

На правах рукописи



КУЗНЕЦОВА ЭМИЛИЯ ВАСИЛЬЕВНА

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТРАКТОРОВ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань, 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ).

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Юхин Иван Александрович

Официальные оппоненты

Парлюк Екатерина Петровна,

доктор технических наук, доцент
ФГАОУ ВО «Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)», профессор кафедры
колесных машин

Тимохин Сергей Викторович,

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
аграрный университет», профессор кафедры
«Технический сервис машин»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный
научный агроинженерный центр ВИМ»
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Защита диссертации состоится «23» декабря 2025 года в 12.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: <http://rgatu.ru/>, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.gisnauka.ru/>

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Юхин Иван Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время существует большое разнообразие способов диагностирования технического состояния: визуальные, инструментальные, вибрационные, тепловизионные, лабораторные, акустические, компьютерные, комплексные. 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.

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.

Степень разработанности темы 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.

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.

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

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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования и описывается степень ее разработанности, ставятся цель и задачи исследований, раскрываются методы исследований, приводятся научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы, основные положения диссертации, выносимые на защиту, отражены достоверность и апробация результатов исследования.

В первой главе «Диагностирование тракторов АПК» обосновывается актуальность диагностирования технического состояния тракторов АПК, приведен анализ современного диагностирования технического состояния тракторов АПК и намечены пути его совершенствования.

Установлено, что одним из путей уменьшения затрат времени в ремонте тракторов АПК является совершенствование диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода путём приведения диагностических показателей в единую систему (балл) за счёт перевода фактических значений показателей в безразмерные и прогнозирование их выхода за пределы НТД за счёт категорирования.

Во второй главе «Теоретический подход к диагностированию тракторов АПК» обосновано разделение показателей диагностирования технического состояния тракторов АПК по направлению выхода за пределы НТД и их привязка к балльной шкале.

Показатели диагностирования технического состояния тракторов АПК имеют разное направление, что затрудняет их диагностирование. Одни показатели увеличиваясь ухудшают техническое состояние. Например, повышение температуры охлаждающей жидкости приводит к перегреву двигателя. Другие показатели, уменьшаясь ухудшают техническое состояние. Например, снижение давления моторного масла приводит к недостаточной смазке и повышенному износу сопряжённых деталей. Разделение показателей по направлению выхода за пределы НТД заключается в разделении их на прямые и обратные.

Прямыми считаются показатели (например: температура охлаждающей жидкости), значения которых увеличиваясь совпадают (прямо) с направлением оси стандартного отклонения:

$$ПП_{min} \uparrow\uparrow ПП_{max} \quad (1)$$

где $ПП_{min}$ – минимальные значения прямых показателей, ед. показателя;

$ПП_{max}$ – максимальные значения прямых показателей, ед. показателя.

$\uparrow\uparrow$ – направление стандартного отклонения и направление выхода показателей за пределы НТД, соответственно.

Обратными считаются показатели (например: давление моторного масла), значения которых увеличиваясь направлены противоположно (обратно) оси стандартного отклонения:

$$ПО_{min} \updownarrow ПО_{max} \quad (2)$$

где $ПО_{min}$ – минимальные значения обратных показателей, ед. показателя;
 $ПО_{max}$ – максимальные значения обратных показателей, ед. показателя.

$\updownarrow$ – направление стандартного отклонения и направление выхода показателей за пределы НТД, соответственно.

Таким образом разделение показателей диагностирования технического состояния тракторов АПК позволяет произвести оценку технического состояния, учитывая различную природу изменения показателей.

Привязка прямых и обратных показателей к балльной шкале от 0 до 9 баллов осуществляется на основе кривой нормального распределения случайной величины, что позволяет учесть статистическую природу изменения показателей и их отклонения в пределах НТД.

Прямые и обратные показатели, используемые при диагностировании технического состояния, имеют различную природу и единицы измерения. Например, температура охлаждающей жидкости измеряется в градусах Цельсия ($^{\circ}C$), тогда как давление моторного масла – Паскалях (Па). Это разнообразие единиц измерения представляет собой одну из ключевых сложностей при анализе диагностической информации. Для обеспечения корректности и сопоставимости анализа необходимо переводить эти показатели в безразмерные показатели.

