 1$ – линия выпуклая вверх; $\alpha < 1$ – линия выпуклая вниз).

z – начальное значение диагностического показателя в рамках НТД» [57].

«Прогнозирование ресурса по среднему статистическому показателю в рамках НТД, который применяют, когда отсутствует диагностическая информация о степени изменения диагностического показателя конкретного технического объекта в процессе его эксплуатации. Допустимое изменение диагностических показателей определяют с помощью допустимых износов сопряжённых деталей согласно конструкторской документации [115, 119]. Оптимизация допустимой величины среднего статистического показателя производят с помощью номограмм» [57].

«Средний статистический показатель определяется по формуле:

$$U(D) = \begin{cases} 0 \leq D \leq D_{\text{пр}} \\ \frac{A \cdot Q(D) + C \cdot [1 - Q(D)]}{t_{\phi}(D)} \end{cases} \quad (1.17)$$

D – допустимый износ деталей согласно конструкторской документации.

$D_{\text{пр}}$ – предельный износ, характеризующий замену сопряжённых деталей.

$Q(D)$ – вероятность отказа технического объекта в процессе эксплуатации.

$t_{\phi}(D)$ – средняя наработка (пробег).

A – издержки на внеплановое техническое обслуживание и ремонт.

C – издержки на плановое техническое обслуживание и ремонт» [57].

«Для определения ресурса существует дробно-линейная зависимость, которая является универсальной и пригодной для статически и динамически нагруженных технических объектов (например: двигатель). Решение задачи предполагает прогнозирование фактических значений диагностических показателей, соответствующих наработке. На основе этой информации осуществляется вычисление констант, характеризующих степень затухания процессов изнашивания технического объекта. После чего производится

прогнозирование диагностических показателей в определённый момент наработки» [14, 57, 72, 105, 107, 108, 109, 121].

«Значение диагностического показателя к моменту наработки определяется по формуле:

$$U(t) = \delta_{ки} \cdot \frac{t}{T + t} \quad (1.18)$$

$\delta_{ки}$ – константа, характеризующая степень затухания процессов изнашивания.

t – наработка (пробег)

T – константа, характеризующая степень изменения диагностических показателей (в единицах диагностического показателя)» [57].

«Математическое описание процесса изменения диагностических показателей является важным моментом при прогнозировании ресурса. От выбора аппроксимирующей функции зависят погрешность и трудоемкость прогнозирования, функция должна учитывать физическую картину изменения диагностических показателей (внешние и внутренние факторы), случайную величину скорости, характеризовать линейную, степенную, экспоненциальную зависимости от наработки» [42, 43, 57, 124, 132].

«Отклонение диагностических показателей (случайная величина) определяется по формуле:

$$U(t) = U + z \quad (1.19)$$

U – отклонение диагностических показателей по средней эксплуатационной нагрузке.

z – отклонение диагностических показателей от усредняющей кривой» [57].

«Отклонение диагностических показателей $U(t)$ рассмотрим на основе канонического разложения случайной функции:

$$U(t) = f_o(t) + \sum_{i=1}^n V_i \cdot f_i(t) \quad (1.20)$$

$f_o(t)$ – случайная функция от воздействия внутренних факторов.

$f_i(t)$ – случайная функция от воздействия внешних факторов.

V_i – коэффициент канонического разложения» [57].

«Коэффициент канонического разложения определяется по формуле:

$$\sum_{i=1}^n V_i \cdot f_i(t) = V_c^o \cdot f_o(t) + V_t' \cdot f_i(t) \quad (1.21)$$

$f_o(t)$ – случайная функция от воздействия внутренних факторов.

$f_i(t)$ – случайная функция от воздействия внешних факторов.

V_i – коэффициент канонического разложения.

V_c^o – скорость отклонения диагностических показателей за единицу наработки ($t = 1,0$) под влиянием внутренних факторов.

V_t' – скорость отклонения диагностических показателей за единицу наработки ($t = 1,0$) под влиянием внешних факторов» [57].

Отклонение $U(t)$ диагностических показателей определяется по формуле [57]:

$$U(t) = f_o(t) + V_c^o \cdot f(t) + V_t' \cdot f_i(t) \quad (1.22)$$

Детерминированная функция определяется по формуле [57]:

$$f(t) = \frac{f_o(t)}{m_v} = \frac{f_o(t)}{f_o(t = 1,0)} \quad (1.23)$$

«Первая детерминированная функция определяется по формуле:

$$f_1(t) = \frac{z_{cp}(t)}{z_{cp}(\Delta U(t) = 1)} \quad (1.24)$$

$z_{cp}(t)$ – средние отклонения диагностических показателей от усредняющей кривой в момент наработки t .

$z_{cp}(\Delta U(t) = 1)$ – средние отклонения диагностических показателей от усредняющей кривой при $\Delta U(t) = 1$ » [57].

«Фактическое отклонение $U(t)$ диагностических показателей определяется по формуле:

$$U(t) = V_c \cdot f(t) + V_t' \cdot f_1(t) \quad (1.24)$$

$$V_t' \cdot f_1(t) = 0 \rightarrow U(t) = V_c \cdot f(t) = V_c \cdot t + z \quad (1.25)$$

$$U(t) = V_c \cdot t + z, \text{ при } z = 0 \rightarrow U(t) = V_c \cdot t \quad (1.26)$$

$U(t_1)$ – отклонение диагностических показателей в фиксированный момент наработки t_1 » [57].

$$\frac{\sigma_u}{f_o(t_1)} \quad (1.27)$$

«Стандартное отклонение диагностических показателей в фиксированный момент наработки t_1 определяется по формуле:

$$\sigma_u = \sigma_v \cdot f(t_1) \quad (1.28)$$

t_1 – фиксированный момент наработки

$$f_o(t_1) = m_v \cdot f(t_1) \quad (1.29)$$

m_v – математическое ожидание.

$$\frac{\sigma_u}{f_o(t_1)} = \frac{\sigma_v \cdot f(t_1)}{m_v \cdot f(t_1)} = \frac{\sigma_v}{m_v} \quad (1.30)$$

σ_v – стандартное отклонение

σ_u – стандартное отклонение

m_v – математическое ожидание» [57].

«Связь между скоростью изменения диагностических показателей (например, температура охлаждающей жидкости) и условиями эксплуатации определяется функциональной зависимостью [77, 86]. Скорость изменения диагностических показателей определяется по формуле:

$$V_{cl} = F(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n) \quad (1.31)$$

x_j – значение j – ого диагностического показателя» [57].

«Скорость изменения диагностических показателей в связи с влиянием неучтенных условий и рассеиванием в реальных условиях эксплуатации ($j=1, 2, \dots, n$) есть величина случайная, поэтому необходимо их учесть. В этих целях используется метод случайного коэффициента в виде линейной функции» [57].

«Скорость изменения диагностических показателей V_c определяется по формуле:

$$V_c = K \cdot A[V_{cl}] = KA[F(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)] \quad (1.32)$$

K – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации: внешние (заводские) и внутренние (эксплуатационные) факторы.

A – линейный оператор связи диагностических показателей с условиями эксплуатации.

$(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$ – диагностические показатели» [57].

«Достижение предельной величины диагностических показателей обуславливает нарушение работоспособности, когда технический объект (например: двигатель) перестает выполнять свои функции целиком или частично (отказ). Учет предельного изменения диагностических показателей производится на основе кривой нормального распределения случайной величины» [57].

«Отклонение $U(t)$ диагностических показателей определяется по формуле:

$$U(t) = V_c \cdot t = KA[F(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)] \cdot t \quad (1.33)$$

V_c – скорость изменения диагностических показателей.

t – наработка (пробег).

K – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации.

A – линейный оператор связи диагностических показателей с условиями эксплуатации» [57].

«Плотность распределения при фиксированном предельном изменении диагностических показателей определяется как обратная функция случайного аргумента:

$$\varphi(t) = \varphi_0 \cdot [R(t)] \cdot |R'(t)| \quad (1.34)$$

$R(t)$ – обратная функция случайного аргумента.

$R'(t)$ – производная обратной функции случайного аргумента» [57].

При нормальном распределении скорости изменения диагностических показателей плотность распределения переделяется по формуле [57]:

$$\varphi(t) = \frac{U_n}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_v \cdot t^2}} \cdot \exp \left[-\frac{\left(\frac{v_n}{t} - m_v \right)^2}{2 \cdot \sigma_v^2} \right] \quad (1.35)$$

Плотность распределения при распределении Вейбулла определяется по формуле [57]:

$$\varphi(t) = \frac{b \cdot K_b \cdot V_{\Pi}}{m_V \cdot t^2} \cdot \left(\frac{V_{\Pi}}{t}\right)^{b-1} \cdot \exp\left[-\frac{K_b \cdot V_{\Pi}}{m_V \cdot t}\right] \quad (1.36)$$

«Старение технического объекта увеличивает скорость изменения диагностических показателей, когда на сопряжённых деталях изнашивается упрочнённый слой и пары трения работают по «сырому металлу». Кроме того, существует понятие морального износа, которое подразумевает ухудшение технико-экономических показателей по сравнению с современными видами технических объектов того же назначения. В этом случае отклонение $U(t)$ диагностических показателей определяется по формуле:

$$U(t) = V_c \cdot \sum_{i=1}^n t_{mi}$$

$$U(t) = V_c \cdot f(\sum_{i=1}^n t_{mi}) + V'_t \cdot f_1(\sum_{i=1}^n t_{mi}) \quad (1.37)$$

t_{mi} – межконтрольная i – ая наработка технического объекта» [57].

«С точки зрения прогнозирования технического состояния наибольший интерес представляет межконтрольная i – ая наработка технического объекта. При прогнозировании технического состояния больше интересует не участок приработки, когда происходит приработка сопряжённых деталей с образованием большого количества металлической стружки, что требует первой замены моторного масла, а продолжительный участок стабильной эксплуатации. Основным участком для прогнозирования является выход диагностических показателей за рамки НТД» [47, 48, 50, 57].

«Отклонение $U(t)$ диагностических показателей определяется по формуле:

$$U(t) = V_c \cdot f(t) + z + U_1 \quad (1.38)$$

V_c – скорость изменения диагностических показателей.

$f(t)$ – случайная функция от воздействия внутренних и внешних факторов.

z – отклонение диагностических показателей от усредняющей кривой.

U_1 – показатель приработки при $t = 0$ (в единицах измерения диагностического показателя)» [57].

«Фактическое отклонение $U_1(t)$ диагностических показателей при $t = 0$ (в единицах измерения диагностического показателя) определяется по формуле:

$$U_1(t) = V_c \cdot t + U_1 \rightarrow V_c \cdot t = U_1(t) - U_1 = U(t) \quad (1.39)$$

V_c – скорость изменения диагностических показателей.

t – наработка (пробег).

U_1 – показатель приработки при $t = 0$ » [57].

При использовании степенной функции отклонение $U_1(t)$ диагностических показателей при $t = 0$ (в единицах измерения диагностического показателя) определяется по формуле [57]:

$$U_1(t) = V_c \cdot t^\alpha + z + U_1 \rightarrow U(t) = V_c \cdot t^\alpha + z \quad (1.40)$$

«При отклонении диагностических показателей от усредняющей кривой $z = 0$ базовая функция $U(t)$ определяется по формуле:

$$U(t) = U_1(t) - U_1 = V_c \cdot t^\alpha \quad (1.41)$$

α – степень изменения диагностического показателя ($\alpha = 1$ – прямая линия; $\alpha > 1$ – линия выпуклая вверх; $\alpha < 1$ – линия выпуклая вниз)» [57]

«Продифференцировав базовую функцию $U(t)$ по t при $t = 1$, получим:

$$\frac{d[U(t)]}{dt} = \alpha \cdot V_c \quad (1.42)$$

V_c – скорость изменения диагностических показателей.

α – степень изменения диагностического показателя ($\alpha = 1$ – прямая линия; $\alpha > 1$ – линия выпуклая вверх; $\alpha < 1$ – линия выпуклая вниз) » [57]

«Плотность распределения при нормальном распределении определяется по формуле:

$$\varphi(t) = \frac{U_n \cdot \alpha}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_V \cdot t^{\alpha+1}}} \exp \left[-\frac{\left(\frac{U_n}{t^\alpha} - m_V \right)^2}{2 \cdot \sigma_V^2} \right] \quad (1.43)$$

α – степень изменения диагностического показателя ($\alpha = 1$ – прямая линия; $\alpha > 1$ – линия выпуклая вверх; $\alpha < 1$ – линия выпуклая вниз).

m_V – математическое ожидание.

π – математическая константа, $\pi \approx 3,14$.

U_π – показатель приработки при $t = t_\pi$ (в единицах измерения диагностического показателя)» [57]

Плотность распределения при распределении Вейбулла определяется по формуле [57]:

$$\varphi(t) = \frac{b \cdot K_b^b \cdot U_\pi \cdot \alpha}{m_V^b \cdot t^{\alpha+1}} \cdot \left(\frac{U_\pi}{t^\alpha}\right)^{b-1} \cdot \exp\left[-\frac{K_b \cdot U_\pi}{m_V \cdot t}\right]^b \quad (1.44)$$

Коэффициент плотности определяется по формуле [57]:

$$K_b = \Gamma \cdot \left(\frac{1}{b} + 1\right)$$

Функция распределения по Вейбуллу в результате интегрирования в пределах от 0 до t имеет следующий вид [57]:

$$F(t) = \exp\left[-\left(\frac{K_b \cdot U_\pi}{m_V \cdot t^\alpha}\right)^b\right] \quad (1.45)$$

Стандартное отклонение определяется по формуле [57]:

$$\sigma_t = \sqrt{\left(\frac{K_b \cdot U_\pi}{m_V}\right)^{\frac{2}{\alpha}} \cdot \Gamma \cdot \left(1 - \frac{2}{a \cdot b}\right) - T_{cp}^2} \quad (1.46)$$

Коэффициент вариации определяется по формуле [57]:

$$v = \sqrt{\frac{\Gamma \cdot \left(1 - \frac{2}{a \cdot b}\right)}{\left[\Gamma \cdot \left(1 - \frac{1}{a \cdot b}\right)\right]^2} - 1}$$

Среднее значение ресурса определяется по формуле [57]:

$$T_{cp} = \left(\frac{K_b \cdot U_\pi}{m_V}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \cdot \Gamma \cdot \left(1 - \frac{1}{a \cdot b}\right) \quad (1.47)$$

Рассмотрим более подробно изменение диагностических показателей [57]:

$$U(t) = V_c \cdot t^\alpha + z \rightarrow z = U(t) - V_c \cdot t^\alpha \quad (1.48)$$

«Отклонение диагностических показателей от усредняющей кривой z определяется по формуле:

$$z = V'_t(V_c \cdot t^\alpha)$$

V'_t – скорость изменения диагностических показателей с математическим ожиданием, равным нулю» [57].

Математическое ожидание определяется по формуле [57]:

$$M[U(t)] = m_V \cdot t^\alpha \quad (1.49)$$

Отклонение $U(t)$ диагностических показателей определяется по формуле [57]:

$$U(t) = V_c \cdot t^\alpha + V'_t \cdot V_c \cdot t^\alpha = V_c(1 + V'_t) \cdot t^\alpha \quad (1.50)$$

Стандартное отклонение определяется по формуле [57]:

$$\sigma_{U(t)} = \sqrt{\sigma_U^2 + \sigma_{V'}^2 \cdot (\sigma_U^2 + m^2 \cdot V) \cdot t^\alpha} \quad (1.51)$$

σ_U – стандартное отклонение V_c

$\sigma_{V'}$ – стандартное отклонение V'_t

Коэффициент вариации $v_{U(t)}$ определяется по формуле [57]:

$$v_{U(t)} = \frac{\sigma_{U(t)}}{M[U(t)]} = \frac{\sqrt{\sigma_U^2 + \sigma_{V'}^2 \cdot (\sigma_U^2 + m^2 \cdot V) \cdot t^\alpha}}{m_V \cdot t^\alpha} \quad (1.52)$$

$$v_{U(t)} = \sqrt{v_U^2 + (v'_U)^2 \cdot (v_U^2 + 1)} \quad (1.53)$$

При экспоненциальной функции изменения диагностических показателей получим следующее выражение [57]:

$$U_1(t) = \alpha \cdot e^{V_c \cdot t} - U_1 \quad (1.54)$$

Прологарифмировав выражение, получим [57]:

$$\ln(U'(t) + U_1) = \ln \alpha + V_c \cdot t \quad (1.55)$$

V_c – скорость изменения диагностических показателей.

$\ln \alpha$ – период выхода диагностических показателей за рамки НТД.

Плотность распределения ресурса в случае нормального распределения определяется по формуле [57]:

$$\varphi(t) = \frac{\ln \frac{U_n}{\alpha}}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_U \cdot t^2}} \cdot \exp \left[-\frac{\left(\ln \frac{U_n}{t} - m_V \right)^2}{2 \cdot \sigma_U^2} \right] \quad (1.56)$$

Средний ресурс при распределении по закону Вейбулла определяется по формуле [57]:

$$T_{cp} = \left(\frac{K_b \cdot \ln \frac{U_n}{\alpha}}{m_V} \right) \cdot \Gamma \cdot \left(1 - \frac{1}{b} \right) \quad (1.57)$$

1.4. Анализ способов прогнозирования ресурса тракторов АПК

В настоящее время для диагностирования технического состояния тракторов АПК и объективного определения их остаточного ресурса применяются способы прогнозирования, которые базируются на результатах измерения диагностических показателей, содержащих необходимую диагностическую информацию о техническом состоянии технических объектов (например: двигатели внутреннего сгорания). Достоверность прогнозирования технического состояния зависит от соответствия теоретических расчетных зависимостей реальным условиям и режимам работы, законам изнашивания деталей и точности измерения диагностических показателей, используемых в качестве исходных физических величин [49, 73, 113, 114].

Устанавливая диапазон изменения диагностических показателей в рамках НТД и износа сопряжённых деталей согласно конструкторской документации, можно прогнозировать изменение технического состояния по степенным отказам и тем самым предотвращать их, корректируя периодичность технического обслуживания и ремонта [52, 76]. В связи с тем, что процесс изменения технического состояния носит случайный характер, в практике прогнозирования имеет место два основных случая установления остаточного ресурса [51, 92]:

- Всей совокупности технических объектов. В первом случае предупредительная замена элемента определяется периодичностью диагностирования и допустимым в момент диагноза значением параметра

технического состояния. При диагностировании оценивают остаточный ресурс основных технических объектов (например: цилиндропоршневой группы, коленчатого вала двигателя, шестерен и валов агрегатов трансмиссии).

- Конкретного технического объекта. Во втором случае по результатам оценки величины параметра конкретного элемента прогнозируется остаточный ресурс.

«Наибольшее распространение получили способы определения остаточного ресурса, разработанные ГОСНИТИ, ВИМ и ЛСХИ, в которых в качестве аппроксимирующей используется степенная функция, характеризующая закономерность изменения диагностических показателей по мере увеличения периода эксплуатации [46, 87]». «Остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ определяется по формуле:

$$t_{\text{ост}} = t \cdot \left(\alpha \sqrt{\frac{P_{\text{пр}} - P_{\text{нач}}}{P_{\text{факт}} - P_{\text{нач}}}} - 1 \right) \quad (1.58)$$

$P_{\text{нач}}$ – начальное (минимальное) значение диагностического показателя в рамках НТД.

$P_{\text{пр}}$ – предельное (максимальное) значение диагностического показателя в рамках НТД.

$P_{\text{факт}}$ – фактическое (текущее) значение диагностического показателя в рамках НТД.

t – наработка технического объекта (фактический пробег).

α – степень изменения диагностического показателя ($\alpha = 1$ – прямая линия; $\alpha > 1$ – линия выпуклая вверх; $\alpha < 1$ – линия выпуклая вниз)» [57]

Остаточный ресурс, определенный по формуле (1.9), является завышенным в 1,3 – 1,5 раза, что связано со значительным рассеиванием степени изменения диагностического показателя. Для определения характера кривой изменения диагностического показателя, характеризующийся

степенью изменения, требуется производить замер фактических значений на протяжении всего срока эксплуатации (несколько раз). При определении остаточного ресурса конкретного технического объекта (например: двигатель внутреннего сгорания) предполагается, что степень изменения диагностического показателя для данного технического объекта является постоянной и принята заранее на основе обработки статистической информации [46]. Однако, степень изменения диагностических показателей зависит от износа сопряжённых деталей технического объекта и имеет три периода, каждый из которых характеризуется различной степенью изменения диагностических показателей (1 период: обкатка; 2 период: стабильная эксплуатация; 3 период: выход эксплуатационных показателей за рамки НТД) [8, 10, 69, 70, 133].

«Способ, предложенный ГОСНИТИ [67, 68], основан на учете действительной закономерности изнашивания сопряжённых деталей технического объекта и измерения конкретных диагностических показателей в прошедший период эксплуатации. При этом предполагается неизменность условий эксплуатации на прогнозируемый период. Сущность способа состоит в том, что по трем значениям диагностического показателя: начальное (минимальное), предельное (максимальное), фактическое в рамках НТД, а также наработке с начала эксплуатации до каждого диагностирования устанавливают закономерность изменения остаточного ресурса технического объекта. Остаточный ресурс $t_{ост}$ определяется по формуле:

$$t_{ост} = t_1 \cdot \left(\frac{t^\alpha}{1 - \frac{P_{пр} - P_{факт}}{P_{пр} - P_{нач}}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - t_2 \quad (1.59)$$

t_1 – наработка технического объекта (фактический пробег) до эксплуатации нового сопряжения деталей.

t_2 – наработка технического объекта (фактический пробег) после эксплуатации нового сопряжения деталей (между первым и вторым диагностированием).

$P_{\text{нач}}$ – начальное (минимальное) значение диагностического показателя в рамках НТД.

$P_{\text{пр}}$ – предельное (максимальное) значение диагностического показателя в рамках НТД.

$P_{\text{факт}}$ – фактическое (текущее) значение диагностического показателя в рамках НТД.

α – степень изменения диагностического показателя ($\alpha = 1$ – прямая линия; $\alpha > 1$ – линия выпуклая вверх; $\alpha < 1$ – линия выпуклая вниз) »[57]

Таратковский И.Б. [116] предложил логарифмическое уравнение для определения остаточного ресурса, которое получено на основе исследований износа цилиндропоршневой группы: «цилиндр – поршневое кольцо» двигателей внутреннего сгорания. Остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ определяется по формуле:

$$t_{\text{ост}} = A \cdot \lg \left(\frac{P_{\text{пр}} + h}{P_{\text{нач}} + h} - t_2 \right) \quad (1.60)$$

A – средний коэффициент, учитывающий износ цилиндров двигателей внутреннего сгорания.

h – средний коэффициент, учитывающий износ поршневого кольца двигателей внутреннего сгорания (измеряется в единицах диагностического показателя).

$P_{\text{нач}}$ – начальное (минимальное) значение диагностического показателя в рамках НТД.

$P_{\text{пр}}$ – предельное (максимальное) значение диагностического показателя в рамках НТД.

t_2 – наработка между первым и вторым диагностированием технического состояния технического объекта.

Авдонькин Ф.Н. установил аналогичную зависимость для определения остаточного ресурса, которая была получена в Саратовском политехническом институте [2]. Остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ определяется по формуле:

$$t_{\text{ост}} = \frac{1}{b} \cdot \ln \frac{P_{\text{пр}} - P_{\text{факт}} + \alpha_{2-3}}{\alpha_{2-3}} - t_3 \quad (1.61)$$

b – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации технического объекта.

$P_{\text{пр}}$ – предельное (максимальное) значение диагностического показателя в рамках НТД.

$P_{\text{факт}}$ – фактическое (текущее) значение диагностического показателя в рамках НТД.

α_{2-3} – интенсивность изнашивания сопряжённых деталей между вторым и третьим диагностированием (измеряется в единицах диагностического показателя).

t_3 – наработка до третьего диагностирования технического объекта.

«Существует функциональный способ определения остаточного ресурса установленный ВИМ [59], который определяется по действительной скорости (интенсивности) изменения диагностического показателя в момент диагностирования фактического технического состояния с учетом общей закономерностей, которые изменяются по прямолинейным и криволинейным зависимостям с убывающей и возрастающей скоростью изменения диагностического показателя. Остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ определяется по формуле:

$$t_{\text{ост}} = \left(\frac{P_{\text{пр}} - P_{\text{факт}}}{P_{\text{факт}} - P_{\text{нач}}} \right) \cdot \frac{t_{\text{п}} \cdot K_{\text{п}}}{\alpha} \quad (1.62)$$

$P_{\text{нач}}$ – начальное (минимальное) значение диагностического показателя в рамках НТД.

$P_{\text{пр}}$ – предельное (максимальное) значение диагностического показателя в рамках НТД.

$P_{\text{факт}}$ – фактическое (текущее) значение диагностического показателя в рамках НТД.

t_n – наработка (фактический пробег) с начала эксплуатации технического объекта.

K_n – коэффициент запаса величины диагностического показателя в рамках НТД.

α – степень изменения диагностического показателя ($\alpha = 1$ – прямая линия; $\alpha > 1$ – линия выпуклая вверх; $\alpha < 1$ – линия выпуклая вниз)» [57]

«Предельные и начальные значения диагностических показателей берутся из НТД. Нарботка с начала эксплуатации до номерного технического обслуживания и ремонта – из эксплуатационной документации. Степень изменения диагностического показателя α рекомендуется принимать равным среднестатистическому. Коэффициент запаса величины диагностического показателя в рамках НТД K_n определяется следующим образом:

- Если $\alpha \leq 1, P_{пр} \geq P_{нач}$, тогда $K_n = 1$
- Если $\alpha > 1, P_{пр} > P_{нач}$, тогда $K_n = \frac{P_{факт}}{P_{пр}}$
- Если $\alpha > 1, P_{пр} < P_{нач}$, тогда $K_n = \frac{P_{нач} + P_{пр} - P_{факт}}{P_{нач}}$ » [57]

Таким образом, в настоящее время существует большое разнообразие способов диагностирования технического состояния на основе прогнозирования остаточного ресурса. Наиболее перспективными являются аналитические способы, основанные на сопоставлении фактических значений диагностических показателей с показателями НТД. Однако, диагностические показатели имеют разную направленность по выходу за рамки НТД. Одни показатели увеличиваясь ухудшают техническое состояние, а другие, наоборот, уменьшаясь. Кроме того, фактические значения диагностических показателей имеют разные единицы измерения, что затрудняет диагностирование общего технического состояния тракторов АПК в условиях эксплуатации [15, 27, 43].

1.5. Пути совершенствования диагностирования тракторов АПК

Одним из путей повышения эффективности диагностирования технического состояния тракторов АПК является классификация диагностических показателей, которые имеют разную направленность по выходу за рамки НТД [23]. Одни показатели увеличиваясь ухудшают техническое состояние, а другие, наоборот, уменьшаясь, что затрудняет диагностирование общего технического состояния тракторов АПК в условиях эксплуатации [25, 32, 112]. Новую классификацию диагностических показателей (давление и температуры моторного масла; температура охлаждающей жидкости; давление и температура наддувочного воздуха, давление, давление топлива в рампе, давление и температуры дизельного топлива в магистрали низкого давления) возможно осуществить на основе кривой нормального распределения случайной величины. В стандартное отклонение $\pm 3\sigma$ нормального распределения входит 99,6% ($2,1\% + 13,6\% + 34,1\% + 34,1\% + 13,6\% + 2,1\%$) членов совокупности. За пределами $\pm 3\sigma$ встречается лишь 0,2% ($0,1\% + 0,1\%$) членов совокупности, что позволяет классифицировать диагностические показатели по направлению оси стандартного отклонения диагностических показателей в рамках указанного диапазона.

«Кривая нормального распределения случайной величины представлена на рисунке 1.11.

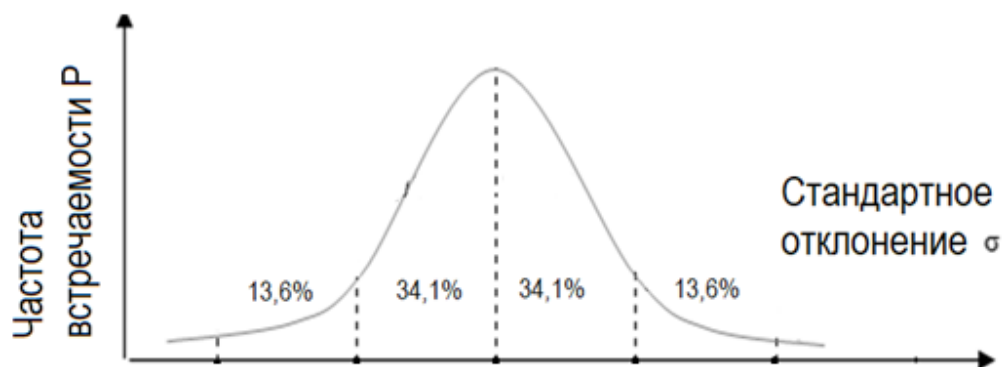


Рисунок 1.11. – Кривая нормального распределения случайной величины

Кроме того, необходимо разработать формулы для перевода фактических значений диагностических показателей на основе десятичной системы исчисления от 0 до 9 баллов» [55]. Преимущества десятичной системы счисления от 0 до 9: простота и интуитивность, что делает диагностирование технического состояния идеальным для повседневного использования в условиях эксплуатации тракторов АПК; отсутствие необходимости вводить новые знаки для записи больших чисел; возможность представлять дробные значения диагностических показателей; наличие алгоритмов для выполнения арифметических операций по определению остаточного ресурса; удобство счёта; сохранение принципа десятичности (каждый следующий разряд в десять раз больше предыдущего); каждая запись числа, характеризующая безразмерную величину диагностических показателей читается однозначно. Исторически десятичная система возникла из-за естественной тенденции людей использовать пальцы рук для счёта, что и обусловило выбор числа 10 (от 0 до 9 баллов) в качестве основания для ограничения минимальных и максимальных значений диагностических показателей в рамках НТД.

Кроме того, необходимо выделить три категории исправного технического состояния: I категория, II категория и III категория технического состояния путём учёта интенсивности изменения диагностических показателей в рамках НТД на основе известных периодов изнашивания сопряжённых деталей.

Для обеспечения наглядности диагностирования необходимо сформировать код общего технического состояния тракторов АПК.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – совершенствование диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе формирования диагностического кода.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие **задачи**:

1. Определить пути уменьшения затрат времени в ремонте тракторов АПК путём совершенствования диагностирования технического состояния на основе диагностического кода.

2. Усовершенствовать способы диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе формирования диагностического кода.
3. Определение остаточного ресурса тракторов АПК.
4. Получить регрессионную зависимость технического состояния современных тракторов АПК от ключевых показателей: температуры охлаждающей жидкости, величин давления и температуры моторного масла.
5. Оценить экономический эффект от внедрения способа диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе формирования диагностического кода.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИРОВАНИЮ ТРАКТОРОВ АПК

Теоретический подход к диагностированию технического состояния тракторов АПК заключается в проведении следующих этапов [62]:

- Разработка новой классификации диагностических показателей по направлению выхода за рамки НТД (например: двигателей внутреннего сгорания) на основе кривой нормального распределения случайной величины [57].

- Разработка теоретических формул по переводу фактических значений диагностических показателей в безразмерную величину от 0 до 9 баллов на основе привязки их минимальных и максимальных значений к стандартному отклонению кривой нормального распределения случайной величины [53, 57].

- Выделение категорий технического состояния в рамках НТД путём определения технического состояния технических объектов и общего технического состояния в целом на основе фактических значений прямых и обратных диагностических показателей в рамках НТД.

- Формирование кода общего технического состояния на основе компоновки следующей диагностической информации: дробь перед скобками: числитель – общее техническое состояние $ТС_{общ}$; знаменатель – категория общего технического состояния. В скобках: диагностические показатели в баллах для каждого технического объекта. Например, в первой скобке представлены диагностические показатели технического объекта №1 – двигатель внутреннего сгорания, диагностические показатели: давление и температура наддувочного воздуха; моторного масла и дизельного топлива.

2.1. Классификация диагностических показателей по направлению выхода за рамки нормативно-технической документации

«Разработка новой классификации диагностических показателей по направлению выхода за рамки НТД основана на кривой нормального распределения случайной величины. Прямыми считаются диагностические

показатели, которые увеличиваясь ухудшают техническое состояние, а обратными – которые уменьшаясь. При этом, прямые диагностические показатели (прямо $\uparrow\uparrow$) совпадают с направлением оси стандартного отклонения, а обратные диагностические показатели (обратно $\uparrow\downarrow$) направлены противоположно оси стандартного отклонения кривой нормального распределения случайной величины» [55].

«Минимальные и максимальные значения прямых диагностических показателей привязываются к стандартному отклонению кривой нормального распределения случайной величины $\pm 3\sigma$ следующим образом:

$$\begin{cases} \text{ПП}_{\min} = M - \delta \\ \text{ПП}_{\max} = M + 2\delta \end{cases} \quad (2.1)$$

Минимальные $\text{ПО}_{\min}$ и максимальные $\text{ПО}_{\max}$ значения обратных диагностических показателей привязываются к стандартному отклонению кривой нормального распределения случайной величины $\pm 3\sigma$ следующим образом:

$$\begin{cases} \text{ПО}_{\min} = M + \delta \\ \text{ПО}_{\max} = M - 2\delta \end{cases} \quad (2.2)$$

Классификация диагностических показателей по направлению выхода за рамки НТД представлена на рисунке 2.1.

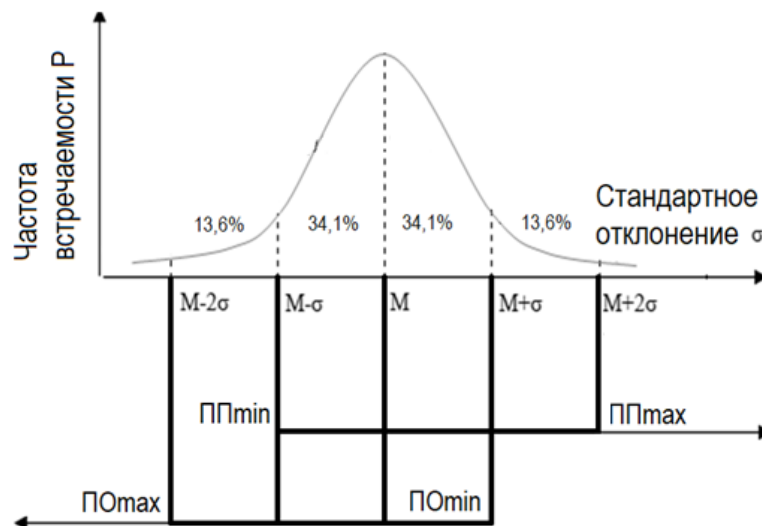


Рисунок 2.1. – Классификация диагностических показателей по направлению выхода за рамки НТД» [57]

«Прямые и обратные диагностические показатели привязываются к баллам от 0 до 9 следующим образом:

$$\begin{cases} \text{ПП}_{\min} = \text{ПО}_{\max} = 0 \text{ балл} \\ \text{ПП}_{\max} = \text{ПО}_{\min} = 9 \text{ балл} \end{cases} \quad (2.3)$$

$\text{ПП}_{\min}$ – минимальные значения прямых диагностических показателей.

$\text{ПП}_{\max}$ – максимальные значения прямых диагностических показателей.

$\text{ПО}_{\min}$ – минимальные значения обратных диагностических показателей.

$\text{ПО}_{\max}$ – максимальные значения обратных диагностических показателей» [57].

Баллы, принадлежащие прямым эксплуатационным показателям, увеличиваются по направлению оси стандартного отклонения (прямо $\rightarrow$). Баллы, принадлежащие обратным эксплуатационным показателям, увеличиваются противоположно направлению оси стандартного отклонения (обратно $\leftarrow$). Соответственно, прямые диагностические показатели выходят за рамки НТД по направлению стандартного отклонения δ (прямо $\rightarrow$), а обратные диагностические показатели - противоположно направлению стандартного направления δ (обратно $\leftarrow$).

2.1.1. Классификация температуры моторного масла по направлению выхода за рамки нормативно – технической документации

Направление выхода температуры моторного масла за рамки НТД основано на увеличении фактических значений при ухудшении технического состояния двигателя. Увеличение температуры моторного масла выше допустимых значений НТД, приводит к уменьшению его вязкости – моторное масло полностью не покрывает трущиеся поверхности сопряжённых деталей, что приводит к увеличению износа и повышению температуры двигателя. При высокой температуре происходит пригорание поршневых колец, задирам на внутренних стенках цилиндров, деформацией деталей и выхода двигателя из строя.

Таким образом, увеличение температуры моторного масла $\uparrow$ приводит к ухудшению технического состояния $\downarrow$ и классифицируется автором как обратный диагностический показатель. При этом, направление оси обратного диагностического показателя не совпадает с направлением оси стандартного отклонения $\uparrow\downarrow$.

Классификация температуры моторного масла по направлению выхода за рамки НТД представлена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2. – Классификация температуры моторного масла по направлению выхода за рамки НТД

2.1.2. Классификация давления моторного масла по направлению выхода за рамки нормативно-технической документации

Направление выхода давления моторного масла за рамки НТД основано на уменьшении фактических значений при ухудшении технического состояния двигателя. Уменьшение давления моторного масла ниже допустимых значений НТД, приводит к недостаточному поступлению моторного масла к трущимся сопряжённым деталям. Поэтому моторное масло полностью не покрывает трущиеся поверхности сопряжённых деталей, что приводит к увеличению износа и повышению температуры двигателя. Таким образом, уменьшение давления моторного масла $\downarrow$ приводит к ухудшению технического состояния $\downarrow$ и классифицируется автором как прямой диагностический показатель. При этом, направление оси обратного диагностического показателя совпадает с направлением оси стандартного отклонения $\downarrow\downarrow$.

Направление давления моторного масла относительно стандартного отклонения представлено на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3. – Классификация давления моторного масла по направлению выхода за рамки НТД

2.2 Ресурс тракторов АПК

Остаточный ресурс характеризует наработку трактора от момента диагностирования технического состояния до наступления его предельного состояния (переход из исправного в неисправное техническое состояние), отказ по определенному диагностическому показателю [21, 57].

«Остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ определяется по формуле:

$$t_{\text{ост}} = t \cdot \left(\alpha \sqrt{\frac{P_{\text{пр}} - P_{\text{нач}}}{P_{\text{факт}} - P_{\text{нач}}}} - 1 \right) \quad (2.4)$$

$P_{\text{нач}}$ – минимальное значение диагностического показателя в рамках НТД.

$P_{\text{пр}}$ – максимальное значение диагностического показателя в рамках НТД.

$P_{\text{факт}}$ – фактическое значение диагностического показателя.

t – наработка (пробег).

α – степень изменения диагностического показателя ($\alpha = 1$ – прямая линия; $\alpha > 1$ – линия выпуклая вверх; $\alpha < 1$ – линия выпуклая вниз)» [57]

«Однако, диагностические показатели имеют разную направленность по их выходу за рамки НТД. Одни диагностические показатели увеличиваясь выходят за рамки максимальных значений (например: температура охлаждающей жидкости), а другие уменьшаясь (например: максимальное

давление в цилиндрах) [78]. Автором разработана классификация диагностических показателей на прямые и обратные на основе кривой нормального распределения случайной величины» [57].

«Остаточный ресурс с учётом направления выхода диагностических показателей за рамки НТД определяется по формуле:

$$t_{\text{ост}}^{\text{балл}} = 9 - \frac{1}{2} \cdot [\sum_{i=1}^n \text{ПП}_{\text{балл}} + \sum_{i=1}^k \text{ПО}_{\text{балл}}], \text{балл} \quad (2.5)$$

$\text{ПП}_{\text{балл}}$ – бальный ресурс для прямых диагностических показателей, балл

$\text{ПО}_{\text{балл}}$ – бальный ресурс для обратных диагностических показателей, балл

n – количество прямых диагностических показателей, шт.

k – количество обратных диагностических показателей, шт» [57].

«Бальный ресурс для прямых диагностических показателей $\text{ПП}_{\text{балл}}$ определяется по формуле:

$$\text{ПП}_{\text{балл}} = \frac{9 \cdot (\text{ПП}_{\text{факт}} - \text{ПП}_{\text{min}})}{\text{ПП}_{\text{max}} - \text{ПП}_{\text{min}}}, \text{балл} \quad (2.6)$$

$\text{ПП}_{\text{факт}}$ – фактические значения прямых диагностических показателей.

ПП_{min} – минимальные значения прямых диагностических показателей.

ПП_{max} – максимальные значения прямых диагностических показателей» [57].

«Бальный ресурс для обратных диагностических показателей $\text{ПО}_{\text{балл}}$ определяется по формуле:

$$\text{ПО}_{\text{балл}} = \frac{9 \cdot (\text{ПО}_{\text{факт}} - \text{ПО}_{\text{max}})}{\text{ПП}_{\text{min}} - \text{ПП}_{\text{max}}}, \text{балл} \quad (2.7)$$

$\text{ПО}_{\text{факт}}$ – фактические значения обратных диагностических показателей.

ПО_{min} – минимальные значения обратных диагностических показателей.

ПО_{max} – максимальные значения обратных диагностических показателей» [57].

«Ресурс тракторов АПК определяется по формуле:

$$t_{\text{общ}} = 8,5 \cdot \left[\sum_{i=1}^n \frac{K_{\text{диагн}} \cdot (\text{ПП}_{\text{факт}} - \text{ПП}_{\text{min}})}{\text{ПП}_{\text{max}} - \text{ПП}_{\text{min}}} + \sum_{i=1}^k \frac{K_{\text{диагн}} \cdot (\text{ПО}_{\text{факт}} - \text{ПО}_{\text{max}})}{\text{ПП}_{\text{min}} - \text{ПП}_{\text{max}}} \right], \text{балл} \quad (2.8)$$

T – константа неопределённость наработки, $T = 8,5$

$$T = K_{\text{диагн}} - \frac{1}{2} = 9 - \frac{1}{2} = 8,5$$

$K_{\text{диагн}}$ – коэффициент направления выхода диагностических показателей,
 $K_{\text{диагн}} = 9$ балл.

$ПП_{\text{факт}}$ – фактические значения прямых диагностических показателей.

$ПО_{\text{факт}}$ – фактические значения обратных диагностических показателей.

$ПП_{\text{min}}$ – минимальные значения прямых диагностических показателей.

$ПО_{\text{min}}$ – минимальные значения обратных диагностических показателей» [57].

«Таким образом, проведены теоретические исследования по прогнозированию ресурса тракторов АПК при неопределённости наработки на основе фактических значений диагностических показателей и их предельных значений (минимальные и максимальные), переведённых в безразмерную величину от 0 до 9 баллов. Прогнозирование предельного значения ресурса, при достижении которого невозможна дальнейшая эксплуатация, основана на выделении категорий исправного технического состояния» [57].

2.3. Формирование диагностического кода тракторов АПК

Формирование диагностического кода технического состояния основано на компоновке следующей диагностической информации: дробь перед скобками: числитель – общее техническое состояние $ТС_{\text{общ}}$; знаменатель – категория общего технического состояния. В скобках: диагностические показатели в баллах для каждого технического объекта [135]. Например, в первой скобке представлены диагностические показатели технического объекта №1 – двигатель внутреннего сгорания, диагностические показатели: давление и температура наддувочного воздуха; моторного масла и дизельного топлива.

2.3.1. Диагностический код двигателей тракторов АПК

Техническое состояние двигателей $ТС_1$ тракторов АПК определяется по формуле:

$$TC_1 = \frac{T_{ож}^1 + T_{мм}^1 + P_{мм}^1}{3} = \frac{3,75 + 4,97 + 4,38}{3} = 4,37 \text{ балл}$$

$T_{ож}^1$ – температура охлаждающей жидкости двигателя, балл.

$T_{мм}^1$ – температура моторного масла двигателя, балл.

$P_{мм}^1$ – давление моторного масла двигателя, балл.

3 – количество диагностических показателей двигателя, шт.

Диагностический код двигателей тракторов АПК составляет:

$$TC_1[T_{ож}^1; T_{мм}^1; P_{мм}^1] = 4,37[3,75; 4,97; 4,38]$$

Таким образом, диагностический код позволяет эффективно определить место неисправности двигателей на примере диагностических показателей (температура охлаждающей жидкости, давление и температура моторного масла) в условиях эксплуатации и принять своевременные решения по проведению комплекса технологических операций и организационных действий для уменьшения затрат на техническое обслуживание и ремонт тракторов АПК [13, 26, 81].

Диагностический код двигателей тракторов АПК представлен на рисунке 2.4.

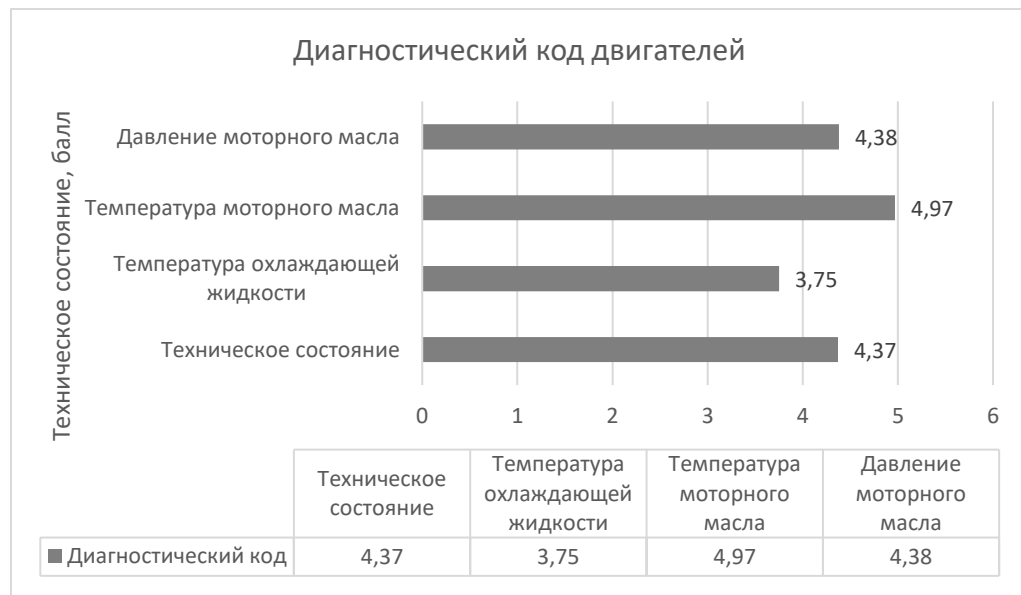


Рисунок 2.4. – Диагностический код двигателей тракторов АПК

2.3.2. Диагностический код технических объектов тракторов АПК

Техническое состояние технических объектов тракторов АПК определяется по формуле:

$$TC_{\text{общ}} = \frac{TC_1 + TC_2 + TC_3 + TC_4 + TC_5}{5} = \frac{4,37 + 5,12 + 8,14 + 7,32 + 6,84}{5} = 6,36 \text{ балл}$$

TC_1 – техническое состояние двигателя, балл.

TC_2 – техническое состояние системы управления, балл.

TC_3 – техническое состояние трансмиссии, балл.

TC_4 – техническое состояние ходовой части, балл.

TC_5 – техническое состояние электрооборудования, балл.

5 – количество технических объектов тракторов АПК, шт.

Диагностический код технических объектов тракторов АПК составляет:

$$TC_{\text{общ}}[TC_1; TC_2; TC_3; TC_4; TC_5] = 6,36[4,37; 5,12; 8,14; 7,32; 6,84]$$

Таким образом, диагностический код технических объектов (двигатель, системы управления, трансмиссия, ходовая часть, электрооборудование) позволяет эффективно определить место неисправности двигателей в условиях эксплуатации и принять своевременные решения по проведению комплекса технологических операций и организационных действий для уменьшения затрат на техническое обслуживание и ремонт тракторов АПК.

Диагностический код технических объектов тракторов АПК представлен на рисунке 2.5.

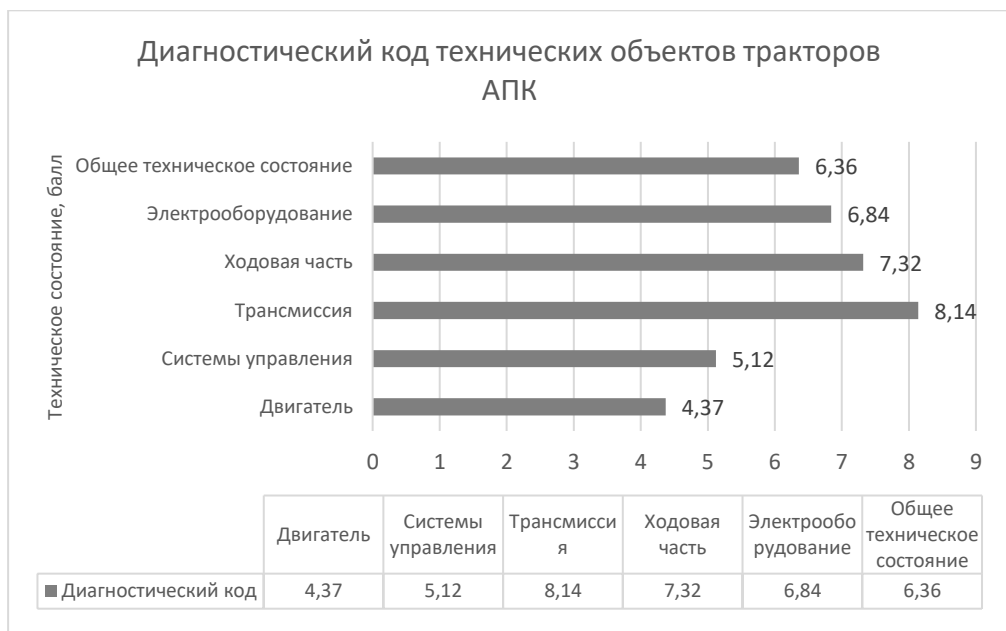


Рисунок 2.5. – Диагностический код технических объектов тракторов АПК

2.3.3. Диагностический код тракторов АПК

Общий диагностический код $\frac{ТС_{общ}(категория)}{t_{общ}}$ тракторов АПК формируется следующим образом:

$$\frac{ТС_{общ}(категория)}{t_{общ}} = ТС_1[T_{ож}^1; T_{мм}^1; P_{мм}^1] \dots ТС_5[T_1^5; T_2^5 \dots P_n^5]$$

$$ТС_1[T_{ож}^1; T_{мм}^1; P_{мм}^1] = 4,37[3,75; 4,97; 4,38]$$

$$\frac{ТС_{общ}(категория)}{t_{общ}} = 4,37[3,75; 4,97; 4,38] \dots ТС_k[ДП_1^k; ДП_2^k \dots ДП_n^k]$$

$ТС_{общ}$ – общее техническое состояние технических объектов, балл.