Перевод фактических значений прямых показателей в безразмерные показатели на основе значений НТД осуществляется по формуле:

$$БП = \frac{K^{балл} \cdot (ПП^{факт} - ПП^{min})}{ПП^{max} - ПП^{min}}, \text{ балл} \quad (3)$$

где $K^{балл}$ – балльный коэффициент, $K^{балл} = 9$ баллов;

$ПП^{факт}$ – фактическое значение прямых показателей, ед. показателя;

$ПП^{min}$ – минимальные значения прямых показателей, ед. показателя;

$ПП^{max}$ – максимальные значения прямых показателей, ед. показателя.

Перевод фактических значений обратных показателей в безразмерные показатели с учётом НТД осуществляется по формуле:

$$БП = \frac{K^{балл} \cdot (ПО^{max} - ПО^{факт})}{ПО^{max} - ПО^{min}}, \text{ балл} \quad (4)$$

где $K^{балл}$ – балльный коэффициент, $K^{балл} = 9$ баллов;

$ПО^{факт}$ – фактическое значение обратных показателей, ед. показателя;

$ПО^{min}$ – минимальные значения обратных показателей, ед. показателя;

$ПО^{max}$ – максимальные значения обратных показателей, ед. показателя;

Таким образом, перевод фактических значений прямых и обратных показателей в безразмерные показатели на основе значений НТД заключается в замене статистических показателей (стандартное отклонение, среднее арифметическое) на нормативные (минимальные и максимальные показатели).

Преимущества формулы (4): не требует расчета статистики – используются готовые значения из НТД; универсальность (применима для трактора без истории наблюдений); стандартизация (единая балльная шкала для разных типов показателей).

Остаточный ресурс $T_{\text{ост}}$ тракторов АПК по определённому показателю определяется по формуле:

$$T_{\text{ост}} = t \cdot \left(\alpha \sqrt{\frac{p_{\text{max}} - p_{\text{min}}}{p_{\text{факт}} - p_{\text{min}}}} - 1 \right), \text{ мото - час} \quad (5)$$

где p^{min} – минимальное значение показателя, ед. показателя;

p^{max} – максимальное значение показателя, ед. показателя;

$p_{\text{факт}}$ – фактическое значение показателя, ед. показателя;

t – наработка, мото-час;

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

Три периода степени изменения показателей совпадают с тремя категориями выхода за пределы НТД ($\pm 3\delta$), что позволяет провести исследования остаточного ресурса на основе кривой нормального распределения случайной величины. Это дает возможность использовать разработанный способ диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода для прогнозирования остаточного ресурса тракторов АПК как в мото-часах, так и в баллах.

Двигатель является наиболее уязвимой технической системой, что требует уделения большего внимания при прогнозировании остаточного ресурса, чтобы предотвращать внезапные отказы.

Ключевые показатели для прогнозирования остаточного ресурса:

- температура охлаждающей жидкости: $T_{\text{охл}}$. Выход температуры охлаждающей жидкости за пределы НТД может указывать на проблемы в системе охлаждения, что ведёт к перегреву двигателя.

- температура моторного масла $T_{\text{мм}}$: Выход температуры моторного масла за пределы НТД снижает его смазывающие свойства, что увеличивает износ сопряжённых деталей.

- давление моторного масла $P_{\text{мм}}$: Выход давления моторного масла за пределы НТД свидетельствует о недостаточной смазке сопряжённых деталей, что также ведёт к ускоренному износу.