(категория) – категория технического состояния трактора АПК.

$t_{общ}$ – общий ресурс трактора АПК, балл.

$ТС_1$ – техническое состояние двигателя, балл.

$T_{ож}^1$ – температура охлаждающей жидкости двигателя, балл.

$T_{мм}^1$ – температура моторного масла двигателя, балл.

$P_{мм}^1$ – давление моторного масла двигателя, балл.

$ТС_k[ДП_1^k; ДП_2^k \dots ДП_n^k]$ – техническое состояние k – ого технического объекта.

n – количество диагностических показателей, шт.

k – количество технических объектов, шт.

Таким образом, диагностический код тракторов АПК, состоящий из технических объектов (например: двигатель, системы управления, трансмиссия, ходовая часть, электрооборудование) позволяет эффективно определить место неисправности технических объектов в условиях эксплуатации и принять своевременные решения по проведению комплекса технологических операций и организационных действий для уменьшения затрат на техническое обслуживание и ремонт тракторов АПК.

Диагностический код тракторов АПК представлен на рисунке 2.6.

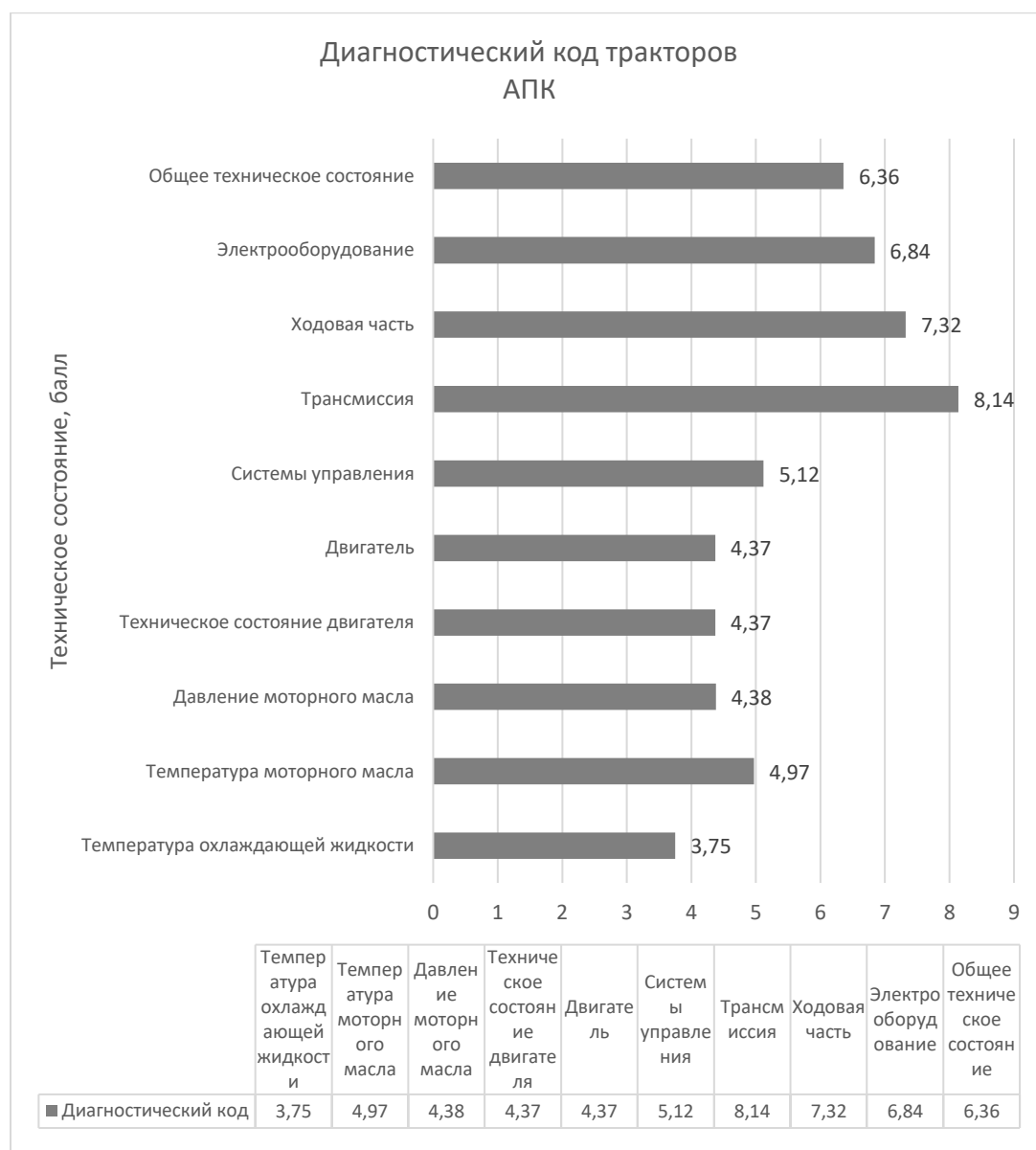


Рисунок 2.6. – Диагностический код тракторов АПК

Таким образом, диагностический код технических объектов (двигатель, системы управления, трансмиссия, ходовая часть, электрооборудование) тракторов АПК позволяет эффективно определить место неисправности двигателей в условиях эксплуатации и принять своевременные решения по проведению комплекса технологических операций и организационных действий для уменьшения затрат на их техническое обслуживание и ремонт.

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 2

«Разработан способ диагностирования технического состояния тракторов в условиях АПК путём формирования диагностического кода: на основе классификации диагностических показателей по направлению выхода

за рамки НТД на прямые и обратные, перевода их фактических значений в безразмерную величину от 0 до 9 баллов: для прямых $ПП_{балл} = \frac{3 \cdot (ПП_{факт} - M_{ПП} + \delta_{ПП})}{\delta_{ПП}}$, балл и обратных показателей: $ПО_{балл} = -\frac{3 \cdot (ПО_{факт} - M_{ПО} - \delta_{ПО})}{\delta_{ПО}}$, балл, выделения категорий исправного технического состояния: I категория: $0 \leq TC_{исп} \leq 3$ баллов (до 30 мото – ч); II категория: $3 < TC_{исп} < 6$ баллов (с 30 до 6700 мото – ч); III категория: $6 \leq TC_{исп} \leq 9$ баллов (с 6700 до 8000 мото – ч), что позволяет прогнозировать выход технического состояния за рамки исправного (III категория: $6 \leq TC_{общ} \leq 9$ баллов)» [56, 111]. Разработанный способ применяется для диагностирования технического состояния тракторов АПК, в том числе современных тракторов, оснащённых бортовыми компьютерами, обладает высокой точностью, наглядностью, универсальностью, учитывает новые диагностические показатели и технический прогресс в области развития сельскохозяйственной техники [88].

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Трактор «Кировец К – 5»

Наиболее перспективным представителем тракторов АПК в санкционных условиях агропромышленного комплекса России, является трактор пятого тягового класса «Кировец К – 5», оснащённый бортовым компьютером. Трактор выполняет комплекс полевых работ: вспашку, культивацию, боронование, лушение, дискование почвы, посадку семян и зерновок, снегозадержание на пашне, а также транспортные работы: буксировку прицепов, перевозку рабочего оборудования, доставку топлива и кормов.

Общий вид трактора «Кировец К – 5», оснащённого бортовым компьютером, представлен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1. – Трактор «Кировец К – 5», оснащённый бортовым компьютером

«Кировец К–5» используется как основное тяговое средство для малых и средних фермерских хозяйств с посевными площадями 500 – 2000 га, однако он может быть интересен и крупным агрохолдингам. «Кировец К–5» снабжен традиционной шарнирно–сочлененной конструкцией, которая обеспечивает

высокую маневренность и проходимость в условиях эксплуатации. «Кировец К–5» отличается от «старших собратьев» меньшими размерами – трактор вписывается в дорожный габарит, что позволяет эксплуатировать его на дорогах общего пользования. Эксплуатационная масса 10 500 кг (без дополнительного балласта на одинарных колесах), максимально допустимая масса до 14 600 кг. Кабина «КОМФОРТ ПЛЮС» со встроенным защитным каркасом, цельнометаллическая, двухместная, герметичная, с отоплением, вентиляцией и кондиционером.

В качестве силового агрегата используется разработанный на «Ярославском моторном заводе» дизельный двигатель ЯМЗ – 53645, который работает в паре с автоматизированной коробкой передач Т5 и системой управления трансмиссией «КОМАНДПОСТ – 2». Коробка передач имеет 16 ступеней переднего и 8 ступеней заднего хода, что позволяет подбирать оптимальные режимы движения при выполнении сельскохозяйственных работ. Система бортового компьютера «КИРОВЕЦ – АГРОМОНИТОР».

Трактор «Кировец К – 5» производится АО «Петербургский тракторный завод» (ПТЗ), который входит в группу компаний ПАО «Кировский завод» и расположен в городе Санкт – Петербург и Ленинградской области. В линейке тракторов «Кировец К – 5» выпускаются следующие модели [9]:

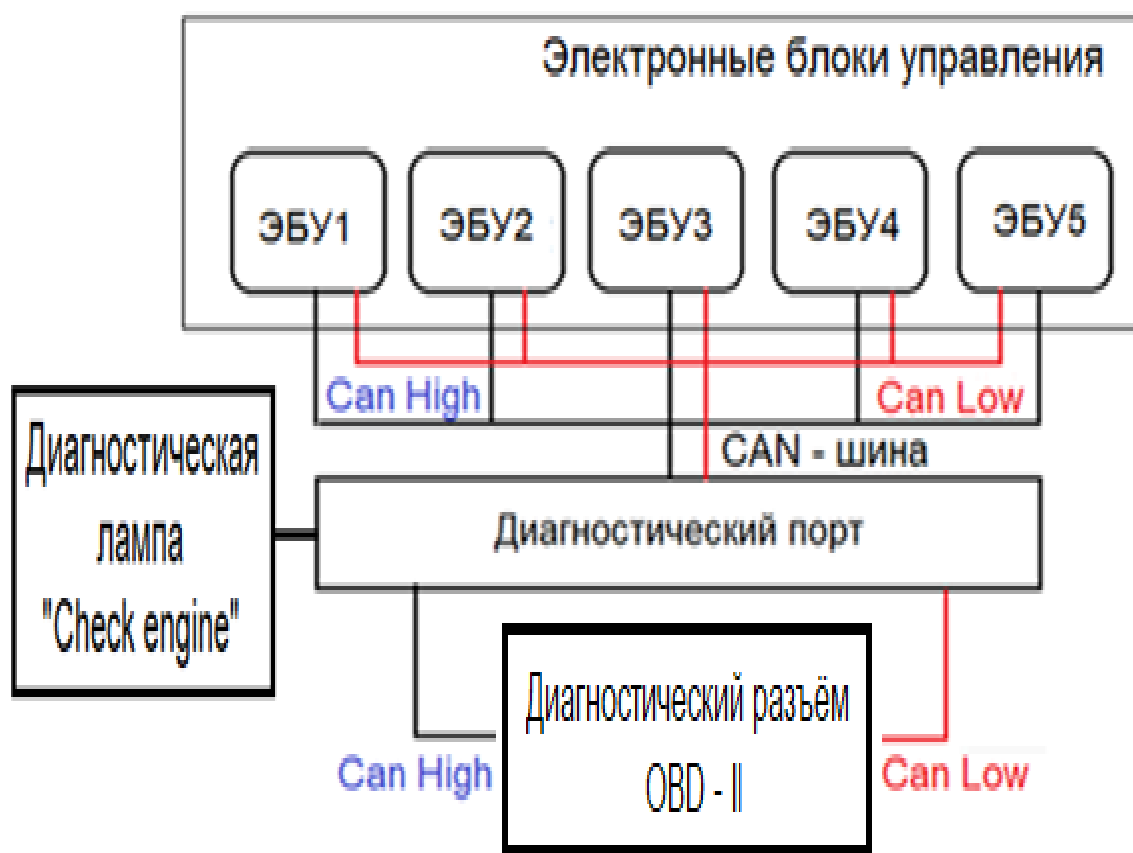
- К – 525 с дизельным двигателем серии ЯМЗ – 530 мощностью 250 л.с. с четырех диапазонной автоматической трансмиссией Т5.
- К – 525 с дизельным двигателем серии ЯМЗ – 530 мощностью 250 л.с. с двух диапазонной автоматической трансмиссией Т5 – А.
- К – 530Т с дизельным двигателем серии ЯМЗ – 530 мощностью 300 л.с. с четырех диапазонной автоматической трансмиссией Т5.

3.1.1. Бортовой компьютер трактора «Кировец К – 5» с электронными блоками управления техническими объектами

Бортовой компьютер содержит электронные блоки управления техническими объектами (например: двигатель), диагностический порт, диагностический разъем и диагностическую лампу «Check engine».

Электронные блоки управления (ЭБУ1; ЭБУ2; ЭБУ3; ЭБУ4; ЭБУ5) управляют работой технических объектов (например: двигатель внутреннего сгорания, коробка передач) и обмениваются диагностической информацией посредством CAN – шины и диагностического порта [1, 30]. Передача диагностических кодов осуществляется через диагностический разъём посредством диагностического тестера «АСКАН – 10».

«Электрическая схема бортового компьютера трактора «Кировец К – 5» представлена на рисунке 3.2.



1 – электронный блок управления двигателем; 2 – электронный блок управления системами управления; 3 – электронный блок управления трансмиссией; 4 – электронный блок управления ходовой частью; 5 – электронный блок управления электрооборудованием.

Рисунок 3.2. – Электрическая схема бортового компьютера трактора «Кировец К – 5»

Передача цифровых сигналов бортового компьютера «Кировец К – 5» с CAN – шиной представлена на рисунке 3.3.

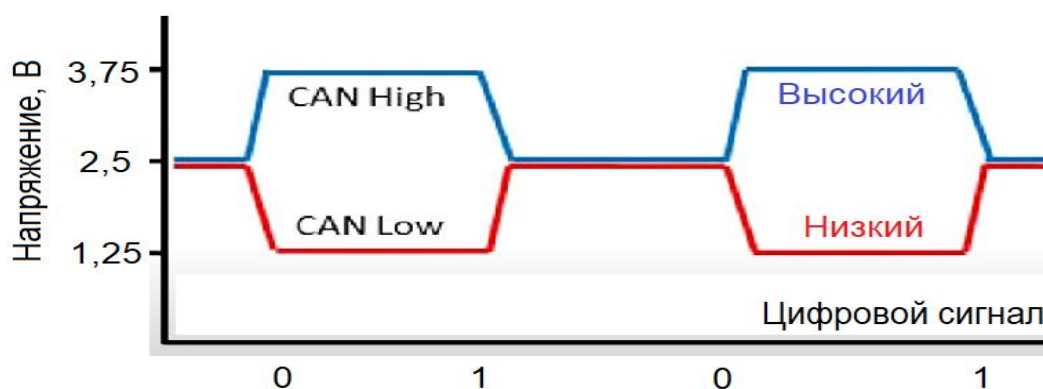


Рисунок 3.3. – Передача цифровых сигналов бортового компьютера «Кировец К – 5» с CAN – шиной

CAN – шина является стандартом промышленной сети, который предназначен для объединения электронных блоков управления в единую сеть путём дифференциальной передачи цифровых сигналов. Для передачи используются два провода: CAN – High (высокий уровень напряжения) и CAN – Low (низкий уровень напряжения). Цифровой сигнал передаётся на основе разницы между напряжениями проводов: CAN – High: $V_H = 3,75$ В и CAN – Low: $V_L = 1,25$ В. Дифференциальная передача цифровых сигналов с CAN – шиной позволяет исключить влияние внешних помех и повысить качество передачи цифровых сигналов между электронными блоками управления (ЭБУ1; ЭБУ 2; ЭБУ3; ЭБУ4; ЭБУ5)» [4, 34, 39, 56, 134].

При обнаружении неисправности на диагностическую лампу «Check engine». Код ошибки записывается в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), предназначенное для текущей информации. Диагностическая лампа «Check engine» сигнализирует о неисправностях в электронной блоке управления двигателем. При включении зажигания «Check engine» горит – проверяется бортовой компьютер. После запуска двигателя «Check engine» гаснет, если не обнаружены неисправности. «Check engine» загорается при появлении неисправностей в ЭБУД. В этом случае в память бортового компьютера (регистратор неисправностей) заносится соответствующий код

ошибки. «Check engine» гаснет, если неисправность устранена и более не обнаруживается или когда стираются коды ошибок [5, 35, 36, 38].

«При обнаружении пропусков воспламенения в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания «Check engine» мигает. В памяти ЭБУ (в регистраторе неисправностей) сохраняются диагностические коды текущих неисправностей и однократных неисправностей, которые были обнаружены ранее, но в данный момент не проявляются. Если при возникновении какой – либо неисправности (постоянной или непостоянной) в регистратор неисправности записывается однозначный код – код неисправности, который возникает под непосредственным воздействием конкретной неисправности и присущий только ей. Некоторые неисправности воздействуют на систему самодиагностики не прямо, а через изменения параметров в ЭБУ. Такие неисправности не имеют прямого кода для фиксации в регистраторе неисправностей и вызывают нарушение штатного режима работы системы самодиагностики. Как следствие в регистратор неисправностей, записывается код неисправности, который указывает на несколько возможных неисправностей в разных технических системах» [20, 24].

3.1.2. Дизельный двигатель ЯМЗ – 53645 трактора «Кировец К – 5»

«Техническая характеристика дизельного двигателя ЯМЗ – 53645:

- Четырехтактный с воспламенением от сжатия.
- Количество цилиндров, шт.: 6
- Расположение цилиндров: рядное
- Порядок работы цилиндров: 1 – 5 – 3 – 6 – 2 – 4
- Диаметр цилиндра, мм: 105
- Рабочий объём цилиндров, л: 6,65
- Количество клапанов на один цилиндр: Два впускных и два выпускных.
- Направление вращения коленчатого вала: правое
- Ход поршня, мм: 128
- Степень сжатия: 17,5
- Номинальная мощность, кВт (л.с.): 210 (285)

- Частота вращения коленчатого вала (при номинальной мощности), мин⁻¹: 2300±25
- Максимальный крутящий момент, Н·м (кгс·м): 1130 (115)
- Система наддува: газотурбинная с охлаждением надувочного воздуха в теплообменнике типа «воздух – воздух».
- Турбокомпрессор: с радиальной турбиной и центробежным компрессором.
- Способ смесеобразования: непосредственный впрыск.
- Топливная система типа Common – Rail (аккумуляторного типа, давление впрыска топлива 180 МПа (1800 кгс/см²).
- Система смазки: смешанная с «мокрым картером».
- Система охлаждения жидкостная закрытого типа.
- Насос масляный: шестерёнчатого типа» [19].

Системы дизельного двигателя ЯМЗ – 53645 представлены на рисунке 3.4.

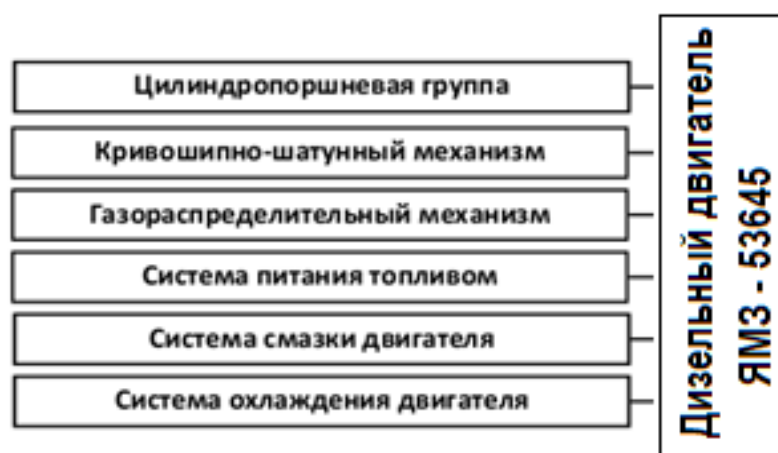


Рисунок 3.4. –Системы дизельного двигателя ЯМЗ – 53645

«Места установки датчиков на двигателях семейства ЯМЗ – 530 представлены на следующих рисунках. Для лучшего восприятия виды двигателя несколько упрощены. Расположение датчиков на конкретных двигателях может отличаться от того, что показано на рисунке, и зависит от назначения двигателя. В настоящем исследовании использовались диагностические показатели, снятые со следующих датчиков: датчик

температуры охлаждающей жидкости, датчик температуры и давления моторного масла» [28, 29].

Датчики для измерений диагностических показателей дизельного двигателя ЯМЗ – 53645 представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. – Датчики для измерений диагностических показателей дизельного двигателя ЯМЗ – 53645

№	Тип датчика	Обозначение	Примечание
1.	Датчик давления и температуры моторного масла	DS – K – TF (5340.11305520261230112)	Пьезорезистивный датчик давления с NTC – резистором датчиком температуры
2.	Датчик температуры охлаждающей жидкости	DS – K – TF (5340.11305520261230112)	Терморезисторный датчик

Диапазон измерений диагностических показателей дизельного двигателя ЯМЗ – 53645 представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2. – Диапазон измерений диагностических показателей дизельного двигателя ЯМЗ – 53645

№	Тип датчика	Диапазон измерений	Примечание
1.	Датчик давления и температуры моторного масла	Давление: 50 – 1000 кПа Температура: от – 40 до +125 ⁰ С	Измеряет давление и температуру после сервисного модуля
2.	Датчик температуры охлаждающей жидкости	Температура: от – 40 до +130 ⁰ С	Измеряет температуру в системе охлаждения двигателей

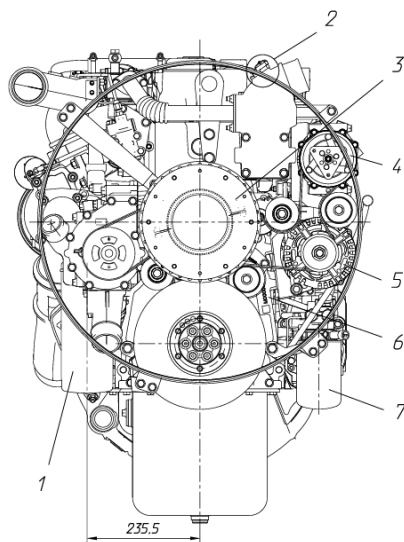
Реакция бортового компьютера в случае выхода диагностических показателей дизельного двигателя ЯМЗ – 53645 за рамки НТД представлена в таблице 3.3 [64].

Таблица 3.3. – Реакция бортового компьютера в случае выхода диагностических показателей дизельного двигателя ЯМЗ – 53645 за рамки НТД

№	Тип датчика	Реакция бортового компьютера в случае выхода диагностических показателей за рамки НТД
1.	Датчик давления и температуры моторного масла	– Включается диагностическая лампа «Check engine». – Назначается давление 6 кПа – Температура моторного масла приравнивается к температуре охлаждающей жидкости

2.	Датчик температуры охлаждающей жидкости	– Включается диагностическая лампа «Check engine». – Температура охлаждающей жидкости приравнивается к температуре моторного масла
----	---	---

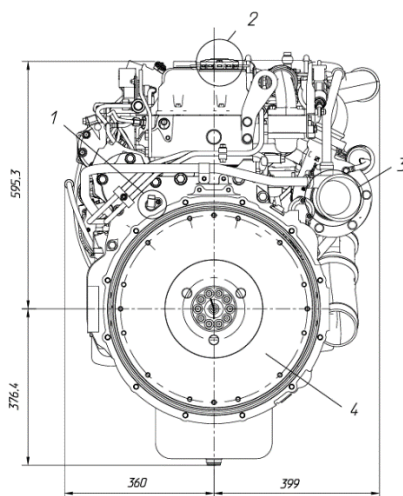
«Общий вид дизельного двигателя ЯМЗ – 53645 (вид спереди) трактора «Кировец К – 5» представлен на рисунке 3.5 [19].



- 1 – фильтр масляный; 2 – датчик давления и температуры наддувочного воздуха;
 3 – вязкостная муфта включения вентилятора; 4 – компрессор кондиционера;
 5 – генератор; 6 – место маркировки серийного номера двигателя;
 7 – фильтр тонкой очистки топлива

Рисунок 3.5. –Общий вид дизельного двигателя ЯМЗ – 53645 (вид спереди) трактора «Кировец К – 5»» [19]

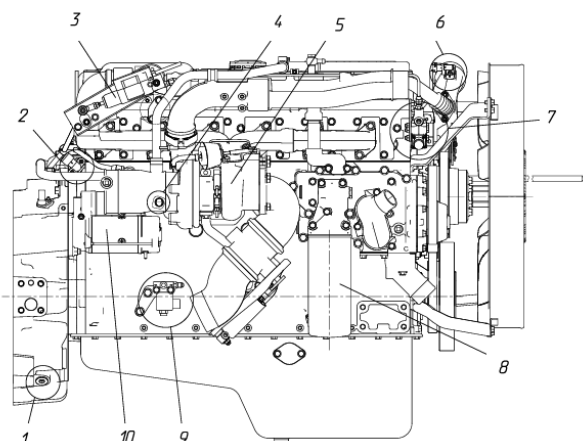
«Дизельный двигатель ЯМЗ – 53645 (вид сзади) трактора «Кировец К – 5» представлен на рисунке 3.6 [19].



- 1 – датчик частоты вращения распределительного вала; 2 – система вентиляции картера; 3 – подвод воздуха к турбокомпрессору; 4 – маховик

Рисунок 3.6. – Дизельный двигатель ЯМЗ – 53645 (вид сзади) трактора «Кировец К – 5»» [19]

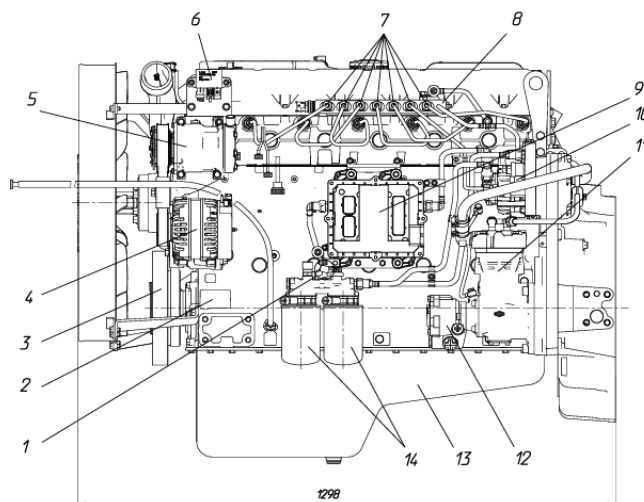
«Дизельный двигатель ЯМЗ – 53645 (вид справа) трактора «Кировец К – 5» представлен на рисунке 3.7 [19].



1 – смотровой лючок механизма проворота коленчатого вала; 2 – датчик давления и температуры моторного масла; 3 – управление заслонкой рециркуляции отработавших газов EGR; 4 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 5 – турбокомпрессор; 6 – датчик давления и температуры наддувочного воздуха; 7 – пневмоклапан управления заслонкой EGR; 8 – фильтр масляный; 9 – пневмоклапан управления заслонкой моторного тормоза; 10 – стартер

Рисунок 3.7. – Дизельный двигатель ЯМЗ – 53645 (вид справа) трактора «Кировец К – 5» [19]

«Дизельный двигатель ЯМЗ – 536 (вид слева) трактора «Кировец К – 5» представлен на рисунке 3.8 [19].



1 – датчик давления и температуры дизельного топлива; 2 – место установки заводской таблички; 3 – гаситель крутильных колебаний; 4 – генератор; 5 – компрессор кондиционера; 6 – реле предпускового подогревателя; 7 – топливные трубки высокого давления; 8 – рампа; 9 – электронный блок управления; 10 – насос топливный высокого давления; 11 – компрессор пневмотормозов; 12 – насос гидроусилителя руля (НГУР); 13 – картер масляный; 14 – фильтр тонкой очистки топлива

Рисунок 3.8. – Дизельный двигатель ЯМЗ – 536 (вид слева) трактора «Кировец К – 5» [19]

3.1.3. Электронный блок управления дизельным двигателем ЯМЗ – 53645 трактора «Кировец К – 5»

Электронный блок управления дизельным двигателем ЯМЗ – 53645 трактора «Кировец К – 5» представлен на рисунке 3.9.

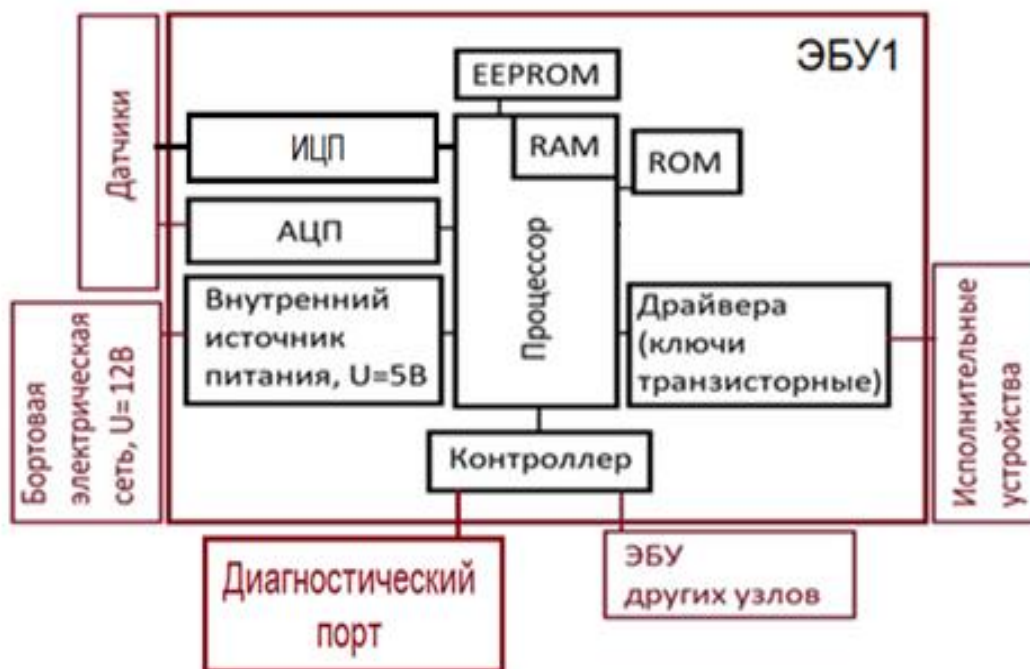


Рисунок 3.9. – Электронный блок управления двигателем ЯМЗ – 53645 трактора «Кировец К – 5»

Дизельный двигатель ЯМЗ – 53645 трактора «Кировец К – 5», оснащён электронным блоком управления, который содержит следующие элементы [41, 123, 136, 137]:

- Процессор – это электронное устройство, запрограммированное заводом – изготовителем программой «прошивка»
- Память процессора (RAM; ROM; EEPROM)
- Питание процессора от бортовой электрической сети, а при выключенном двигателе от внутреннего источника питания.
- Аналого-цифровые и индуктивно-цифровые преобразователи для преобразования сигналов от датчиков (аналоговые; индуктивные) в цифровые сигналы (прямоугольные TTL импульсы)
- Драйвера с транзитными ключами для запуска исполнительных механизмов.

- Контроллёр для передачи диагностической информации на другие электронные блоки управления, в диагностический порт бортового компьютера.

3.2. Диагностический тестер «АСКАН – 10»

Для диагностирования технического состояния «Кировец К – 5» применяется диагностический тестер «АСКАН – 10» – новое поколение диагностических тестеров электронных блоков управления двигателями (ЭБУД) от российского производителя с системой ЭРА–ГЛОНАСС. АСКАН – 10 является наиболее дешевым, доступным и широко распространенным диагностическим тестером [19, 22, 104, 106, 110]. «АСКАН – 10» диагностирует современные трактора, оснащённые бортовыми компьютерами с электронными блоками управления бензиновыми и дизельными двигателями ЗМЗ, УМЗ, КАМАЗ, ММЗ, Cummins, ЯМЗ, в том числе EDC7 BOSCH на двигателях семейства ЯМЗ – 530 (ЯМЗ – 53645), а также системы ABS, ESP. АСКАН – 10 производит считывание фактических значений диагностических показателей с электронных блоков управления, оснащённых датчиками и памяти ошибок (неисправностей). Диагностическая информация выводится на дисплей тестера или внешний компьютер. Технические характеристики АСКАН – 10:

- Напряжение бортовой сети – 12В или 24В.
- Объем памяти для хранения модулей – 32 МВ.
- Протокол обмена– K – line (ISO 9141, ISO 14230), CAN 2.0, SAE J1850.
- Протокол обмена с ПК – RS232, USB 1.1.

Диагностический тестер АСКАН – 10 имеет дисплей с русифицированным интерфейсом и подключается к диагностическому разъему OBD – II трактора «Кировец К – 5» с помощью кабеля ДК – 5.

Диагностический тестер АСКАН – 10 для диагностирования технического состояния трактора «Кировец К – 5» представлен на рисунке 3.10.



Рисунок 3.10. – Диагностический тестер АСКАН–10 для диагностирования технического состояния трактора «Кировец К – 5»

Кабель ДК – 5 для подключения диагностического тестера «АСКАН – 10» к диагностическому разъёму OBD – II трактора «Кировец К – 5» представлен на рисунке 3.11.



Рисунок 3.11. – Кабель ДК – 5 для подключения диагностического тестера «АСКАН – 10» к диагностическому разъёму OBD–II трактора «Кировец К – 5»

Диагностический тестер «АСКАН – 10» позволяет [19, 56]:

- Диагностировать и перепрограммировать электронные блоки управления.
- Считывать диагностические показатели в виде выходных сигналов с датчиков, которые установлены на технических объектах (например: двигатель внутреннего сгорания).

- Выводить на дисплей графики диагностических показателей в реальном масштабе времени.
- Записывать в память диагностические показатели с дискретностью 0,2 сек.
- Считывать и стирать коды неисправностей (активные, пассивные).
- Считывать информацию о техническом обслуживании и ремонте технических объектов.
- Управлять исполнительными механизмами: реле (например: реле электронасоса); соленоиды (например: соленоид клапана продувки адсорбера, соленоид клапана рециркуляции выхлопных газов); электромагнитные форсунки; регулятор холостого хода [103].

Программное обеспечение диагностического тестера «АСКАН-10» это «Bosch EDC7 ЯМЗ», в которое встроена защита от несанкционированного использования. Защита разблокируется при введении корректного кода регистрации, индивидуального для каждого диагностического тестера. «Состав программного обеспечения «Bosch EDC7 ЯМЗ» [37, 40]:

- Программа «EDCDiags» предназначена для получения диагностической информации ЭБУ, мониторинга параметров ЭБУ в режиме реального времени с возможностью графического отображения информации, записи параметров путем загрузки в ЭБУ специально подготовленных производителем калибровочных данных.
- Программа «EDCFlasher» предназначена для программирования электронных блоков, которое производится при обновлении версии программы или калибровочных данных либо при установке на двигатель нового электронного блока управления.

В случае программирования ЭБУ EDC7 двигателей семейства ЯМЗ-530 следует обращаться в управление гарантийного и сервисного обслуживания ОАО «Автодизель» (ЯМЗ). Контакты размещены на сайте www.service.powertrain.ru. Прошивочные модули предоставляются сервисным организациям только под конкретный двигатель после обращения в службу технической поддержки ОАО «Автодизель» по электронной почте

LvitsynAL@gaz.ru и KoltsovDV@gaz.ru. Необходимо указать модель и номера двигателя, причины, по которой необходимо перепрошить ЭБУД. Данное ограничение связано с постоянной доработкой программного обеспечения двигателей семейства ЯМЗ – 530» [6, 19].

3.3. Методика исследования температуры и давления моторного масла

Система смазки двигателя принудительно подаёт моторное масло между сопряжёнными деталями под высоким давлением, которое должно соответствовать $2 - 4 \text{ кг/см}^2$ ($200 - 400 \text{ кПа}$) или $0,7 \text{ кг/см}^2$ на каждые 1000 об/мин скорости вращения коленчатого вала и создаётся масляным насосом.

Высокое давление формируется на холодном двигателе, поскольку холодное моторное масло обладает высокой вязкостью. Низкое давление – когда двигатель прогревается до рабочей температуры, поскольку нагретое моторное масло обладает низкой вязкостью. Кроме того, низкое давление формируется на холостом ходу, а высокое при высоких оборотах коленчатого вала.

Давление моторного масла ниже значений НТД приводит к перегреву двигателя, при этом изменяются температурные условия охлаждения моторного масла, что приводит к износу и пригоранию сопряжённых деталей, заклиниванию и выхода двигателя из строя, что требует дорогостоящего капитального ремонта [71, 117].

Выходной сигнал по напряжению лежит в диапазоне $0,5 - 4,5 \text{ В}$ и подается в ЭБУД, где рассчитывается величина давления.

Параметры датчика температуры:

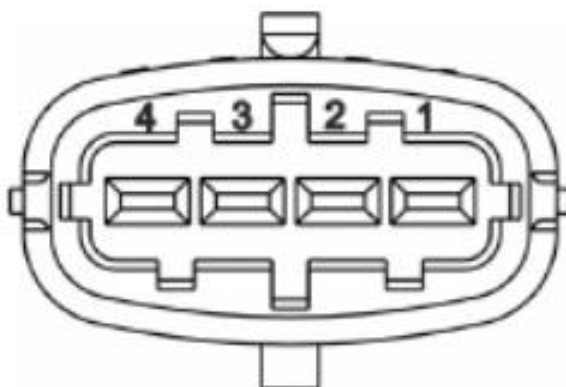
- Температурный диапазон: минус $40 -$ плюс $125 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Номинальное напряжение: через последовательное сопротивление 1 кОм от источника питания 5 В или от источника постоянного тока $\leq 1 \text{ мА}$ для измерительных целей
- Номинальное сопротивление при $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$: $2,5 \text{ кОм} \pm 6\%$
- Нижний допуск при $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$: $0,186 \text{ кОм} \pm 2\%$

Датчик температуры и давления моторного масла представлен на рисунке 3.15.



Рисунок 3.15. – Датчик температуры и давления моторного масла

Диагностический разъём разъёма датчика давления и температуры масла представлен на рисунке 3.16.



1 – контакт массы; 2 – контакт выходного сигнала температуры; 3 – контакт питания;
4 – контакт выходного сигнала давления

Рисунок 3.16. – Диагностический разъём разъёма датчика давления и температуры масла

Пределы диагностических показателей диагностических показателей (давление и температура моторного масла) представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. –Пределы диагностических показателей диагностических показателей (давление и температура моторного масла)

№	Диагностические показатели	Предельные значения		
		Min	Ном.	Max
1.	Давление моторного масла, P_{MM} , кПа	50,00	–	1000,00
2.	Температура моторного масла, T_{MM} , °C	– 40,00	–	+125,00
3.	Напряжение питания, U_s , В	4,45	5,00	5,25
4.	Ток питания, I_s , мА при $U_s = 5В$	6,00	9,00	12,5

5.	Ток выходной нагрузки I_L , мА	– 1,00	–	0,5
6.	Сопротивление R, Ом при $U_s = 5В$	5,00	–	–

Зависимость сопротивления от температуры моторного масла представлена в таблице 3.5.

Таблица 3.5. – Зависимость сопротивления от температуры моторного масла

$T_{mm}, ^\circ C$	Сопротивление, Ом			$T_{mm}, ^\circ C$	Сопротивление, Ом		
	Min	Ном.	Max		Min	Ном.	Max
– 40	43076	45303	47529	45	959,0	987,0	1016
– 35	32643	34273	35902	50	810,5	833,8	857,0
– 30	24907	26108	27309	55	683,7	702,7	721,7
– 25	19108	19999	20889	60	579,7	595,4	611,0
– 20	14792	15458	16124	65	495,3	508,2	521,1
– 15	11499	12000	12501	70	424,9	435,6	446,4
– 10	9015	9395	9775	75	365,2	374,1	383,1
– 5	7123	7413	7704	80	315,0	322,5	329,9
0	5671	5895	6118	85	273,2	279,5	285,8
5	4537	4711	4884	90	237,8	243,1	248,4
10	3656	3791	3927	95	208,1	212,6	217,1
15	2962	3068	3174	100	182,9	186,6	190,3
20	2416	2499	2583	110	141,0	144,2	147,3
25	1990	2056	2123	115	124,4	127,3	130,1
30	1653	1706	1760	120	110,1	141,0	144,2
35	1368	1411	1455	125	97,81	100,2	102,5
40	1139	1174	1209	130	87,13	89,28	91,43

Зависимость выходного напряжения от давления датчика моторного масла при $U_s = 5,0 В$ представлена на рисунке 3.17.

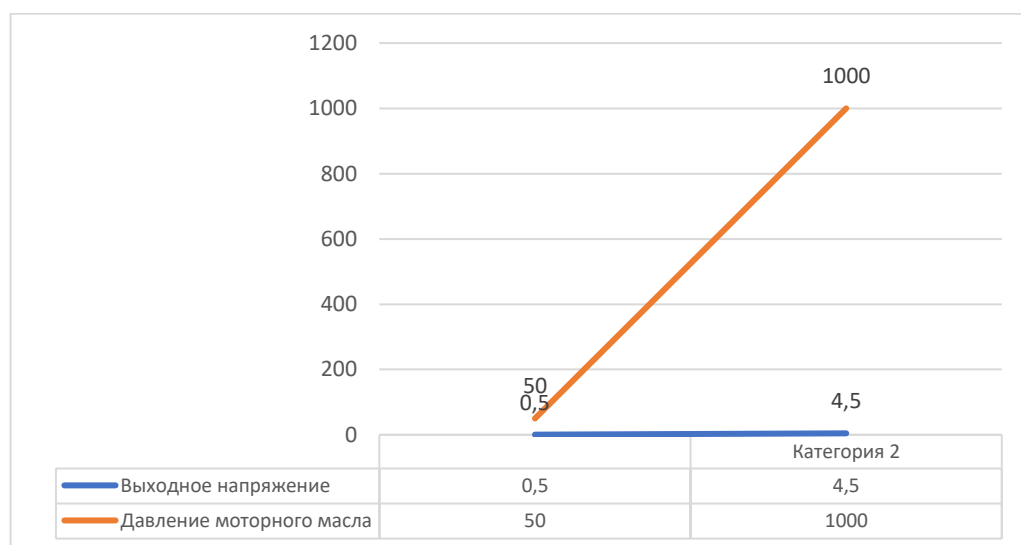


Рисунок 3.17. – Зависимость выходного напряжения от давления датчика моторного масла при $U_s = 5,0 В$

Зависимость сопротивления от температуры моторного масла при $U_s = 5,0$ В представлена на рисунке 3.18.

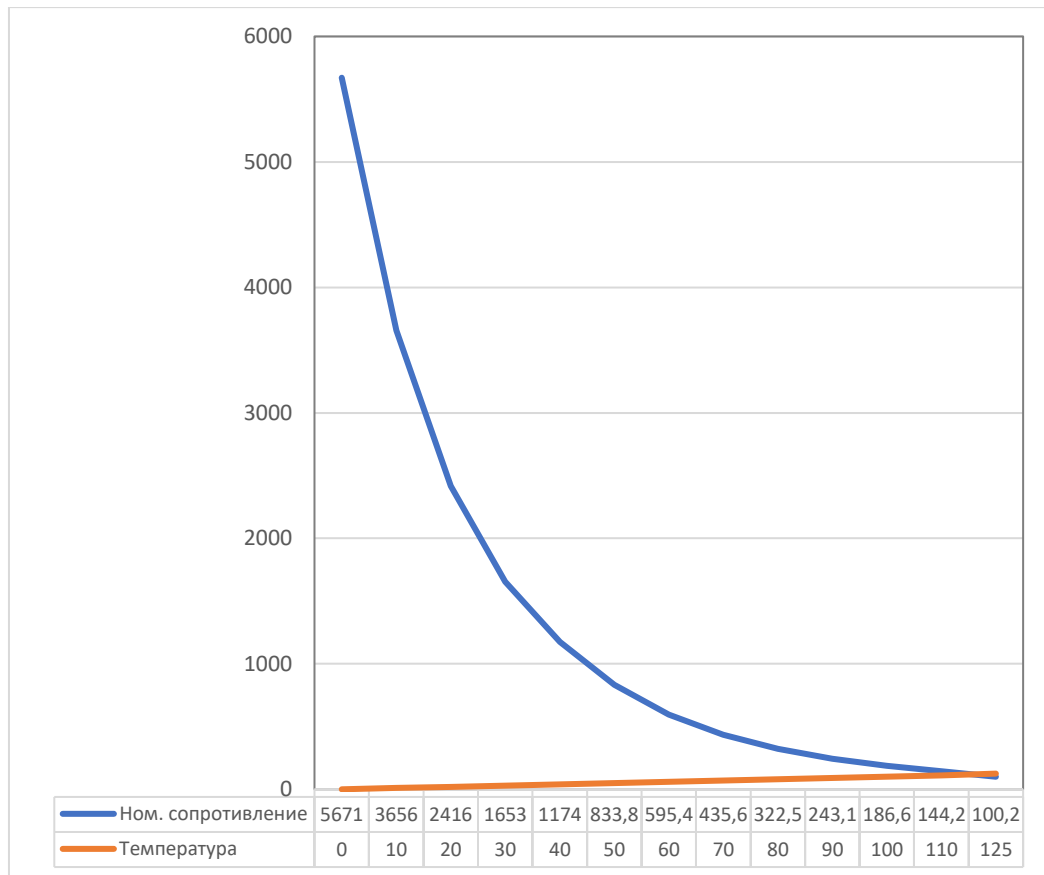


Рисунок 3.18. – Зависимость сопротивления от температуры моторного масла при $U_s = 5,0$ В

«При отказе датчика давления и температуры масла ЭБУ сигнализирует об ошибке посредством диагностической лампы. При отказе датчика давления ЭБУ устанавливает давление масла равное 6 кПа, а при отказе датчика температуры – температуру масла равную температуре ОЖ. Отказ датчика давления или температуры масла в двигателе не ведет к аварийному останову и не ограничивает мощность и частоту вращения двигателя. ЭБУ выдает команду на снижение мощности двигателя в случае перегрева двигателя по температуре масла. Порог температуры до 120°C. Чем выше температура масла, тем больше ограничивается мощность двигателя. Значение давления, при котором выдается данное предупреждение, зависит от частоты вращения коленчатого вала. В случае если двигатель работает при значениях давления масла ниже допустимых, мощность двигателя ограничивается» [29, 82].

Последовательность методики [29]:

- Подключить диагностический тестер «АСКАН – 10» с помощью кабеля ДК – 5 к диагностическому разъёму OBD – II трактора «Кировец К – 5». Ключ выключателя приборов и стартера должен находиться в положении «0» – питание выключено.
- Установить ключ выключателя приборов и стартера в положение «I» – приборы включены для установления связи между диагностическим тестером «АСКАН – 10» и бортовым компьютером трактора «Кировец К – 5», что отразится на дисплее.
- Считать фактические значения диагностических показателей с ЭБУД (температура охлаждающей жидкости, давление и температура моторного масла).
- При выключенном питании (ключ выключателя приборов и стартера находится в положении «0») сохранить диагностическую информацию, считанную из памяти ЭБУД на внешний компьютер).
- В случае выявления неисправностей необходимо осуществить их поиск с помощью дополнительного диагностического оборудования (например: мотор – тестер) и опыта диагноста. После устранения неисправностей необходимо удалить все ошибки из ЭБУД и провести повторную компьютерную диагностику.
- При выключенном питании (ключ выключателя приборов и стартера находится в положении «0») по окончании повторной компьютерной диагностики не ранее чем через 25 сек выключить «массу» и отключить диагностический тестер «АСКАН – 10».

3.4. Методика формирования диагностического кода дизельного двигателя ЯМЗ – 53645

«Перевод фактических значений прямых диагностических показателей в безразмерную величину осуществляется по формуле:

$$ПП_{\text{без}} = \frac{9 \cdot (ПП_{\text{факт}} - ПП_{\text{min}})}{ПП_{\text{max}} - ПП_{\text{min}}}, \text{ балл} \quad (3.1)$$

$ПП_{\text{факт}}$ – фактическое значение прямого диагностического показателя

$ПП_{\text{min}}$ – минимальное значение прямого диагностического показателя

$ПП_{\text{max}}$ – максимальное значение прямого диагностического показателя

Перевод фактических значений обратных диагностических показателей в безразмерную величину осуществляется по формуле:

$$ПО_{\text{без}} = \frac{9 \cdot (ПО_{\text{факт}} - ПО_{\text{max}})}{ПО_{\text{min}} - ПО_{\text{max}}}, \text{ балл} \quad (3.2)$$

$ПО_{\text{факт}}$ – фактическое значение обратного диагностического показателя

$ПО_{\text{min}}$ – минимальное значение обратного диагностического показателя

$ПО_{\text{max}}$ – максимальное значение обратного диагностического показателя»

[55, 57]

Формирование кода общего технического состояния основано на компоновке следующей диагностической информации: дробь перед скобками: числитель – общее техническое состояние $ТС_{\text{общ}}$; знаменатель – категория общего технического состояния. В скобках: диагностические показатели в баллах для каждого технического объекта. Например, в первой скобке представлены диагностические показатели технического объекта №1 – двигатель внутреннего сгорания, диагностические показатели: давление и температура наддувочного воздуха; моторного масла и дизельного топлива.