Остаточный ресурс тракторов АПК в моточасах $T_{\text{ост}}^{\text{мото}}$ с учётом ключевых показателей двигателя определяется по формуле:

$$T_{\text{ост}}^{\text{мото}} = \frac{t}{n} \cdot \left(\alpha \sqrt{\frac{T_{\text{охл}}^{\text{max}} - T_{\text{охл}}^{\text{min}}}{T_{\text{охл}}^{\text{факт}} - T_{\text{охл}}^{\text{min}}}} + \alpha \sqrt{\frac{T_{\text{мм}}^{\text{max}} - T_{\text{мм}}^{\text{min}}}{T_{\text{мм}}^{\text{факт}} - T_{\text{мм}}^{\text{min}}}} + \alpha \sqrt{\frac{P_{\text{мм}}^{\text{max}} - P_{\text{мм}}^{\text{min}}}{P_{\text{мм}}^{\text{факт}} - P_{\text{мм}}^{\text{min}}}} - n \right) \quad (6)$$

где t – наработка, мото-час;

n – количество показателей, $n = 3$ шт.;

α – степень изменения показателя;

$T_{охл}^{min}; T_{мм}^{min}; P_{мм}^{min}$ – минимальное значение показателя, ед. показателя;

$T_{охл}^{max}; T_{мм}^{max}; P_{мм}^{max}$ – максимальное значение показателя, ед. показателя;

$T_{охл}^{факт}; T_{мм}^{факт}; P_{мм}^{факт}$ – фактическое значение показателя, ед. показателя.

Таким образом, предложенная формула для оценки остаточного ресурса тракторов АПК в мото-часах обеспечивает комплексный учет влияния ключевых показателей (температура охлаждающей жидкости, давление и температура моторного масла) через степенную зависимость их фактических отклонений от значений НТД. Это позволяет объективно прогнозировать остаточный ресурс при усреднении вклада каждого показателя с учетом степени его изменения и повышает конкретность решений по техническому обслуживанию и ремонту.

Использование балльной системы оценки остаточного ресурса с вычитанием из максимального значения 9 баллов позволяет получить наглядную и стандартизированную характеристику технического состояния, где повышение итогового балла прямо пропорционально выходу показателей за пределы НТД. Такой подход обеспечивает простоту интерпретации результатов, комплексный учет взаимного влияния ключевых показателей (температура охлаждающей жидкости, величин давления и температуры моторного масла) и возможность оперативного принятия решений о техническом обслуживании и ремонте.

Остаточный ресурс тракторов АПК в баллах $T_{ост}^{балл}$ можно записать в виде:

$$T_{ост}^{балл} = 6 \cdot (k_1^{прямое} + k_2^{прямое} + k_3^{обратно}), \text{балл} \quad (7)$$

где $k_1^{прямое}$ – степень отклонения температуры охлаждающей жидкости;

$k_2^{прямое}$ – степень отклонения температуры моторного масла;

$k_3^{обратно}$ – степень отклонения давления моторного масла.

6 – весовой коэффициент наработки, балл.

Степень отклонения прямых показателей (например: температура охлаждающей жидкости) определяется по формуле:

$$k_1^{прямое} = \frac{T_{охл}^{факт} - T_{охл}^{min}}{T_{охл}^{max} - T_{охл}^{min}} \quad (8)$$

где $T_{охл}^{факт}$ – фактическая температура охлаждающей жидкости, балл;

$T_{охл}^{min}$ – минимальная температура охлаждающей жидкости, балл;

$T_{охл}^{max}$ – максимальная температура охлаждающей жидкости, балл.

Степень отклонения прямых показателей (например: температура моторного масла) определяется по формуле:

$$k_2^{прямое} = \frac{T_{мм}^{факт} - T_{мм}^{min}}{T_{мм}^{max} - T_{мм}^{min}} \quad (9)$$

где $T_{\text{мм}}^{\text{факт}}$ – фактическая температура моторного масла, балл; $T_{\text{мм}}^{\text{min}}$ – минимальная температура моторного масла, балл; $T_{\text{мм}}^{\text{max}}$ – максимальная температура моторного масла, балл.