Диагностический код технического состояния формируется следующим образом:

$$\frac{ТС_{\text{общ}}}{\text{№ категории}} = \text{№1} \left[\frac{ПП_1^1; ПП_2^1; \dots ПП_n^1}{ПО_1^1; ПО_2^1; \dots ПО_k^1} \right] \dots \text{№N} \left[\frac{ПП_1^N; ПП_2^N; \dots ПП_n^N}{ПО_1^N; ПО_2^N; \dots ПО_k^N} \right]$$

$ТС_{\text{общ}}$ – общее техническое состояние трактора, балл

№ категории – номер категории технического состояния трактора

$\text{№1} \left[\frac{ПП_1^1; ПП_2^1; \dots ПП_n^1}{ПО_1^1; ПО_2^1; \dots ПО_k^1} \right]$ – номер технического объекта (например: двигатель внутреннего сгорания) трактора

$ПП_1^1; ПП_2^1; \dots ПП_n^1$ – прямые диагностические показатели, балл.

n – количество прямых диагностических показателей, шт.

$ПО_1^1; ПО_2^1; \dots ПО_k^1$ – обратные диагностические показатели, балл

k – количество прямых диагностических показателей, шт.

Код общего технического состояния включает оценку и номер категории общего технического состояния, а также диагностические показатели для каждого технического объекта (например: двигатель), что позволяет эффективно определить место неисправности и принять своевременные решения по проведению комплекса технологических операций и организационных действий (техническое обслуживание и ремонт) для поддержания исправного технического состояния в условиях эксплуатации [56, 91].

3.5. Методика планирования многофакторного эксперимента

Статистическая обработка данных. Средние значения $\bar{x}$ наблюдаемых данных при проведении многофакторного эксперимента определяются по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.3)$$

x_i – наблюдаемое i – ое значение.

n – количество наблюдаемых значений.

Исправленное среднее квадратичное отклонение S наблюдаемых значений определяется по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i - \bar{x}}{n}} \quad (3.4)$$

x_i – наблюдаемое i – ое значение.

n – количество наблюдаемых значений.

Соответствие эмпирического закона распределения гипотетическому проверяли по критерию Пирсона χ^2 при уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы $k = s - 3$, где s – количество интервалов построенных гистограмм.

Эмпирический закон распределения соответствует гипотетическому при условии:

$$\chi_{\text{набл}}^2 < \chi_{\text{крит}}^2 \quad (3.5)$$

Для оценки точности измерений определяем абсолютную и относительную погрешности. Абсолютная погрешность Δx_i определяется по формуле [57]:

$$\Delta x_i = x - x_i \quad (3.6)$$

Относительная погрешность ε определяется по формуле [57]:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta x_i}{\bar{x}} \cdot 100, \% \quad (3.7)$$

Вероятность P доверительных интервалов при нормальном законе распределения с учётом заданного коэффициента α , покрывающий эту вероятность, определяется по формуле [57]:

$$P\left(\bar{x} - \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}} < \alpha < \bar{x} + \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}\right) = 2\Phi(t) = \alpha \quad (3.8)$$

n – объём выборки.

t – значение функции Лапласа $\Phi(t)$.

Функция Лапласа $\Phi(t)$ определяется по формуле [57]:

$$\Phi(t) = \frac{\alpha}{2} \quad (3.9)$$

Точность оценки δ определяется по формуле [57]:

$$\delta = \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.10)$$

Планирование многофакторного эксперимента. Функция отклика – это регрессионная зависимость параметров оптимизации от переменных факторов:

$$Y_i = f(x_1, x_2, x_3) \quad (3.11)$$

Геометрически функцию отклика интерпретируется в поверхность отклика, которая описывается уравнением регрессии:

$$Y_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 - b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \quad (3.12)$$

Y_1 – параметр оптимизации.

x_1, x_2, x_3 – варьируемые факторы.

$b_0, b_1, b_2, b_{13}, b_{23}$ – коэффициенты регрессии.

Для получения линейного уравнения регрессии применяются ортогональные планы проведения эксперимента: полный факторный и

дробный факторный. Полный факторный эксперимент – это один из методов планирования многофакторных экспериментов, когда каждый из переменных факторов изменяется на двух уровнях (верхнем и нижнем). Согласно полнофакторному эксперименту реализуются все возможные сочетания уровней варьирования переменных факторов. Следовательно, число опытов составит: $N = 2^k$, где k – количество варьируемых факторов.

Планирование многофакторного эксперимента представляет объект исследования «чёрный ящик», в котором известны входные и выходные параметры, регистрируемые измерительной аппаратурой. Входные параметры интерпретируются как варьируемые факторы. Выходные параметры – как параметры оптимизации.

Требования к параметрам оптимизации:

- Должен оценивать выход исследуемой системы, а не каких – либо подсистем, то есть быть эффективным и универсальным.
- Должен допускать однозначное количественное выражение. Если последнее невозможно, качественное выражение параметра оптимизации кодируется численно (последовательностью натуральных чисел).
- Должен нести физический смысл, что позволит корректно сформулировать результаты многофакторного эксперимента.

Варьируемые факторы – это переменные величины, принимающие в некоторый момент времени определенное значение и определяют объект и его состояние. Варьируемые факторы могут быть количественными и качественными. Количественными варьируемыми факторами являются переменные величины, которые можно оценить количественно. Качественные – всегда можно сделать количественными, построив порядковую шкалу для кодирования уровней качества числами натурального ряда (например: оценка по девятибалльной системе).

Требования к варьируемым факторам:

- Должны быть управляемыми, то есть для каждого варьируемого параметра должна быть обеспечена возможность поддержания требуемого уровня в течение заданного периода времени с заданной точностью.
- Должны воздействовать непосредственно на объект исследования или не быть функциями других переменных.
- Уровень варьируемого фактора должен устанавливаться независимо от других варьируемых факторов.

Диапазон варьирования варьируемых факторов x_i :

$$x_i^{\min}(-1) \leq x_i \leq x_i^{\max}(+1) \quad (3.13)$$

$x_i^{\min}$ – нижний уровень варьирования, $x_i^{\min} = -1$.

$x_i^{\max}$ – верхний уровень варьирования, $x_i^{\max} = +1$.

Матрица планирования многофакторного эксперимента представлена в таблице 3.6.

Таблица 3.6. – Матрица планирования многофакторного эксперимента

№	Варьируемые факторы			Параметры оптимизации		
	x_1	x_2	x_3	Y_1	Y_2	Y_3
1.	– 1	– 1	– 1	17,8	18,1	17,6
2.	+ 1	– 1	– 1	26,0	30,2	28,1
3.	– 1	+ 1	– 1	24,7	26,5	25,6
4.	+ 1	+ 1	– 1	28,8	29,4	29,1
5.	– 1	– 1	+ 1	17,5	18,7	18,1
6.	+ 1	– 1	+ 1	20,4	21,2	20,8
7.	– 1	+ 1	+ 1	26,1	26,9	26,5
8.	+ 1	+ 1	+ 1	28,0	32,2	30,1

Оценка результатов многофакторного эксперимента. Однородность многофакторного эксперимента определяется по критерию Кохрена:

$$S_j^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{u=1}^m (y_j^u - y_{jcp})^2 \rightarrow \begin{cases} j = 1, 2 \dots N \\ m = 2 \\ u = 1, 2 \end{cases} \quad (3.14)$$

Дисперсии для каждого опыта определяются по формулам:

$$S_1^2 = (y_1^1 - y_{1cp})^2 + (y_1^2 - y_{1cp})^2 = (17,1 - 17,6)^2 + (18,1 - 17,6)^2 = 0,50$$

$$S_2^2 = (y_2^1 - y_{2cp})^2 + (y_2^2 - y_{2cp})^2 = (26,0 - 28,1)^2 + (30,2 - 28,1)^2 = 8,82$$

$$S_3^2 = (y_3^1 - y_{3cp})^2 + (y_3^2 - y_{3cp})^2 = (24,7 - 25,6)^2 + (26,5 - 25,6)^2 = 1,62$$

$$S_4^2 = (y_4^1 - y_{4cp})^2 + (y_4^2 - y_{4cp})^2 = (28,8 - 29,1)^2 + (29,4 - 29,1)^2 = 0,18$$

$$S_5^2 = (y_5^1 - y_{5cp})^2 + (y_5^2 - y_{5cp})^2 = (17,5 - 18,1)^2 + (18,7 - 18,1)^2 = 0,72$$

$$S_6^2 = (y_6^1 - y_{6cp})^2 + (y_6^2 - y_{6cp})^2 = (20,4 - 20,8)^2 + (21,2 - 20,8)^2 = 0,32$$

$$S_7^2 = (y_7^1 - y_{7cp})^2 + (y_7^2 - y_{7cp})^2 = (26,1 - 26,5)^2 + (26,9 - 26,5)^2 = 0,32$$

$$S_8^2 = (y_8^1 - y_{8cp})^2 + (y_8^2 - y_{8cp})^2 = (28,0 - 30,1)^2 + (32,2 - 30,1)^2 = 8,82$$

Сумма дисперсии определяется по формуле:

$$\sum_{j=1}^8 S_j^2 = 21,3 \quad (3.15)$$

Критерий Кохрена $G_{\text{эксп}}$ определяется по формуле:

$$G_{\text{эксп}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum_{j=1}^8 S_j^2} = \frac{8,82}{21,3} = 0,414 \quad (3.16)$$

Количество степеней свободы f_1 определяется по формуле:

$$f_1 = m - 1 = 2 - 1 = 1 \quad (3.17)$$

Количество степеней свободы f_2 определяется по формуле:

$$f_2 = N = 8$$

Для уровня значимости $q = 0,05$ по таблице находим $G_{\text{кр}} = 0,680$

Гипотеза об однородности дисперсии подтверждается:

$$G_{\text{эксп}} = 0,414 < G_{\text{кр}} = 0,680 \quad (3.18)$$

Расчёт коэффициентов регрессии начинается с формирования матрицы планирования дробного факторного эксперимента.

Матрица планирования дробного факторного эксперимента: $N = 2^3$ представлена в таблице 3.7.

Таблица 3.7. – Матрица планирования дробного факторного эксперимента: $N = 2^3$

№	Варьируемые факторы			Векторы взаимодействия			Параметр оптимизации
	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	Y_{cp}
1.	– 1	– 1	– 1	+	+	+	17,6
2.	+ 1	– 1	– 1	–	–	+	28,1
3.	– 1	+ 1	– 1	–	+	–	25,6
4.	+ 1	+ 1	– 1	+	–	–	29,1

№	Варьируемые факторы			Векторы взаимодействия			Параметр оптимизации
	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	Y_{cp}
5.	-1	-1	+1	+	-	-	18,1
6.	+1	-1	+1	-	+	-	20,8
7.	-1	+1	+1	-	-	+	26,5
8.	+1	+1	+1	+	+	+	30,1

Коэффициенты регрессии определяются по следующим формулам:

$$b_0 = \frac{17,6 + 28,1 + 25,6 + 29,1 + 18,1 + 20,8 + 26,5 + 30,1}{8} = 24,49$$

$$b_1 = \frac{-17,6 + 28,1 - 25,6 + 29,1 - 18,1 + 20,8 - 26,5 + 30,1}{8} = 2,54$$

$$b_2 = \frac{-17,6 - 28,1 + 25,6 - 29,1 - 18,1 - 20,8 + 26,5 + 30,1}{8} = 3,34$$

$$b_3 = \frac{-17,6 - 28,1 - 25,6 - 29,1 + 18,1 + 20,8 + 26,5 + 30,1}{8} = -0,61$$

$$b_{12} = \frac{17,6 - 28,1 - 25,6 + 29,1 + 18,1 - 20,8 - 26,5 + 30,1}{8} = -0,76$$

$$b_{13} = \frac{17,6 - 28,1 + 25,6 - 29,1 - 18,1 + 20,8 - 26,5 + 30,1}{8} = -0,96$$

$$b_{23} = \frac{17,6 + 28,1 - 25,6 - 29,1 - 18,1 - 20,8 + 26,5 + 30,1}{8} = 1,09$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии осуществляется по дисперсии воспроизводимости. Дисперсия воспроизводимости $S_{\text{ВОСПР}}^2$ определяется по формуле:

$$S_{\text{ВОСПР}}^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^8 S_j^2 \quad (3.19)$$

Дисперсия воспроизводимости $S_{\text{ВОСПР}}^2$ составляет:

$$S_{\text{ВОСПР}}^2 = \frac{1}{8} \cdot 21,3 = 2,663 \quad (3.20)$$

Дисперсия ошибки коэффициентов регрессии определяется по формуле:

$$S_{bi}^2 = \frac{1}{N \cdot m} \cdot S_{\text{ВОСПР}}^2 = \frac{2,663}{8 \cdot 2} = 0,166 \quad (3.21)$$

Дисперсия ошибки коэффициентов регрессии составляет:

$$S_{bi} = \sqrt{0,166} = 0,408$$

Количество степеней свободы определяется по формуле:

$$f_3 = N \cdot (m - 1) = 8 \cdot (2 - 1) = 8 \quad (3.22)$$

Уровень значимости составляет: $q = 0,05, f_3 = 8 \rightarrow t_{кр} = 2,31$

Доверительный интервал Δt_i для коэффициентов регрессии определяется по формуле:

$$\Delta t_i = \pm t_{кр} \cdot S_{bi} \quad (3.23)$$

Доверительный интервал Δt_i для коэффициентов регрессии составляет:

$$\Delta t_i = \pm 2,31 \cdot 0,408 = \pm 0,942$$

Коэффициент регрессии является значимым, если его абсолютная величина больше доверительного интервала. Коэффициенты регрессии являются значимыми, кроме b_3 , $b_{12} \rightarrow l = 5$. Оставляя значимые коэффициенты регрессии, получим уравнение регрессии для первого параметра оптимизации:

$$Y_1 = 24,49 + 2,54x_1 + 3,34x_2 - 0,96x_1x_3 + 1,09x_2x_3 \quad (3.24)$$

Проверка адекватности модели представлена в таблице 3.8.

Таблица 3.8. – Проверка адекватности модели

№	y_{cp}	y^*	$y_{cp} - y^*$	$(y_{cp} - y)^2$
1.	17,60	18,74	-1,14	1,29
2.	28,10	25,74	2,36	5,58
3.	25,60	23,24	2,36	5,58
4.	29,10	30,24	-1,14	1,29
5.	18,10	18,49	-0,39	0,15
6.	20,80	21,64	-0,84	0,70
7.	26,50	27,34	-0,84	0,70
8.	30,10	30,49	-0,39	0,15
				15,45

Дисперсия адекватности определяется по формуле:

$$S_{Ад}^2 = \frac{m}{N - l} \sum_{j=1}^N (y_{cp} - y^*)^2 = \frac{2}{8 - 5} \cdot 15,45 = 10,303 \quad (3.25)$$

Дисперсионное отношение F определяется по формуле:

$$F = \frac{S_{Ад}^2}{S_{ВОСП}^2} = \frac{10,303}{2,663} = 3,87 \quad (3.26)$$

Количество степеней свободы определяется по формуле:

$$f_4 = N \cdot (m - 1) = 8 \cdot (2 - 1) = 8 \quad (3.27)$$

Критерий Фишера при $q = 0,05$ составляет $F_{кр} = 4,1$

$F = 3,87 < F_{кр} = 4,1 \rightarrow$ модель адекватна

Уравнение регрессии:

$$Y_1 = 24,49 + 2,54x_1 + 3,34x_2 - 0,96x_1x_3 + 1,09x_2x_3$$

x_1 – температура охлаждающей жидкости, балл

x_2 – давление моторного масла, балл

x_3 – температура моторного масла, балл

Регрессионная зависимость технического состояния двигателя ЯМЗ – 53645 трактора «Кировец К – 5» от диагностических показателей (температура охлаждающей жидкости, давление и температура моторного масла) выглядит следующим образом:

$$ТС_{ЯМЗ} = 24,49 + 2,54 \cdot T_{ож} + 3,34 \cdot P_{мм} - 0,96 \cdot T_{ож} \cdot T_{мм} + 1,09 \cdot P_{мм} \cdot T_{мм}$$

$T_{ож}$ – температура охлаждающей жидкости, $^{\circ}\text{C}$

$P_{мм}$ – давление моторного масла, МПа

$T_{мм}$ – температура моторного масла, $^{\circ}\text{C}$

Уровни варьирования представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9. – Уровни варьирования

№	Диагностические показатели	Ед. изм.	Уровни варьирования			Шаг варьирования
			–1	0	+1	
1.	Температура охлаждающей жидкости $T_{ож}$	$^{\circ}\text{C}$	73	85	97	12
2	Давление моторного масла $P_{мм}$	МПа	0,59	0,785	0,98	0,195
3.	Температура моторного масла $T_{мм}$	$^{\circ}\text{C}$	40	59	78	19

ВЫВОД К ГЛАВЕ 3

1. Представлена методика экспериментальных исследований по диагностированию технического состояния трактора АПК «Кировец К – 5», которая основана на считывании диагностических показателей с электронного блока управления двигателем ЯМЗ – 53645 с помощью диагностического тестера «АСКАН – 10».

2. Разработана частная методика по формированию диагностического кода технического состояния на основе перевода фактических значений диагностических показателей в безразмерную величину от 0 до 9 баллов.
3. Представлена методика многофакторного эксперимента: параметр оптимизации – техническое состояние двигателя ЯМЗ – 53645; варьируемые факторы представлены диагностическими показателями – максимальное давление в цилиндрах; давление наддувочного воздуха, температура охлаждающей жидкости.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Результаты исследования температуры охлаждающей жидкости

Результаты классификации температуры охлаждающей жидкости двигателя «ЯМЗ – 53642» по направлению выхода за пределы НТД представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты классификации температуры охлаждающей жидкости двигателя «ЯМЗ – 53642» по направлению выхода за пределы НТД

Показатели	Минимальное значение	Максимальное значение	Направление выхода за пределы НТД	Тип показателя
Температура охлаждающей жидкости, °С	83	97	83 → 97	«Прямой»

Установлено, что температура охлаждающей жидкости соответствует типу «Прямой» так как направление увеличения значений $83^{\circ}\text{C} \rightarrow 97^{\circ}\text{C}$ совпадает с направлением стандартного отклонения.

Результаты выделения категорий выхода температуры охлаждающей жидкости двигателя «ЯМЗ – 53642» за пределы НТД представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты выделения категорий выхода температуры охлаждающей жидкости двигателя «ЯМЗ – 53642» за пределы НТД

№	Балльная шкала Б, балл	Температура моторного масла $T_{\text{мм}}^{\circ\text{C}}$	Диапазон категории, балл	Категория
1.	0,00000	83	$0 \leq 0 < 3$	Категория I
2.	0,642857	84	$0 \leq 1 < 3$	
3.	1,285714	85		
4.	1,928571	86	$0 \leq 2 < 3$	
5.	2,571429	87	$3 \leq 3 \leq 6$	Категория II
6.	3,214286	88		
7.	3,857143	89	$3 \leq 4 \leq 6$	
8.	4,153846	90		
9.	5,142857	91	$3 \leq 5 \leq 6$	

№	Балльная шкала Б, балл	Температура моторного масла $T_{\text{мм}}^{\circ\text{C}}$	Диапазон категории, балл	Категория
10.	5,785714	92	$3 \leq 6 \leq 6$	
11.	6,428571	93		
12.	7,071429	94	$6 < 7 \leq 9$	Категория III
13.	7,714286	95	$6 < 8 \leq 9$	
14.	8,35714	96	$6 < 9 \leq 9$	
15.	9,00000	97		

Установлено, что исследуемый диапазон значений температуры охлаждающей жидкости $83 - 97^{\circ}\text{C}$ разделён на следующие категории: категория I – $83 - 86^{\circ}\text{C}$; категория II – $87 - 93^{\circ}\text{C}$; категория III – $94 - 97^{\circ}\text{C}$. Таким образом, температура охлаждающей жидкости, которая соответствует 97°C является значением выхода за пределы НТД на выбранном режиме эксплуатации.

Результаты перевода фактических значений температуры охлаждающей жидкости двигателя «ЯМЗ – 53642» в безразмерный показатель представлены на рисунке 4.1.

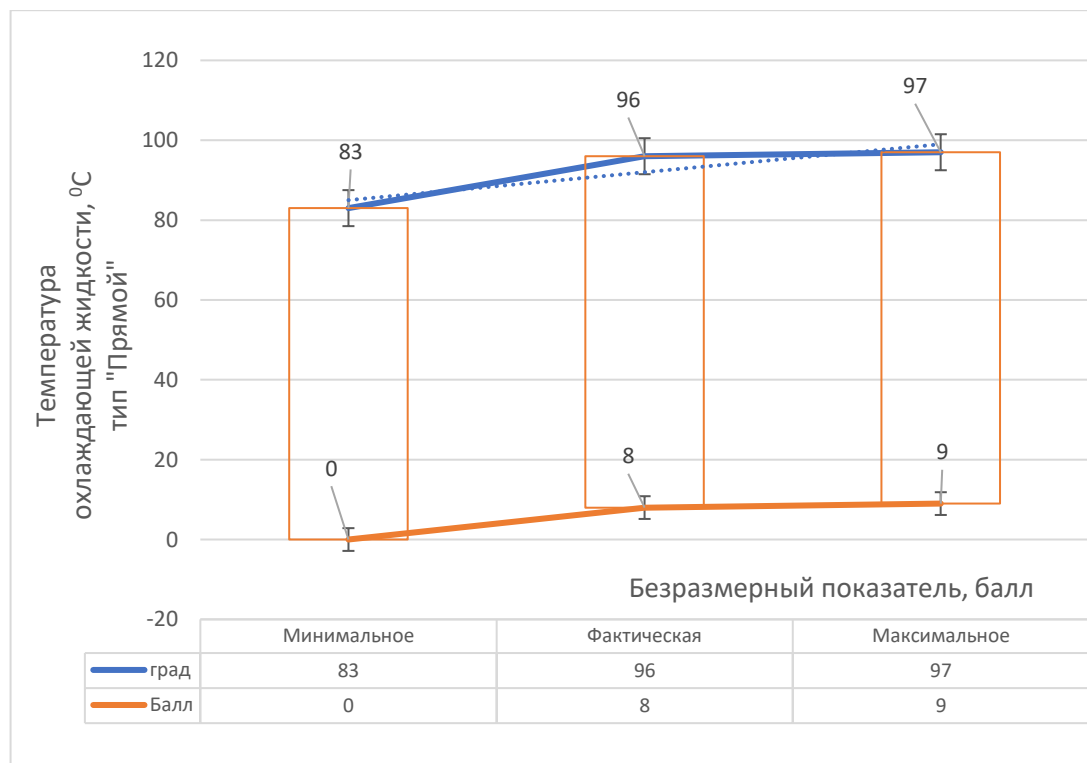


Рисунок 4.1 – Результаты перевода фактических значений температуры охлаждающей жидкости двигателя «ЯМЗ – 53642» в безразмерный показатель

Установлено, что безразмерный показатель температуры охлаждающей жидкости тип «Прямой» составляет 8 баллов при фактическом значении 96°C , при этом минимальное значение 83°C (согласно НТД) привязано к балльной шкале 0 баллов, а максимальное 96°C – 9 баллов.

4.2. Результаты исследования температуры моторного масла

Результаты классификации температуры моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» по направлению выхода за пределы НТД представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты классификации температуры моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» по направлению выхода за НТД

Показатели	Минимальное значение	Максимальное значение	Направление выхода за пределы НТД	Тип показателя
Температура моторного масла, $^{\circ}\text{C}$	64	78	$64 \rightarrow 78$	«Прямой»

Установлено, что температура моторного масла соответствует типу «Прямой» так как направление увеличения значений $64^{\circ}\text{C} \rightarrow 78^{\circ}\text{C}$ совпадает с направлением стандартного отклонения.

Результаты выделения категорий выхода температуры моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» за пределы НТД представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты выделения категорий выхода температуры моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» за пределы НТД

№	Балльная шкала Б, балл	Температура моторного масла $T_{\text{мм}}$, $^{\circ}\text{C}$	Диапазон категории, балл	Категория
1.	0,00000	64	$0 \leq 0 < 3$	Категория I
2.	0,642857	65	$0 \leq 1 < 3$	
3.	1,285714	66		
4.	1,928571	67	$0 \leq 2 < 3$	
5.	2,571429	68	$3 \leq 3 \leq 6$	Категория II
6.	3,214286	69		
7.	3,857143	70	$3 \leq 4 \leq 6$	
8.	4,153846	71		
9.	5,142857	72	$3 \leq 5 \leq 6$	

№	Балльная шкала Б, балл	Температура моторного масла $T_{\text{мм}}^{\text{ }^{\circ}\text{C}}$	Диапазон категории, балл	Категория
10.	5,785714	73	$3 \leq 6 \leq 6$	
11.	6,428571	74		
12.	7,071429	75	$6 < 7 \leq 9$	Категория III
13.	7,71429	77	$6 < 8 \leq 9$	
14.	8,35714	78	$6 < 9 \leq 9$	
15.	9,00000	79		

Установлено, что исследуемый диапазон значений температуры моторного масла $64 - 79^{\circ}\text{C}$ разделён на следующие категории: категория I – $64 - 67^{\circ}\text{C}$; категория II – $68 - 74^{\circ}\text{C}$; категория III – $75 - 79^{\circ}\text{C}$. Таким образом, температура моторного масла, которая соответствует 79°C является значением выхода за пределы НТД на выбранном режиме эксплуатации.

Результаты перевода фактических значений температуры моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» в безразмерный показатель представлены на рисунке 4.2

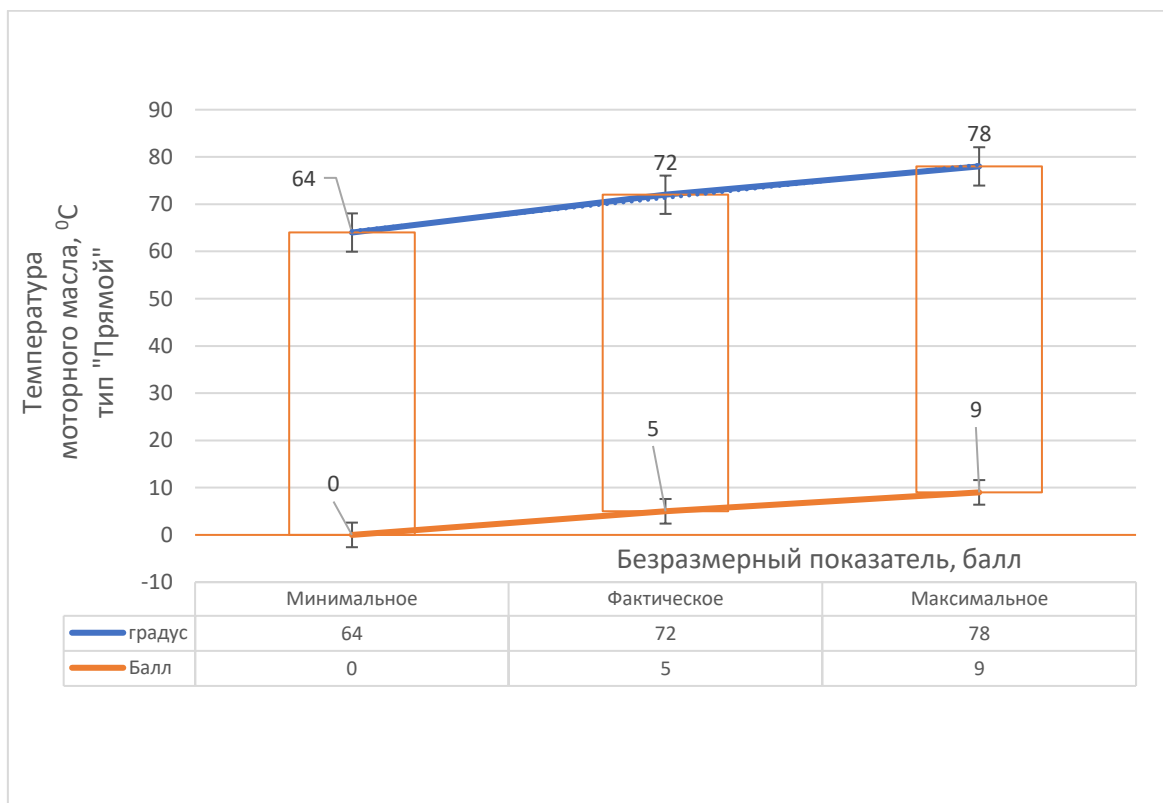


Рисунок 4.2 – Результаты перевода фактических значений температуры моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» в безразмерный показатель

Установлено, что безразмерный показатель температуры моторного масла тип «Прямой» составляет 5 баллов при фактическом значении 72°C , при этом минимальное значение 64°C (согласно НТД) привязано к балльной шкале 0 баллов, а максимальное 78°C – 9 баллов.

4.3. Результаты исследования давления моторного масла

Результаты классификации давления моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» по направлению выхода за пределы НТД представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты классификации давления моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» по направлению выхода за пределы НТД

Показатели	Минимальное значение	Максимальное значение	Направление выхода за пределы НТД	Тип показателя
Давление моторного масла, $^{\circ}\text{C}$	0,98	0,84	$0,98 \leftarrow 0,84$	«Обратный»

Установлено, что давление моторного масла соответствует типу «Обратный» так как направление увеличения значений $0,98 \leftarrow 0,84$ МПа противоположно направлению стандартного отклонения.

Результаты выделения категорий выхода давления моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» за пределы НТД представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты выделения категорий выхода давления моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» за пределы НТД

№	Балльная шкала Б, балл	Давление моторного масла $P_{\text{мм}}$ МПа	Диапазон категории, балл	Категория
1.	0,00000	0,98	$0 \leq 0 < 3$	Категория I
2.	0,642857	0,97	$0 \leq 1 < 3$	
3.	1,285714	0,96		
4.	1,928571	0,95	$0 \leq 2 < 3$	
5.	2,571429	0,94	$3 \leq 3 \leq 6$	Категория II
6.	3,214286	0,93		
7.	3,857143	0,92	$3 \leq 4 \leq 6$	
8.	4,153846	0,91		
9.	5,142857	0,90	$3 \leq 5 \leq 6$	

№	Балльная шкала Б, балл	Давление моторного масла Р _{мм} МПа	Диапазон категории, балл	Категория
10.	5,785714	0,89	3 ≤ 6 ≤ 6	
11.	6,428571	0,88		
12.	7,071429	0,87	6 < 7 ≤ 9	Категория III
13.	7,71429	0,86	6 < 8 ≤ 9	
14.	8,35714	0,85		
15.	9,00000	0,84	6 < 9 ≤ 9	

Установлено, что исследуемый диапазон значений давления моторного масла 0,98 – 0,84 МПа разделён на следующие категории: категория I – 0,98 – 0,95 МПа; категория II – 0,94 – 0,88 МПа; категория III – 0,87 – 0,84 МПа. Таким образом, давление моторного масла, которое соответствует 0,84 МПа является значением выхода за пределы НТД на выбранном режиме эксплуатации.

Результаты перевода фактических значений давления моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» в безразмерный показатель представлены на рисунке 4.3.

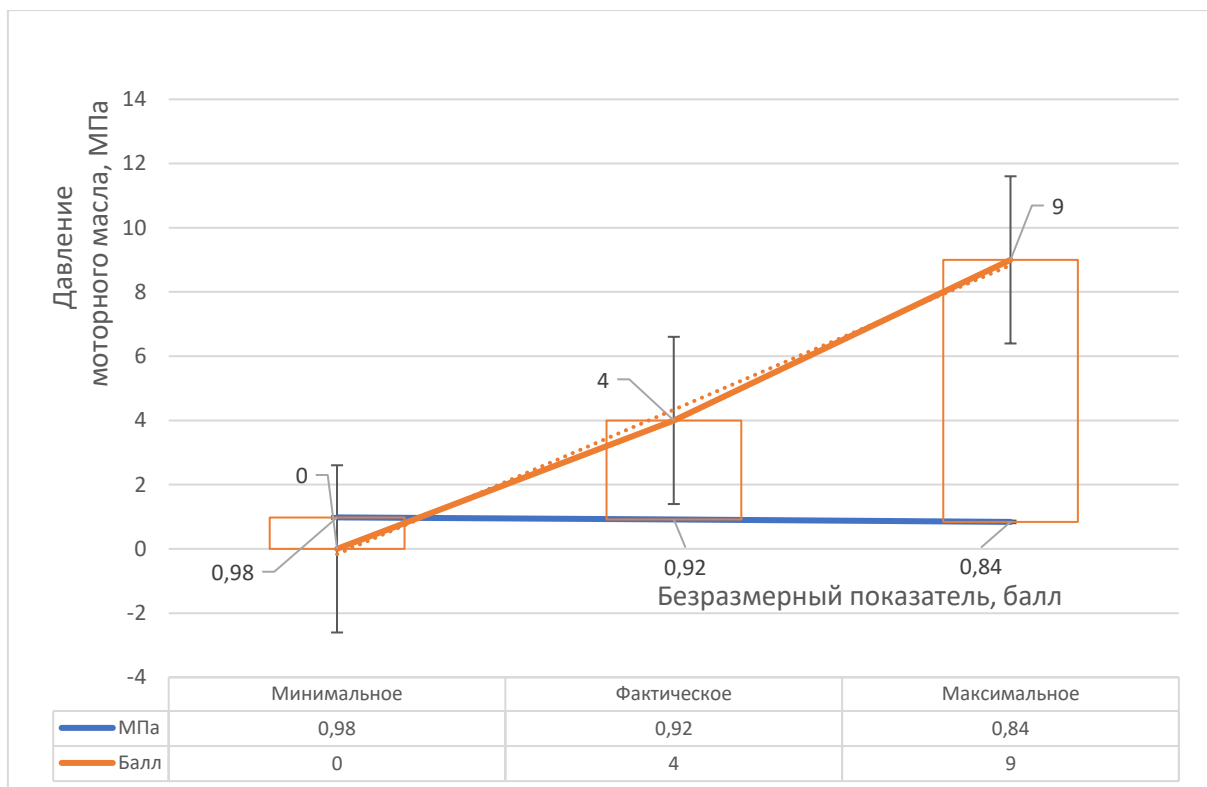


Рисунок 4.3 – Результаты перевода фактических значений давления моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» в безразмерный показатель

Установлено, что безразмерный показатель давления моторного масла тип «Обратный» составляет 4 балла при фактическом значении 0,92 МПа, при этом минимальное значение 0,98МПа (согласно НТД) привязано к балльной шкале 0 баллов, а максимальное 0,84МПа – 9 баллов.

4.4. Результаты формирования диагностического кода

Результаты формирования диагностического кода двигателя «ЯМЗ – 53642» трактора «Кировец – 5» представлены на рисунке 4.4.

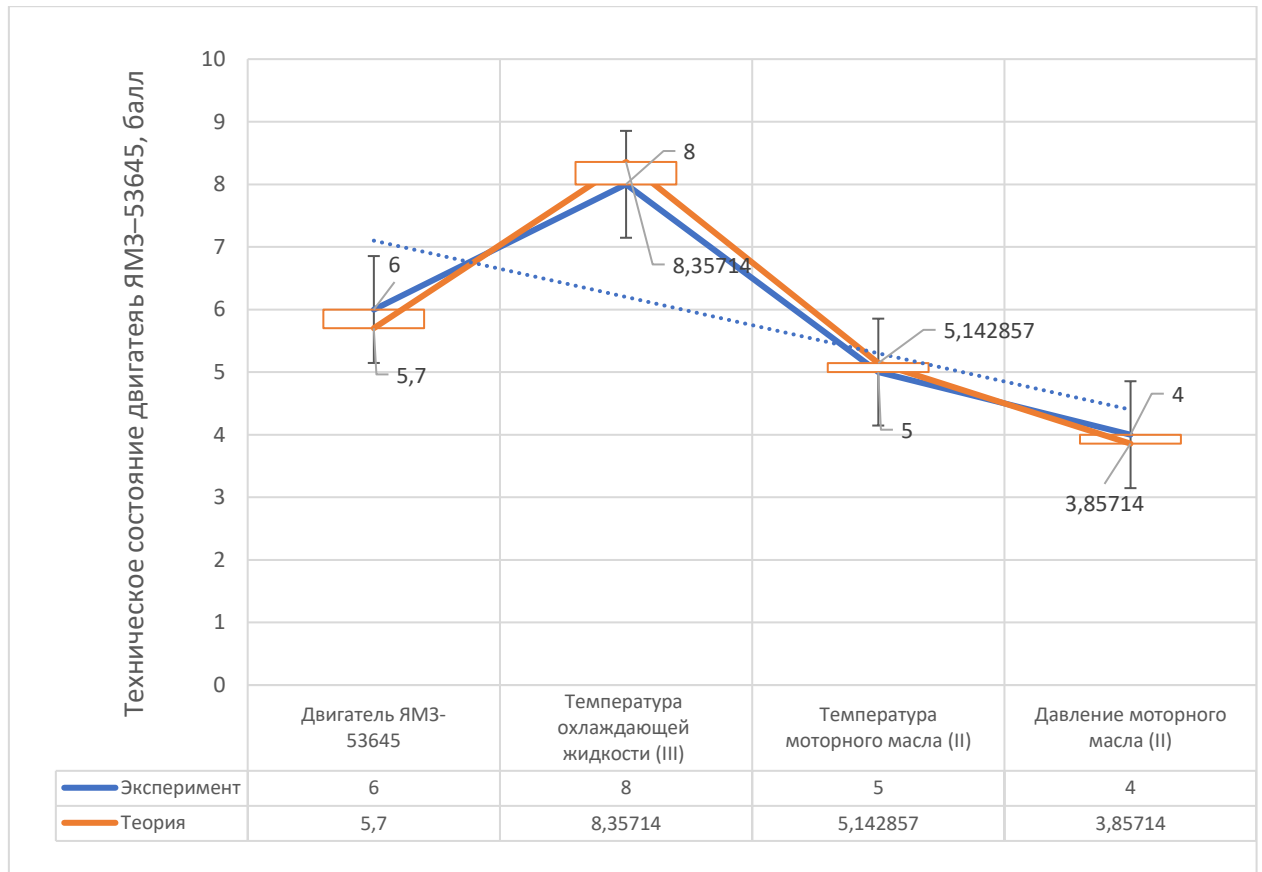


Рисунок 4.4 – Результаты формирования диагностического кода двигателя «ЯМЗ – 53642» трактора «Кировец – 5»

Сформирован диагностический код двигателя «ЯМЗ – 53642» трактора «Кировец – 5», который выглядит следующим образом:

$$\frac{6}{T_{\text{СЯМЗ-53645}}} \left[\frac{8(III)}{T_{\text{охл}}}; \frac{5(II)}{T_{\text{мм}}}; \frac{4(II)}{P_{\text{мм}}} \right] \quad (4.1)$$

Установлено, что техническое состояние двигателя «ЯМЗ – 53642» соответствует исправному $\frac{6}{T_{\text{СЯМЗ-53645}}}$. Однако, температура охлаждающей

жидкости $\frac{8(III)}{T_{охл}}$ соответствует 8 баллов и находится на грани выхода за пределы НТД (категория *III*). Дальнейшее повышение температуры может привести к перегреву двигателя и проведению дорогостоящего капитального ремонта или полной его замене, что требует принятия своевременных решений по проведению технического обслуживания и ремонта (например: замена фильтров, ремонт или замена термостата), что значительно сократит затраты на его проведение [89, 90, 122].

4.5. Результаты проведения многофакторного эксперимента

Регрессионная зависимость технического состояния двигателя «ЯМЗ – 53642» от его показателей (температура охлаждающей жидкости, давление и температура моторного масла) выглядит следующим образом:

$$T_{С_{ЯМЗ-53645}} = 24,49 + 2,54 \cdot T_{охл} + 3,34 \cdot T_{мм} - 0,96 \cdot T_{охл} \cdot P_{мм} + 1,09 \cdot T_{мм} \quad (4.2)$$

где: $T_{охл}$ – температура охлаждающей жидкости, °С;

$T_{мм}$ – температура моторного масла, °С;

$P_{мм}$ – давление моторного масла, МПа.

Установлено, что на техническое состояние двигателей основное влияние оказывает температура охлаждающей жидкости, что является обычным явлением при эксплуатации тракторов в период посевной и уборочной кампании [61].

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 4

1. Результаты проведения многофакторного эксперимента позволили установить, что на техническое состояние трактора АПК «Кировец К – 5» оказывают влияние следующие диагностические показатели двигателя ЯМЗ – 53645: максимальное давление в цилиндрах, давление наддувочного воздуха и температура охлаждающей жидкости. Наибольшее влияние на техническое состояние оказывает температура охлаждающей жидкости, так как её повышение приводит к перегреву двигателя. Перегрев

двигателей ЯМЗ – 53645 является распространённым явлением, которое обычно происходит в летний период при эксплуатации тракторов АПК в жаркую погоду. При перегреве изменяются температурные условия охлаждения моторного масла, что приводит к пригоранию сопряжённых деталей, заклиниванию и выхода двигателя из строя, что требует дорогостоящего капитального ремонта.

2. На основе частной методики сформирован диагностический код технического состояния двигателя ЯМЗ – 53645 трактора АПК «Кировец К – 5», который выглядит следующим образом: $\frac{7}{III} =$ двигатель ЯМЗ – 53645 $\left[\frac{9}{5;6} \right]$ Установлено, что техническое состояние двигателя ЯМЗ – 53645 соответствует 7 баллам и III категории исправного технического состояния. Диагностические показатели: максимальное давление в цилиндрах составляет 5 баллов; давление наддувочного воздуха – 9 баллов и находятся в рамках НТД, а температура охлаждающей жидкости соответствует 9 баллам (97°C), то есть находится на грани III категории: $6 \leq TC_{исп} \leq 9$ баллов, которая характеризуется высокой скоростью изменения технического состояния за короткий промежуток, который составляет незначительную долю от времени эксплуатации. Таким образом, у тракториста есть время для передвижения трактора на станцию технического обслуживания для проведения внепланового технического обслуживания и ремонта.

ГЛАВА 5. ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

5.1. Затраты на техническое обслуживание и ремонт тракторов АПК

Затраты на техническое обслуживание и ремонт двигателей являются важной частью экономического эффекта от внедрения способа диагностирования технического состояния тракторов на основе формирования диагностического кода. Эти затраты напрямую зависят от используемого способа диагностирования технического состояния тракторов АПК [63, 96, 130, 131]. Рассматривалось два варианта:

- 1 вариант до внедрения способа диагностирования технического состояния: перегрев двигателя «ЯМЗ – 53642», когда фактическое значение температуры охлаждающей жидкости вышли за пределы НТД.
- 2 вариант внедрение способа диагностирования технического состояния: повышение температуры охлаждающей жидкости двигателя «ЯМЗ – 53642» на грани выхода за пределы НТД (III категория).

Повышение температуры является обычным явлением при эксплуатации тракторов в летний период, и крайне важно своевременно отслеживать изменения температурного режима. Первый вариант демонстрирует ситуацию, когда перегрев двигателя «ЯМЗ – 53642» приводит к превышению температуры охлаждающей жидкости за пределы НТД, что приводит к дорогостоящему капитальному ремонту вплоть до замены двигателя. Второй вариант, наоборот, иллюстрирует внедрение способа диагностирования технического состояния, который позволяет обнаружить повышение температуры на грани выхода за пределы нормы, обеспечивая возможность значительно уменьшить затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Затраты на техническое обслуживание и ремонт трактора «Кировец – 5» складываются из трёх основных компонентов:

- Затраты на диагностирование.
- Затраты на закупку запасных частей.

– Затраты на выполнение работ.

Затраты на диагностирование включают проведение компьютерной диагностики всех технических систем трактора (двигатель, система управления, трансмиссия, ходовая часть, электрооборудование) с помощью мультимарочного сканера «АСКАН – 10» и разработанной автором методики формирования диагностического кода. Этот процесс позволяет не только выявить существующие неисправности, но и предсказать возможные проблемы, что значительно снижает риски внезапных поломок и увеличивает общую надежность техники [59, 60, 75, 128]. Использование разработанного способа диагностирования на основе формирования диагностического кода с использованием современного диагностического оборудования дает возможность получать точные данные о техническом состоянии всех систем, а также проводить быстрое и эффективное сравнение со значениями НТД.

Затраты на закупку запасных частей необходимы для замены изношенных или повреждённых комплектующих. В настоящее время сельскохозяйственная техника сталкивается с серьёзными вызовами, связанными с дефицитом запасных частей и их значительным подорожанием. Это обусловлено тем, что многие производители оригинальных комплектующих прекратили прямые поставки, что вынуждает сельскохозяйственные предприятия искать альтернативные пути приобретения необходимых запасных частей. Одним из таких путей является параллельный импорт, который предполагает закупку через посредников или третьи страны. Однако, из – за сложностей в организации логистических цепочек возникают задержки в получении необходимых запчастей. Это приводит к длительным простоям техники и особенно критично в периоды посевных или уборочных кампаний. Кроме того, параллельный импорт увеличивает логистические затраты, в результате стоимость запасных частей значительно возрастает. Затраты на закупку запасных частей являются одной из ключевых статей расходов при оценке затрат на техническое обслуживание и ремонт. Эти затраты могут значительно варьироваться в зависимости от

используемых методов диагностирования их технического состояния. Разработанный способ диагностирования позволяет выявить и устранить мелкие неисправности на ранних стадиях, предотвратить развитие критических отказов и минимизировать затраты на закупку запасных частей [120].

Затраты на выполнение ремонтных работ включают оплату труда специалистов, которые обладают необходимыми навыками и опытом для выполнения различных задач, связанных с ремонтом и обслуживанием тракторов АПК. Эти расходы могут варьироваться в зависимости от уровня квалификации работников, сложности выполняемых работ и региона, в котором осуществляется ремонт [33, 118]. В нашем случае, затраты на выполнение ремонтных работ рассчитывались с учётом заработной платы ремонтников в условиях ООО "СХП ФЕДЯКИНО" (Рязанская область, м. р-н Рыбновский, с. п. Вакинское, с. Федякино). Кроме того, к затратам следует добавить расходы на закупку материалов, инструмента и оборудования, которые зачастую являются значительной частью этих затрат. Также учитывались непредвиденные затраты, которые могут возникнуть в процессе ремонтных работ, такие как необходимость привлечения смежных специалистов для решения возникающих проблем.

Таким образом, суммируя все эти затраты, можно получить полное представление о затратах на техническое обслуживание и ремонт трактора «Кировец – 5». Затраты на техническое обслуживание и ремонт трактора «Кировец – 5» определились по формуле:

$$З_{ТОиР} = З_{диаг} + З_{зап} + З_{раб}, \text{ тыс. руб.} \quad (5.1)$$

где: $З_{диаг}$ – затраты на диагностирование, тыс. руб.;

$З_{зап}$ – затраты на закупку запасных частей, тыс. руб.;

$З_{раб}$ – затраты на проведение работ, тыс. руб.

Сравнение затрат на техническое обслуживание и ремонт тракторов АПК представлено в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Сравнение затрат на техническое обслуживание и ремонт тракторов агропромышленного комплекса

№	Наименование	Затраты на техническое обслуживание и ремонт, тыс. руб.	
		Вариант 1	Вариант 2
1.	Затраты на диагностику	50 – 100	100 – 200
2.	Затраты на запчасти	100 – 200	1000 – 3000
3.	Затраты на работу	100 – 150	500 – 1000
4.	Общие затраты	250 – 450	1600 – 4200
5.	Простои техники	Минимальные (2 час)	Длительные (240 час)
6.	Риск перегрева двигателя	Нет	Высокий

Затраты на закупку запасных частей при техническом обслуживании и ремонте трактора «Кировец – 5» представлены на рисунке 5.1.

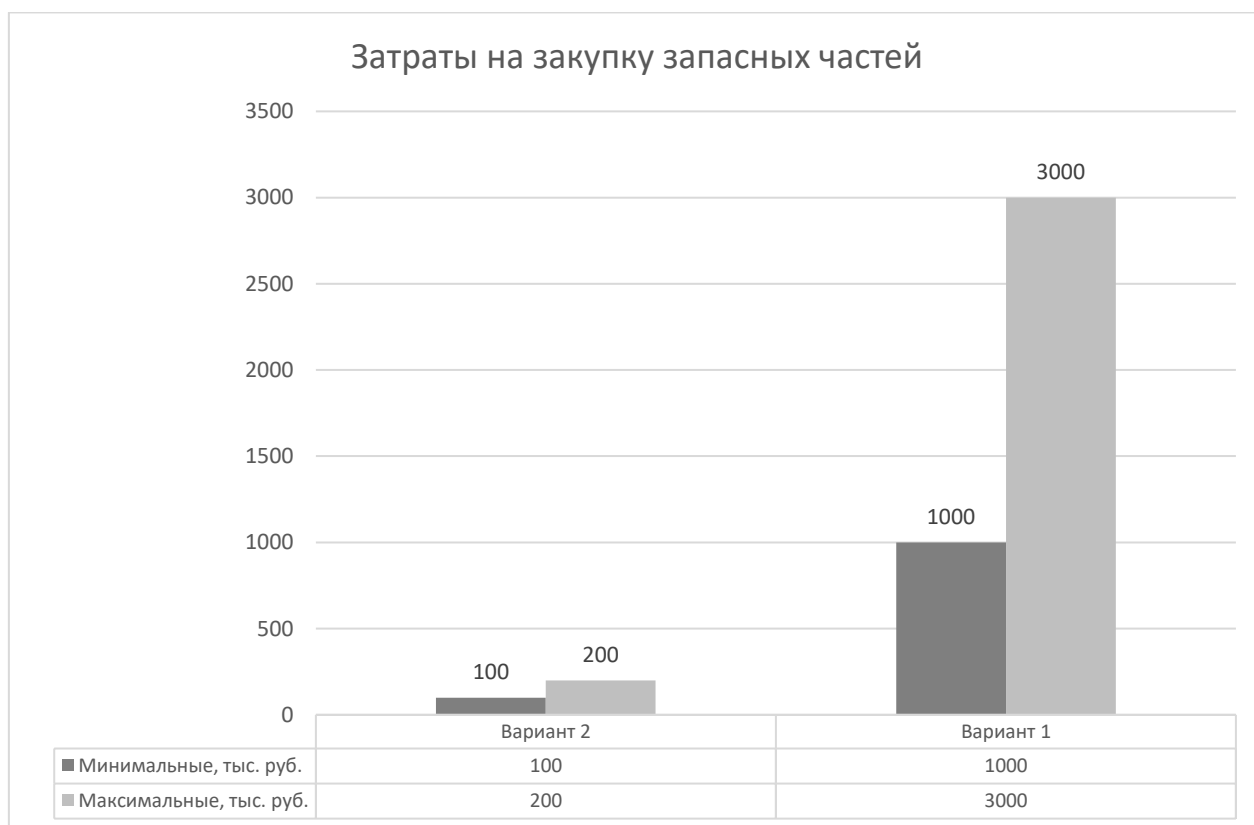


Рисунок 5.1 – Затраты на закупку запасных частей при техническом обслуживании и ремонте трактора «Кировец – 5»

Установлено, что затраты на закупку запасных частей при техническом обслуживании и ремонте тракторов «Кировец – 5» до внедрения метода диагностирования технического состояния на основе формирования

диагностического состояния (вариант 1) составили 1000 – 3000 тыс. руб., после внедрения (вариант 2) – 100 – 200 тыс. руб., то есть уменьшились на 900 – 2800 тыс. руб. в зависимости от их фактического технического состояния.

Затраты на техническое обслуживание и ремонт трактора «Кировец – 5» в условиях ООО "СХП ФЕДЯКИНО" (Рязанская область, м. р-н Рыбновский, с. п. Вакинское, с. Федякино) представлены на рисунке 5.2.



Рисунок 5.2 – Затраты на техническое обслуживание и ремонт трактора «Кировец – 5» в условиях ООО "СХП ФЕДЯКИНО" (Рязанская область, м. р-н Рыбновский, с. п. Вакинское, с. Федякино)

Установлено, что затраты на техническое обслуживание и ремонт тракторов «Кировец – 5» до внедрения метода диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического состояния (вариант 1) составили 1600 – 4200 тыс. руб., после внедрения (вариант 2) – 250 – 450 тыс. руб., то есть уменьшились на 1350 – 3750 тыс. руб. в зависимости от их фактического технического состояния.

Таким образом, внедрение способа диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе формирования диагностического кода привело к значительному снижению затрат на техническое обслуживание и

ремонт, в том числе на закупку запасных частей, что особенно важно в условиях санкций и ограничений, введенных Евросоюзом на их поставку. Это свидетельствует о высокой экономической эффективности нового подхода, который оптимизирует расходы и способствует более рациональному использованию ресурсов в агропромышленном комплексе.

5.2. Экономический эффект от внедрения способа диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода

Экономический эффект от внедрения способа диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода рассчитывался на один отремонтированный трактор «Кировец – 5» в условиях ООО "СХП ФЕДЯКИНО" (Рязанская область, м. р-н Рыбновский, с. п. Вакинское, с. Федякино). Экономический эффект от внедрения способа диагностирования технического состояния на основе диагностического кода позволяет сельскохозяйственным предприятиям более эффективно управлять своими затратами и оптимизировать процессы технического обслуживания и ремонта.

Экономический эффект от внедрения способа диагностирования технического состояния на основе диагностического кода определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ТОиР}} = \mathcal{Z}_{\text{ТОиР}}^1 - \mathcal{Z}_{\text{ТОиР}}^2 = (\mathcal{Z}_{\text{диаг}}^1 + \mathcal{Z}_{\text{зап}}^1 + \mathcal{Z}_{\text{раб}}^1) - (\mathcal{Z}_{\text{диаг}}^2 + \mathcal{Z}_{\text{зап}}^2 + \mathcal{Z}_{\text{раб}}^2) \quad (5.2)$$

где $\mathcal{Z}_{\text{диаг}}^1$ и $\mathcal{Z}_{\text{диаг}}^2$ – затраты на диагностирование технического состояния до и после внедрения, соответственно, тыс. руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{зап}}^1$ и $\mathcal{Z}_{\text{зап}}^2$ – затраты на закупку запасных частей до и после внедрения, соответственно, тыс. руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{раб}}^1$ и $\mathcal{Z}_{\text{раб}}^2$ – затраты на проведение работ по техническому обслуживанию и ремонту до и после внедрения, соответственно, тыс. руб.

В результате использования данной формулы можно не только четко оценить финансовые показатели до и после внедрения, но и выявить дополнительные возможности для уменьшения затрат на техническое обслуживание и ремонт. Снижение затрат на диагностику и закупку запасных

частей благодаря более раннему выявлению потенциальных неисправностей, что, в свою очередь, способствует увеличению времени безотказной работы тракторов [79]. Кроме того, аналитическая информация, получаемая в результате диагностирования, позволяет принимать обоснованные решения о планировании ремонта и замены деталей, что в итоге улучшает производственные показатели и способствует росту конкурентоспособности предприятия. Экономический эффект от внедрения разработанного автором способа диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода становится не только вопросом снижения затрат на техническое обслуживание и ремонт тракторов АПК, но и стратегическим инструментом, способствующим долгосрочной устойчивости и развитию сельскохозяйственных предприятий Российской Федерации.

Таким образом, экономический эффект от внедрения способа диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода составил 1975 тыс. руб. и достигнут за счёт уменьшения затрат на техническое обслуживание и ремонт двигателей «ЯМЗ – 53642» в расчёте на один отремонтированный трактор «Кировец – 5» в условиях ООО "СХП ФЕДЯКИНО" (Рязанская область, м. р-н Рыбновский, с. п. Вакинское, с. Федякино).

5.3. Рекомендации производству

Рекомендации производству по использованию способа диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода заключаются в использовании мультимарочных адаптеров (например, «АСКАН – 10»), которые поддерживают протокол OBD – II. Мультимарочные адаптеры позволяют диагностировать техническое состояние различных марок тракторов АПК за счёт того, что они обеспечивают универсальное подключение к системам контроля и диагностики. Эти устройства способны взаимодействовать с разными марками и моделями тракторов, что делает их особенно полезными для предприятий агропромышленного комплекса, где в одном хозяйстве может находиться техника различных производителей.

Использование мультимарочных адаптеров, таких как «АСКАН – 10», при диагностировании технического состояния тракторов, имеет несколько значительных преимуществ. Во–первых, они позволяют сэкономить время и ресурсы, так как оператору не нужно иметь отдельное оборудование для каждой марки техники. Во–вторых, данные адаптеры поддерживают широкий спектр протоколов обмена данными, что делает их совместимыми с различными электронными системами, установленными на тракторах.

Процесс диагностики с использованием адаптеров включает в себя считывание диагностических кодов ошибок, мониторинг параметров работы двигателя и других систем, таких как трансмиссия, тормозная система и электронные системы управления. Полученные данные помогают специалистам быстро идентифицировать проблемы и проводить необходимые ремонтные работы, что значительно сокращает время простоя техники.

Кроме того, производителям тракторов следует обратить внимание на необходимость обучения персонала в области работы с мультимарочными адаптерами. Это включает в себя не только теоретические знания об использовании устройства, но и практические навыки работы с диагностическим программным обеспечением. Операторы должны быть способны не только применять адаптер для чтения кодов ошибок, но и правильно интерпретировать полученный диагностический код для принятия обоснованных решений по техническому обслуживанию и ремонту.

Таким образом, применение мультимарочных адаптеров в сочетании с разработанным способом диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода значительно уменьшит затраты на техническое обслуживание и ремонт, а также увеличит сроки эксплуатации тракторов АПК.

5.4. Перспективы дальнейшей разработки темы исследования

Перспективы дальнейшей разработки темы исследования заключаются в модернизации мультимарочных адаптеров для диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе формирования

диагностического кода. Это станет возможным благодаря интеграции функций диагностики, прогнозирования и оповещения в единую систему управления. Многоуровневая система оповещения (мобильные уведомления, звуковые и световые сигналы, автоматическое оповещение сервисной службы) обеспечит оперативное реагирование на потенциальные проблемы в условиях удалённой эксплуатации, где доступ к стационарным сервисным станциям ограничен [17, 125, 126, 127].

Разработка такой системы позволит ввести механизмы глубокого анализа фактических значений диагностических показателей, используя современные алгоритмы обработки информации. Оснащение системы долгосрочной памятью для хранения диагностических кодов обеспечит возможность не только текущего, но и исторического диагностирования технического состояния тракторов АПК в условиях эксплуатации. Это даст возможность выявлять закономерности в проблемах технического состояния, что приведёт к более обоснованному принятию решений по техническому обслуживанию и ремонту.

Таким образом, дальнейшая интеграция мультифункциональных адаптеров многоуровневыми системами оповещения не только улучшит эффективность диагностирования технического состояния, но и повысит безопасность эксплуатации и приведёт к снижению расходов на техническое обслуживание и ремонт. Внедрение данных технологий заложит основу для создания более современных тракторов АПК, способных самостоятельно реагировать на изменения их технического состояния.

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 5

Таким образом, экономический эффект от внедрения способа диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода составил 1975 тыс. руб. и достигнут за счёт уменьшения затрат на техническое обслуживание и ремонт двигателей «ЯМЗ – 53642» в расчёте на один отремонтированный трактор «Кировец – 5» в условиях ООО "СХП ФЕДЯКИНО" (Рязанская область, м. р-н Рыбновский, с. п. Вакинское, с. Федякино).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Совершенствование диагностирования тракторов АПК на основе диагностического кода уменьшает затраты на ремонт в 1,05-1,07 раз в сравнении с используемыми в хозяйствах АПК способов диагностирования.

2. Усовершенствован способ диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе формирования диагностического кода путём разделения показателей по направлению выхода за пределы НТД на прямые и обратные, привязки их максимальных и минимальных значений к балльной шкале от 0 до 9 баллов, перевода фактических значений в безразмерные показатели (БП), выделения категорий выхода за пределы НТД следующим образом:

I категория: $0 \leq \text{БП} < 3$ баллов (до 30 мото – ч)

II категория: $3 \leq \text{БП} \leq 6$ баллов (с 30 до 6700 мото – ч)

III категория: $6 < \text{БП} \leq 9$ баллов (с 6700 до 8000 мото – ч).

3. Проведены теоретические исследования ресурса на основе балльной шкалы от 0 до 9 баллов с учётом отклонения прямых (температура охлаждающей жидкости; температура моторного масла) и обратных (давление моторного масла) показателей в пределах НТД и весового коэффициента наработки (чем выше балл, тем меньше остаточный ресурс).

4. Получена регрессионная зависимость технического состояния двигателя «ЯМЗ – 53642» от ключевых показателей: температуры охлаждающей жидкости, величин давления и температуры моторного масла. На техническое состояние двигателя основное влияние оказывает температура охлаждающей жидкости при эксплуатации тракторов в период посевной и уборочной кампаний.

5. Экономический эффект от внедрения способа диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода составил 1975 тыс. руб. в расчёте на один отремонтированный трактор

«Кировец – 5» в условиях ООО "СХП ФЕДЯКИНО" (Рязанская область, м. р-н Рыбновский, с. п. Вакинское, с. Федякино).

Рекомендации производству.

Для снижения затрат при эксплуатации тракторов АПК в условиях сельскохозяйственных предприятий рекомендуется использовать предложенный способ их диагностирования на основе формирования диагностического кода.

Перспективы дальнейшей разработки темы.

Необходимо продолжить исследования в области модернизации мультимарочных адаптеров для диагностирования тракторов АПК на основе формирования диагностического кода с целью оперативного реагирования на потенциальные проблемы тракторов АПК в условиях удалённой эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов, Ю. Н. Диагностирование технического состояния тракторов сельскохозяйственного назначения в полевых условиях / Ю. Н. Абрамов, Э. В. Кузнецова, А. А. Горохов // Научные приоритеты в АПК: вызовы современности : материалы 75-й юбилейной международной научно-практической конференции, Рязань, 25 апреля 2024 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2024. – С. 8-13. – EDN ONNINQ.
2. Авдонькин Ф.Н. Повышение срока службы автомобильных двигателей / Ф.Н. Авдонькин. – Саратов.: Приволжское книжное издательство, 1969. – 203 с.
3. Актуальность диагностирования технического состояния тракторов в АПК / Э. В. Кузнецова, А. А. Сидоров, М.Х. Евлов, И.А. Юхин // Научно-технические приоритеты развития АПК России : Материалы 76-й Международной научно-практической конференции, 24 апреля 2025 года. – Рязань : Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета, 2025. – Часть II. – С. 45-52.
4. Алексеев В.М., Цымпилов С.Ц. Дифференциальный метод диагностирования гидравлических систем тракторных трансмиссий // Вест. 27 Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления // ВСГУТУ – Улан – Удэ, 2014, - №5(50) – С.67–71.
5. Альт В.В. Информационная технология диагностирования ДВС / В. В. Альт, О. Ф. Савченко, Д. Н. Клименко // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана, Беларуси и Болгарии: сборник научных докладов 21 международной научно – практической конференции., Улан – Батор, 20 – 21 сент. 2018 г. – Новосибирск : Изд – во СФНЦА РАН, 2018. – С. 238 – 240.

6. Альт, В.В. Информационные технологии в инновационном развитии АПК / В.В. Альт, С.Н. Ольшевский // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – № 4. – С. 67 – 69.
7. Анализ методов и средств диагностирования тормозных систем автомобиля / И. А. Успенский, Г. Д. Кокорев, И. А. Юхин [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 116. – С. 1051-1072. – EDN VQUVVF.
8. Аникин Н.В. Повышение эксплуатационных качеств транспортных средств при перевозке грузов в АПК / Н.В. Аникин, Г.Д. Кокорев, Г.К. Рембалович [и др.] // Международный технико–экономический журнал. – 2009. – №3. – С. 92 – 96.
9. АО «Петербургский тракторный завод» [Электронный ресурс]. – 2020 г. – Режим доступа: <https://kirovets-ptz.com/>
10. Арженовский, А.Г. Совершенствование организации технического сервиса, методов и средств функционального оперативного диагностирования мобильных энергетических средств в агропромышленном комплексе / Автореферат диссертации доктора технических наук. Специальность: 05.20.03. зерноград – 2020. – 44 с.
11. Афоничев, Д.Н. Совершенствование организации технического сервиса в сельском хозяйстве / Д.Н. Афоничев, Е.В. Кондрашова, И.И. Аксенов // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 3. – С. 230 – 236.
12. Бердников, И.Е. Математические модели определения количества отказов транспортно-технологических машин в зависимости от факторов условий эксплуатации / И.Е. Бердников, С.П. Озорнин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – № 2 (54). – С. 134–142.
13. Бердникова Р.Г. Техническое обслуживание тракторов с использованием системы информационного обеспечения / Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук.

- Специальность: 05.20.03: «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве», Новосибирск – 2013. – 180 с.
- 14.Бондаренко И.И. Бортовое диагностирование на основе микропроцессорной системы технического состояния трактора путём контроля ресурса силового агрегата /Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Специальность: 05.05.03 – «Колёсные и гусеничные машины» //Белорусский национальный технический университет. Минск, 2020 г. – 22 с.
 - 15.Вероятностная модель прогнозирования износа тормозных колодок / И. А. Успенский, Н. В. Лимаренко, Е. А. Ракул [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2021. – Т. 13, № 3. – С. 112-119. – DOI 10.36508/RSATU.2021.91.36.016. – EDN QDXZZE.
 - 16.Воробьев, Д. А. Методы определения рациональной периодичности контроля технического состояния тормозной системы мобильной сельскохозяйственной техники / Д. А. Воробьев, Д. Г. Алленов, Г. Д. Кокорев // Актуальные вопросы применения инженерной науки : Материалы Международной студенческой научно-практической конференции , Рязань, 20 февраля 2019 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2019. – С. 241-245. – EDN ZCLEZF.
 - 17.Годжаев, З.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года / З.А. Годжаев, В.Г. Шевцов, А.В. Лавров, Ю.С. Ценч, В.А. Зубина // Технический сервис машин. – 2019. – №4 (137). С. 220 – 229.
 - 18.ГОСТ Р 27.010–2019. Надёжность в технике. Математические выражения для показателей безотказности, готовности, ремонтпригодности. – М.: Стандартиформ, 2019. – 80 с.
 - 19.Двигатели ЯМЗ-536, ЯМЗ-5361, ЯМЗ-5362, ЯМЗ-5363, ЯМЗ-5364, их модификации и комплектации: Руководство по эксплуатации

- 536.3902150 РЭ – Ярославль: ИКЦ ОАО "Автодизель" (ЯМЗ), 2016. – 285 с.
20. Диагностика современного автомобиля / Ю. Н. Храпов, И. А. Успенский, Г. Д. Кокорев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 118. – С. 1001-1025. – EDN VWPTON.
21. Диагностирование рулевого управления и подвески автомобилей в процессе эксплуатации / А. А. Карташов, Н. В. Лимаренко, И. А. Успенский [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 134-140. – DOI 10.36508/RSATU.2024.20.54.017. – EDN LZDOZR.
22. Диагностирование цилиндропоршневой группы современного двигателя внутреннего сгорания / Ю. Н. Храпов, И. А. Успенский, Г. Д. Кокорев, И. А. Юхин // Магистратура - автотранспортной отрасли : материалы II Всероссийской межвузовской конференции: в 2 частях, Санкт-Петербург, 26–27 октября 2017 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. – С. 275-279. – EDN XMNTGN.
23. Дидманидзе О.Н. Техническая эксплуатация автомобилей: учебное пособие. Под общей редакцией О.Н. Дидманидзе. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017 – 564 с.
24. Желтонога, В. В. Усовершенствование методики проведения диагностики автомобилей / В. В. Желтонога, В. М. Погосян // Новая наука: От идеи к результату. – 2016. – № 12-3. – С. 72-75. – EDN XEOZET
25. Жернаков С.В. Контроль и диагностика технического состояния авиационных двигателей на основе интеллектуального анализа данных / Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. Специальность: 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)». Уфа, 2005. – 364 с.

26. Зависимость стратегий ремонта машин от условий их эксплуатации / В. И. Карагодин, А. Ю. Горелов, А. А. Солнцев [и др.] // Транспорт на альтернативном топливе. – 2024. – № 3(99). – С. 62-72. – EDN FJSIOM.
27. Значение диагностирования автомобилей для повышения эффективности технической эксплуатации / И. И. Фахрутдинов, П. М. Экимов, А. И. Тарасов [и др.] // Проблемы научной мысли. – 2023. – Т. 2, № 2. – С. 48-51. – EDN OWUVXQ.
28. Инструкция по эксплуатации тракторов «КИРОВЕЦ» К–744Р, К – 744Р1, К–744Р2, К–744Р3. /ЗАО «Петербургский тракторный завод» дочернее общество ОАО «Кировский завод» /<https://техника-апк.рф/>– 155 с.
29. Инструкция по диагностике двигателей ЯМЗ-5340, ЯМЗ-536, их модификаций и комплектаций 5340.390225 ИС – Ярославль: ИКЦ ОАО "Автодизель" (ЯМЗ), 2015. – 136 с.
30. Интеграция бортовой диагностики с системами автомобилей / Г. С. Циганов, В. Ю. Шмелев, С. В. Рейн [и др.] // Проблемы научной мысли. – 2025. – Т. 2, № 1. – С. 75-77. – EDN SWINZE.
31. К выбору показателей эффективности при исследовании и совершенствовании системы технической эксплуатации автомобильного транспорта в сельском хозяйстве / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Г. Д. Кокорев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 108. – С. 1058-1071. – EDN TROMIJ.
32. Казаков Д.В. Совершенствование методики диагностирования энергетических показателей сельскохозяйственных тракторов в эксплуатационных условиях. Специальность 05.20.03 – «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» /Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Зерноград, 2008 – 22 с.
33. Катаев, Ю. В. Актуальные вопросы системы технического сопровождения сложной сельскохозяйственной техники в АПК / Ю. В.

- Катаев, В. С. Герасимов, И. А. Тишанинов // Техника и оборудование для села. – 2024. – № 2(320). – С. 2-7. – DOI 10.33267/2072-9642-2024-2-2-7. – EDN LDKGXM.
34. Катаев, Ю. В. Бесконтактная диагностика двигателя трактора через CAN-интерфейс / Ю. В. Катаев, И. А. Тишанинов, Е. А. Градов // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 8(314). – С. 36-39. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-8-36-39. – EDN SZBRR1.
35. Катаев, Ю. В. Диагностирование технического состояния мобильных энергетических средств с использованием цифровых технологий / Ю. В. Катаев // Технический сервис машин. – 2023. – № 1(150). – С. 21-28. – DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-21-28. – EDN RGHPRB.
36. Катаев, Ю. В. Использование систем бесконтактной диагностики при техническом обслуживании энергонасыщенной сельскохозяйственной техники / Ю. В. Катаев, В. С. Герасимов, И. А. Тишанинов // Технический сервис машин. – 2022. – № 2(147). – С. 60-66. – DOI 10.22314/2618-8287-2022-60-2-60-66. – EDN CMOALX.
37. Катаев, Ю. В. Контроль технического состояния сельскохозяйственной техники через онлайн мониторинг параметров / Ю. В. Катаев, Е. А. Градов, И. А. Тишанинов // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2022. – № 1. – С. 14-19. – DOI 10.33920/sel-10-2201-03. – EDN XEGIID.
38. Катаев, Ю. В. Определение параметров технического состояния автотракторной техники через CAN протокол / Ю. В. Катаев // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 91-7. – С. 30-32. – DOI 10.18411/trnio-11-2022-330. – EDN BUVTEF.
39. Катаев, Ю. В. Применение цифровых технологий при диагностировании двигателей энергонасыщенной сельскохозяйственной техники / Ю. В. Катаев, И. А. Тишанинов // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 4. – С. 52-59. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-4-52-59. – EDN BCZNBW.

40. Катаев, Ю. В. Удаленное диагностирование параметров технического состояния сельскохозяйственной техники / Ю. В. Катаев // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2024. – № 10. – С. 20-26. – DOI 10.33920/sel-10-2410-04. – EDN CKZPWM.
41. Катаев, Ю. В. Цифровая диагностика ДВС в инженерной службе АПК / Ю. В. Катаев // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2025. – № 2. – С. 11-15. – DOI 10.33920/sel-10-2502-02. – EDN KIENUS.
42. Кокорев, Г. Д. Математическая модель изменения технического состояния мобильного транспорта в процессе эксплуатации / Г. Д. Кокорев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2012. – № 4(16). – С. 90-93. – EDN PLVONP.
43. Кокорев, Г. Д. Математическое описание процесса изменения диагностического параметра автомобиля / Г. Д. Кокорев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 120. – С. 984-999. – EDN WHGHLL.
44. Кокорев, Г. Д. Методика выбора диагностируемых параметров автомобилей в условиях сельскохозяйственного производства / Г. Д. Кокорев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 117. – С. 793-806. – EDN VROAFH.
45. Кокорев, Г. Д. Повышение эффективности системы технической эксплуатации автомобилей в сельском хозяйстве на основе инженерно-кибернетического подхода : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Кокорев Геннадий Дмитриевич. – Рязань, 2014. – 36 с. – EDN ZPHODP.

46. Кокорев, Г. Д. Повышение эффективности системы технической эксплуатации автомобилей в сельском хозяйстве на основе инженерно-кибернетического подхода : специальность 05.22.00 "Транспорт" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Г. Д. Кокорев. – Саранск, 2014. – 483 с. – EDN TGLFOT.
47. Кокорев, Г. Д. Прогнозирование состояния автомобиля на основе аппроксимации изменения параметров состояния его элементов / Г. Д. Кокорев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 121. – С. 1434-1452. – DOI 10.21515/1990-4665-121-088. – EDN WWSLBZ.
48. Кокорев, Г. Д. Способ отбора рациональной совокупности объектов, подлежащих техническому диагностированию / Г. Д. Кокорев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2013. – № 1(17). – С. 61-64. – EDN QUURQP.
49. Кокорев, Г. Д. Стратегии технического обслуживания и ремонта автомобильного транспорта / Г. Д. Кокорев, И. А. Успенский, И. Н. Николотов // Международный технико-экономический журнал. – 2009. – № 3. – С. 61-65. – EDN LSQHW P.
50. Кокорев, Г. Д. Формирование комплексной программы технического обслуживания и ремонта МТП / Г. Д. Кокорев, И. А. Успенский, И. Н. Николотов // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 11. – С. 43-45. – EDN NDGPQB.
51. Контроль технического состояния двигателя по давлению в системе смазки автомобилей КАМАЗ / В. В. Лянденбургский, А. Т. Кулаков, К. З. Кухмазов, В. В. Коновалов // Нива Поволжья. – 2022. – № 4(64). – С. 3001. – DOI 10.36461/NP.2022.64.4.003. – EDN CSRVKP.
52. Контроль технического состояния энергонасыщенных тракторов с использованием алгоритмов искусственного интеллекта / Е. В. Пестряков, Ю. В. Катаев, М. Н. Костомахин [и др.] // Техника и

- оборудование для села. – 2024. – № 9(327). – С. 2-5. – DOI 10.33267/2072-9642-2024-9-2-5. – EDN IXDPJD.
53. Кузнецова Э.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Горохов А.А., Сидоров А.А. Подход к диагностированию тракторов агропромышленного комплекса // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С. 93-100 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.53.90.013>
54. Кузнецова, Э. В. Анализ способов диагностирования технического состояния тракторов в АПК / Э. В. Кузнецова, А. А. Сидоров, И.А. Юхин // Научно-технические приоритеты развития АПК России : Материалы 76-й Международной научно-практической конференции, 24 апреля 2025 года. – Рязань : Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета, 2025. – Часть II. – С. 52-59.
55. Кузнецова, Э. В. Перевод фактических значений диагностических показателей двигателей в диагностический код технического состояния / Э. В. Кузнецова, И. А. Юхин, А. А. Горохов // Экономика строительства. – 2025. – № 1. – С. 334-336. – EDN AFEEOZ.
56. Кузнецова, Э. В. Прогнозирование технического состояния тракторов сельскохозяйственного назначения в полевых условиях / Э. В. Кузнецова, И. А. Юхин, А. А. Горохов // Инновации и инвестиции. – 2024. – № 12. – С. 395-400. – EDN STRKUV.
57. Кузнецова, Э. В. Теория прогнозирования ресурса тракторов на основе перевода их диагностических показателей в безразмерную величину / Э. В. Кузнецова, И. А. Юхин, А. А. Горохов // Экономика строительства. – 2025. – № 1. – С. 330-333. – EDN YWZJIM.
58. Кумархан, О. К вопросу контроля технического состояния транспортной техники / О. Кумархан // Актуальные вопросы и достижения современной науки : Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Нур-Султан, 13 апреля 2022 года. –

- Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2022. – С. 60-63. – EDN UTGJON.
59. Курчаткин, В.В. Надежность и ремонт машин / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов и др.; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: «Колос», 2000. – 776 с.
60. Лесник, Н.А. Оценка влияния программного обеспечения для управления техническим обслуживанием машин на их комплексные показатели надёжности / Н.А. Лесник // Активная и честолубивая интеллектуальная молодёжь сельскому хозяйству, 2021. – № 1(10). – С. 23 – 28.
61. Любимов С.В. Особенности эксплуатации тракторов в условиях Северо – Западного региона [Текст] / С.В. Любимов, А.П. Картошкин // Научный журнал «Вестник» ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет». № 1(40) – 2010 – С. 17–19.
62. Любимов С.В. Расчётно-теоретическое обоснование организации технического сервиса тракторов смешанного парка рынка [Текст] / С.В. Любимов // Ежеквартальный научный журнал «Известия» ФГБОУ «Санкт – Петербургский государственный аграрный университет. № 26 – 2012 – С. 363 – 373.
63. Любимов С.В. Совершенствование организации технического сервиса тракторов смешанного парка путём создания универсальной диагностической мобильной лаборатории / Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Специальность: 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. Санкт – Петербург, 2013. – 24 с.
64. Лянденбургский, В. В. Бортовая система диагностирования системы охлаждения автомобилей / В. В. Лянденбургский, А. И. Tarasov // Грузовик. – 2023. – № 9. – С. 24-27. – DOI 10.36652/1684-1298-2023-9-24-27. – EDN UTIPQ.

65. Методика построения матрицы состояний диагностических параметров тормозной системы автомобиля / И. А. Успенский, Г. Д. Кокорев, И. Н. Николотов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 99. – С. 628-649. – EDN SGTOIT.
66. Методы определения рациональной периодичности контроля технического состояния тормозной системы мобильной сельскохозяйственной техники / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Г. Д. Кокорев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 86. – С. 300-311. – EDN TJAOJD.
67. Михлин В.М. Методические указания по прогнозированию технического состояния машин / Михлин В.М. – М.: ОНТИ – ГОСНИТИ, 1972. – 34 с.
68. Михлин В.М. Прогнозирование технического состояния машин / Михлин В.М. – М.: Колос, 1976. – 254 с.
69. Морунков, А. Н. Модернизация обкаточно-тормозных стендов для обкатки автотракторных дизелей / А. Н. Морунков, С. В. Тимохин // Технический сервис машин. – 2022. – № 2(147). – С. 76-85. – DOI 10.22314/2618-8287-2022-60-2-76-85. – EDN OSQGGE.
70. Морунков, А. Н. Снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами тракторных дизелей при технологической обкатке / А. Н. Морунков, С. В. Тимохин, М. В. Рыблов // Технический сервис машин. – 2024. – Т. 62, № 4. – С. 40-47. – DOI 10.22314/2618-8287-2024-62-4-40-47. – EDN VLWJSM.
71. Морунков, А. Н. Способ холодной обкатки автотракторных двигателей и устройство для его реализации / А. Н. Морунков, С. В. Тимохин // Нива Поволжья. – 2024. – № 3(71). – DOI 10.36461/NP.2024.71.3.002. – EDN EZVNTT.

- 72.Обоснование конструкции стенда для динамических испытаний ведущих колес транспортно-технологических машин АПК / А. С. Уланов, В. Ф. Купряшкин, Н. И. Наумкин [и др.] // Инженерные технологии и системы. – 2022. – Т. 32, № 1. – С. 71-89. – DOI 10.15507/2658-4123.032.202201.071-089. – EDN SHMMGO.
- 73.Огородников, П.И. Информационное обеспечение технического сервиса и пути повышения его эффективности / П.И. Огородников, И.В. Матвейкин, В.В. Извозчикова // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 3. – С. 36 – 39.
- 74.Ольшевский, С.Н. Научное обоснование и разработка методов, технологии и средств диагностирования тракторных двигателей в эксплуатационных условиях /Автореферат диссертации доктора технических наук. Специальность: 05.20.03. – Новосибирск, 2017. – 40 с.
- 75.Опыт развития инженерно-технической системы по поддержанию надежности сельскохозяйственной техники / Ю. В. Катаев, В. С. Герасимов, И. А. Тишанинов, Е. А. Градов // Техника и оборудование для села. – 2025. – № 3(333). – С. 37-39. – DOI 10.33267/2072-9642-2025-3-37-39. – EDN SMJGAR.
- 76.Оценка состояния износа тормозных колодок / И. А. Успенский, И. А. Юхин, Н. В. Лимаренко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 3(47). – С. 119-125. – DOI 10.36508/RSATU.2020.53.35.021. – EDN НОКМХV.
- 77.Парлюк, Е. П. Методика определения основных показателей температурно-динамической характеристики охлаждающей системы энергетического средства в процессе эксплуатации / Е. П. Парлюк, Н. А. Большаков // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16, № 2(62). – С. 75-79. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-75-79. – EDN WZEMOJ.

78. Парлюк, Е. П. Определение эффективности теплоотдачи элементов охлаждающей системы автотракторной техники / Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев, О. Н. Дидманидзе // Наука в центральной России. – 2021. – № 5(53). – С. 66-72. – DOI 10.35887/2305-2538-2021-5-66-72. – EDN BPWETB.
79. Парлюк, Е. П. Пути повышения долговечности и безотказности функциональных агрегатов автотракторной техники / Е. П. Парлюк // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 4(45). – С. 148-154. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-4-148-154. – EDN IXPQIX.
80. Парлюк, Е. П. Совершенствование организации технического сервиса машин и оборудования / Е. П. Парлюк, Д. Л. Кушнарева // Сельский механизатор. – 2023. – № 3. – С. 38-40. – DOI 10.47336/0131-7393-2023-3-38-39-40. – EDN HNSWGG.
81. Парлюк, Е. П. Совершенствование охлаждающих систем автотракторных двигателей и методов контроля их состояния / Е. П. Парлюк // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 5(287). – С. 41-44. – DOI 10.33267/2072-9642-2021-5-41-44. – EDN MFYMPI.
82. Патент № 2266527 Российская Федерация МПК G 01 L 3/24, G 01 M 15/00 Способ определения мощности двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Н.В. Щетинин, А.Г. Арженовский, Д.О. Мальцев, Д.В. Казаков, А.А. Морозов; заявитель и патентообладатель Азово–Черноморская государственная агроинженерная академия, 2022.
83. Патент № 2452880 С1 Российская Федерация, МПК F16D 66/02, F16D 65/08. Устройство информирования водителя о предельном износе тормозной накладки : № 2010142377/11 : заявл. 15.10.2010 : опубл. 10.06.2012 / И. Н. Николотов, Е. А. Карцев, Г. Д. Кокорев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный

агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN АОХНСГ.

84. Патент № 2648924 С2 Российская Федерация, МПК F16D 66/02. Устройство для контроля изнашивания тормозной колодки : № 2016137464 : заявл. 19.09.2016 : опубл. 28.03.2018 / А. А. Симдянкин, И. А. Успенский, Н. В. Бышов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ). – EDN NNVCWN.
85. Патент № 2774696 С2 Российская Федерация, МПК F16D 66/02. сигнализатор состояния тормозной колодки автомобиля : № 2020134666 : заявл. 21.10.2020 : опубл. 21.06.2022 / М. В. Семьинин, Г. Д. Кокорев, С. А. Шевченко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования "Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное ордена Суворова дважды Краснознаменное командное училище имени генерала армии В.Ф. Маргелова" Министерства обороны Российской Федерации. – EDN DUNFVR.
86. Патент № 2780381 С1 Российская Федерация, МПК G01N 25/20, G01N 25/72, B60K 11/00. Способ определения теплодинамических показателей блочно-модульной системы охлаждения двигателя тягово-транспортного средства : № 2021121322 : заявл. 14.09.2021 : опубл. 22.09.2022 / Е. П. Парлюк, О. Н. Дидманидзе, Р. Т. Хакимов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN DNBKZL.
87. Патент на изобретение RU «Способ оценки технического состояния двигателей внутреннего сгорания» № 2022115089. Опубл. 02.06.2022

- Бюл. №34. /Халиуллин Ю.М., Медведев Д.И., Горохов А.А. //Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования Военный учебно – научный центр Военно – Морского Флота «Военно – морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова», Санкт – Петербург, 2022.
- 88.Патент на полезную модель «Универсальная диагностическая мобильная лаборатория» [Текст] / С.В. Любимов, А.П. Картошкин. № 2011132512/13 (047913), 2011 – 6 с.
- 89.Патент на полезную модель № 113788 U1 Российская Федерация, МПК F02M 37/22. система контроля состояния фильтра двигателя внутреннего сгорания : № 2011129082/06 : заявл. 14.07.2011 : опубл. 27.02.2012 / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, И. А. Успенский [и др.] ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN GNVURU.
- 90.Патент на полезную модель № 120149 U1 Российская Федерация, МПК F02M 37/22. Система контроля состояния фильтра двигателя внутреннего сгорания : № 2012116803/28 : заявл. 25.04.2012 : опубл. 10.09.2012 / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, И. А. Успенский [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN DWOAFJ.
- 91.Патент на полезную модель № 2013660484 Российская Федерация. Имитационная модель производственного процесса ремонта агрегатов : № 2013615197 : заявл. 20.06.2013 / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Г. Д. Кокорев, И. А. Успенский ; заявитель Рязанский государственный

- агротехнологический университет им. П.А. Костычева. – EDN WDQEBX.
92. Периодичность контроля технического состояния мобильной сельскохозяйственной техники / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Г. Д. Кокорев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 81. – С. 390-400. – EDN PETIBN.
93. Перспективы развития тракторостроения в России / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев, М. М. Прокофьев // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 5(311). – С. 2-7. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-5-2-7. – EDN UKRERY.
94. Перспективы технической эксплуатации мобильных средств сельскохозяйственного производства / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Н. В. Аникин [и др.]. – Рязань : Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2015. – 192 с. – ISBN 978-5-98660-263-9. – EDN VVPUMF.
95. Повышение готовности к использованию по назначению мобильной сельскохозяйственной техники совершенствованием системы диагностирования / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, И. А. Успенский [и др.]. – Рязань : Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2013. – 187 с. – ISBN 978-5-98660-121-2. – EDN RDSYKR.
96. Повышение уровня технического обслуживания энергонасыщенной техники / Ю. В. Катаев, М. Н. Костомахин, Н. А. Петрищев [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 4(298). – С. 27-31. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-4-27-31. – EDN BMPALW.
97. Повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Г. Д. Кокорев [и др.] // Сельский механизатор. – 2015. – № 7. – С. 38-39. – EDN UIOYCB.

98. Прогнозирование изменения технического состояния тормозной системы образца мобильного транспорта в процессе эксплуатации / Г. Д. Кокорев, И. А. Успенский, Е. А. Панкова [и др.] // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции : Доклады Международной научно-практической конференции, Минск, 21–22 марта 2013 года. – Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2013. – С. 197-200. – EDN TZEQTV.
99. Прогнозирование отказов в двигателях сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий / Ю. В. Катаев, М. Г. Загоруйко, И. А. Тишанинов, Е. А. Градов // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 2. – С. 79-82. – DOI 10.28983/asj.y2022i2pp79-82. – EDN ZYCIVA.
100. Пучин Е.А. Определение момента окончания полнопрограммных и усеченных испытаний на предельное техническое состояние дизельного двигателя при ускоренной обкатке (обкатка новых и после капитального ремонта двигателей) / Пучин Е.А., Сорокин И.А. // Техника и оборудование для села. №10, 2013. – С. 38 – 41.
101. Пучин Е.А. Применение молекулярной инженерии для повышения ресурса сельскохозяйственной техники / Пучин Е.А., Гайдар С.М. // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». Москва – Вып. 2(41), 2010. – С. 101 – 106.
102. Разработка таблицы состояний и алгоритма диагностирования тормозной системы / Н. В. Бышов, С. Н. Борячев, Г. Д. Кокорев [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 12(87). – С. 179-184. – EDN RRUUUZ.
103. Раскатов С.Н. Патент на изобретение № 2189487. Клапан для выключения цилиндров с электрическим приводом / Раскатов С.Н., Кокорев Г.Д. – 2002.
104. Реализация модулей интеграции бортовой диагностики автомобилей / Г. С. Циганов, В. Ю. Шмелев, С. В. Рейн [и др.] //

Проблемы научной мысли. – 2025. – Т. 2, № 1. – С. 78-80. – EDN FAQFVI.

105. Савельев А.П. Диагностирование тракторов по динамическому состоянию машинно-тракторных агрегатов / А.П. Савельев. – Саранск: Издательство Мордовского университета, 2003. – 218 с.
106. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011616091 Российская Федерация. Экспертная система диагностирования дизеля КАМАЗ 740 : № 2011612353 : заявл. 04.08.2011 / Г. Д. Кокорев, Н. В. Бышов, С. Н. Бoryчев [и др.] ; заявитель Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. – EDN VKNZDY.
107. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025619432 Российская Федерация. «Цифровой комплекс повышения эффективности эксплуатации автомобилей на линии «Fueltruck»» : заявл. 31.03.2025 : опубл. 16.04.2025 / П. С. Синицин, И. А. Успенский, И. А. Юхин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – EDN KPGKBI.
108. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669507 Российская Федерация. Программа повышения эффективности работы автомобилей DAF на линии цифровизацией их эксплуатации : № 2024668672 : заявл. 08.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / Д. М. Юмаев, А. В. Шемякин, С. Н. Бoryчев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – EDN LHZETS.
109. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024686883 Российская Федерация. «цифровизация повышения

- эффективности эксплуатации автомобилей MAN на линии» : заявл. 02.11.2024 : опубл. 13.11.2024 / А. В. Шемякин, С. Н. Борычев, Г. К. Рембалович [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – EDN JHOWKA.
110. Синицин, П. С. Основные принципы диагностирования МСХТ с использованием современного диагностического оборудования / П. С. Синицин, Г. Д. Кокорев, И. А. Успенский // Сборник научных работ студентов Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева : Материалы научно-практической конференции 2011 года, Рязань, 01 января – 31 2011 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, ФГБОУ ВПО " Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". Том 1. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2011. – С. 263-269. – EDN TEBHUN.
111. Совершенствование диагностирования тракторов агропромышленного комплекса / Э. В. Кузнецова, И. А. Успенский, И. А. Юхин, А. А. Горохов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2025. – Т. 17, № 1. – С. 135-142. – DOI 10.36508/RSATU.2025.84.61.019. – EDN ЕМААУО.
112. Совершенствование методов и средств испытаний двигателей сельскохозяйственных тракторов / А. П. Иншаков, И. А. Успенский, С. В. Тимохин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 4(48). – С. 98-107. – DOI 10.36508/RSATU.2020.48.4.014. – EDN UCPBMJ.

113. Соловьёв, Р.Ю. Современная концепция обслуживания и ремонта машин / Р.Ю. Соловьёв, В.М. Михлин, А.В. Колчин // Техника в сельском хозяйстве. №1, 2008.– С. 12–15.
114. Сравнительный анализ существующих методов диагностирования / К. И. Тенишев, И. И. Фахрутдинов, П. М. Экимов [и др.] // Проблемы научной мысли. – 2023. – Т. 2, № 4. – С. 66-69. – EDN PZBFXV.
115. Стенд для обкатки и испытаний двигателей малогабаритных тракторов / Д. В. Байков, А. П. Иншаков, С. В. Тимохин [и др.] // Сельский механизатор. – 2021. – № 1. – С. 36-37. – EDN FPNTAD.
116. Таратковский И.Б. Опыт статистического исследования процесса изнашивания деталей машин / И.Б. Таратковский // Вестник машиностроения. – 1964. – № 6. – С. 54–62.
117. Температурные показатели охлаждающих жидкостей для аккумуляторов электротракторов и электромобилей / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, А. И. Сучков [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2023. – Т. 17, № 4. – С. 55-61. – DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-4-55-61. – EDN SPTZND.
118. Техническое сопровождение сельскохозяйственной техники / Ю. В. Катаев, В. С. Герасимов, Н. К. Баулин [и др.] // Технический сервис машин. – 2022. – № 2(147). – С. 51-59. – DOI 10.22314/2618-8287-2022-60-2-51-59. – EDN GRCAKF.
119. Технология холодной обкатки дизелей с повышенными нагрузочно-скоростными режимами / А. Н. Морунков, С. В. Тимохин, И. А. Спицын [и др.] // Нива Поволжья. – 2021. – № 3(60). – С. 112-119. – DOI 10.36461/NP.2021.60.3.010. – EDN AUOIOI.
120. Тимохин, С. В. Исследование технико-экономических показателей системы электроснабжения автомобиля / С. В. Тимохин, Ю. В. Сергеевичев // Нива Поволжья. – 2021. – № 1(58). – С. 137-143. – DOI 10.36461/NP.2021.58.1.020. – EDN NLBCGU.

121. Тимохин, С. В. Контроль параметров автотракторных дизелей при диагностировании и обкатке методом динамического нагружения / С. В. Тимохин, А. Н. Морунков // Нива Поволжья. – 2024. – № 3(71). – DOI 10.36461/NP.2024.71.3.003. – EDN JXDCPI.
122. Тимохин, С. В. Сигнализатор уровня воды в топливном фильтре дизеля / С. В. Тимохин, И. А. Спицын, Ю. В. Родионов // Технический сервис машин. – 2022. – № 4(149). – С. 46-53. – DOI 10.22314/2618-8287-2022-60-4-46-53. – EDN RFCVOV.
123. Управление техническим состоянием сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий / А. С. Дорохов, Ю. В. Катаев, М. Н. Костомахин [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. – 2024. – № 5. – С. 51-56. – DOI 10.31857/S2500262724050102. – EDN SINBGB.
124. Хабардин, В.Н. Математическое описание процесса технического обслуживания машин к решению задачи выбора экологических показателей его качества / В.Н. Хабардин // Теоретический и научно–практический журнал «Известия Оренбургского государственного аграрного университета». № 6(86), 2020.– С. 156–160.
125. Черноиванов, В.И. Новая стратегия технического обслуживания и ремонта машин / В.И. Черноиванов, В.А. Денисов, Ю.В. Катаев, А.А. Соломашкин А.А. // Техника и оборудование для села. № 9 (291), 2021. – С. 33 – 36.
126. Черноиванов, В.И. Повышение эффективности использования машинно–тракторного парка в современных условиях: науч. издание / В.И. Черноиванов, А.А. Ежевский, В.Ф. Федоренко, С.А. Соловьев // – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 336 с.
127. Черноиванов, В.И. Стратегия развития технического сервиса АПК // Техника в сельском хозяйстве. №2, 2004. – С. 3–6.
128. Черноиванов, В.И. Техническое обслуживание, ремонт и обновление сельскохозяйственной техники в современных условиях /

- В.И. Черноиванов, С.А. Горячев, Л.М. Пильщиков, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 148 с.
129. Чурилов Д.Г. Диагностика механизма газораспределения автотракторных двигателей / Чурилов Д.Г., Горохов А.А., Абрамова Т.Ю. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. №4 (16), 2012. – С. 136 – 139.
 130. Энергообеспечение сельскохозяйственного тракторостроения России / О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин, Е. П. Парлюк, В. А. Марков // Агроинженерия. – 2021. – № 2(102). – С. 4-8. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-2-4-8. – EDN GAZMJF.
 131. Энергоэффективность и ресурсосбережение автотракторной техники / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев, Н. А. Большаков // Известия Международной академии аграрного образования. – 2023. – № 67. – С. 38-43. – EDN YVFPZL.
 132. Development of the mathematical model of fuel equipment and justification for diagnosing diesel engines by injector needle displacement / I. Danilov, A. Marusin, M. Mikhlik, I. Uspensky // Transport Problems. – 2020. – Vol. 15, No. 1. – P. 93-104. – DOI 10.21307/TP-2020-009. – EDN HVJMNJ.
 133. Energy and resource saving, labor and environmental protection during running-in automotive-tractor diesel engines by using new technologies and means for their implementation / S. Timohin, A. Morunkov, A. Inshakov, I. Kurbakov // Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering. – 2021. – Vol. 10. – P. 116-121. – EDN PXNNTW.
 134. Experimental Sample of Digital Indicator for Assessing the Technical Condition of Hydraulic Control System of High-Power Tractor Gearbox / M. N. Kostomakhin, Yu. V. Kataev, A. S. Sayapin [et al.] // Russian Engineering Research. – 2024. – Vol. 44, No. 11. – P. 1511-1517. – DOI 10.3103/S1068798X24702885. – EDN PMBK LX.

135. Increase of the resource of brake pads by using the driver's information device about wearing friction linings / I. A. Uspensky, S. N. Borychev, G. D. Kokorev [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – Vol. 14, No. 12. – P. 2320-2323. – EDN AHQETS.
136. Management of the Technical Condition of Agricultural Machinery Using Digital Technologies / A. S. Dorokhov, Yu. V. Kataev, M. N. Kostomakhin [et al.] // Russian Agricultural Sciences. – 2024. – Vol. 50, No. 6. – P. 786-791. – DOI 10.3103/S1068367425700107. – EDN OKBSIW.
137. System for Remote Monitoring of Tractors and Detection of Their Incorrect Operation / M. N. Kostomakhin, Y. V. Kataev, N. A. Petrishchev [et al.] // Russian Engineering Research. – 2022. – Vol. 42, No. 4. – P. 360-364. – DOI 10.3103/S1068798X22040189. – EDN AUYDEL.

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор
ООО "СХП ФЕДЯКИНО"

Рязанская область, м. р-н Рыбновский, с. п.

Вакинское, с. Федякино

Зюба В.В.



2025 года

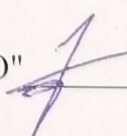
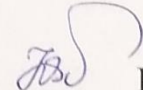
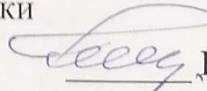
АКТ

внедрения диагностического кода при обслуживании тракторов в ООО "СХП ФЕДЯКИНО" (Рязанская область, м. р-н Рыбновский, с. п. Вакинское, с. Федякино)

Комиссия в составе: представителя общества с ограниченной ответственностью "СХП ФЕДЯКИНО" - генерального директора Зюбы Валентина Владимировича и представителей ФГБОУ ВО РГАТУ – заведующего кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики доктора технических наук, профессора Юхина Ивана Александровича, соискателя кафедры Кузнецовой Эмили Васильевны, составила настоящий акт о том, что предложенный способ диагностирования тракторов АПК на основе диагностического кода проходил экспериментальное внедрение в 2025 году в ООО "СХП ФЕДЯКИНО" (Рязанская область, м. р-н Рыбновский, с. п. Вакинское, с. Федякино).

В результате исследований было выявлено, что диагностирование тракторов АПК на основе диагностического кода уменьшает затраты на ремонт в 1,05-1,07 раз в сравнении с используемыми в ООО "СХП ФЕДЯКИНО" (Рязанская область, м. р-н Рыбновский, с. п. Вакинское, с. Федякино) способами диагностирования.

Подписи:

Генеральный директор ООО "СХП ФЕДЯКИНО"  Зюба В.В.Заведующий кафедрой автотракторной техники
и теплоэнергетики ФГБОУ ВО РГАТУ,
д.т.н., профессор Юхин И.А.соискатель кафедры автотракторной техники
и теплоэнергетики ФГБОУ ВО РГАТУ Кузнецова Э.В.