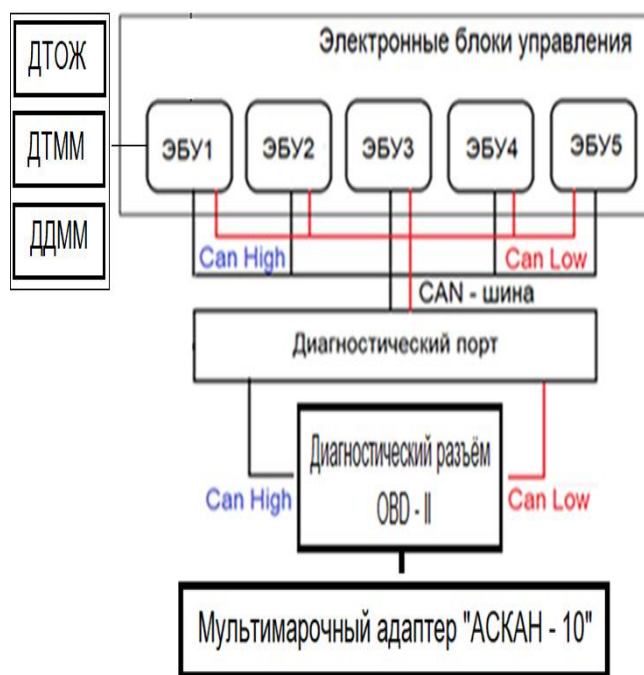
Степень отклонения обратных показателей (например: давление моторного масла) определяется по формуле:

$$k_3^{\text{обратно}} = \frac{P_{\text{мм}}^{\text{max}} - P_{\text{мм}}^{\text{факт}}}{P_{\text{мм}}^{\text{max}} - P_{\text{мм}}^{\text{min}}} \quad (10)$$

где $P_{\text{мм}}^{\text{факт}}$ – фактическое давление моторного масла, балл; $P_{\text{мм}}^{\text{min}}$ – минимальное давление моторного масла, балл; $P_{\text{мм}}^{\text{max}}$ – максимальное давление моторного масла, балл.

Таким образом, проведены теоретические исследования остаточного ресурса 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 (чем выше балл, тем меньше остаточный ресурс).

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований» описывается экспериментальная установка по диагностированию технического состояния тракторов АПК (рис. 1).



ЭБУ1 – электронный блок управления двигателем «ЯМЗ – 53642»; ЭБУ2 – электронный блок управления системами управления; ЭБУ3 – электронный блок управления трансмиссией; ЭБУ4 – электронный блок управления ходовой частью; ЭБУ5 – электронный блок управления электрооборудованием; ДТОЖ – датчик охлаждающей жидкости; ДТММ – датчик температуры моторного масла; ДДММ – датчик давления моторного масла.

Рисунок 1 – Экспериментальная установка по диагностированию технического состояния тракторов АПК

Передача фактических значений показателей двигателя «ЯМЗ – 53642» (температура охлаждающей жидкости, величин давления и температуры моторного масла) в виде цифровых сигналов осуществлялась путём подключения мультимарочного адаптера «АСКАН – 10» через диагностический разъём OBD – II трактора «Кировец – 5» к электронному блоку управления двигателем «ЯМЗ – 53642» и отражалась на его экране.

Разделение показателей на прямые и обратные относительно выхода за пределы НТД осуществляется на основе минимальных и максимальных значений температуры охлаждающей жидкости: $T_{\text{охл}}^{\min} = 83^{\circ}\text{C}$ и $T_{\text{охл}}^{\max} = 97^{\circ}\text{C}$.

Перевод температуры охлаждающей жидкости (прямой показатель) в безразмерные показатели осуществляется по формуле:

$$T_{\text{охл}} = \frac{K^{\text{балл}} \cdot (T_{\text{охл}}^{\text{факт}} - T_{\text{охл}}^{\min})}{T_{\text{охл}}^{\max} - T_{\text{охл}}^{\min}}, \text{балл} \quad (11)$$

где $K^{\text{балл}}$ – балльный коэффициент, $K^{\text{балл}} = 9$ баллов; $T_{\text{охл}}^{\text{факт}}$ – фактическая температура охлаждающей жидкости, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{охл}}^{\min}$ – минимальная температура охлаждающей жидкости, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{охл}}^{\max}$ – максимальная температура охлаждающей жидкости, $^{\circ}\text{C}$.

Выделение категорий температуры охлаждающей жидкости осуществляется следующим образом: I категория: $0 \leq T_{\text{охл}} < 3$, баллов; II категория: $3 \leq T_{\text{охл}} \leq 6$, баллов; III категория: $6 < T_{\text{охл}} \leq 9$, баллов.

Разделение показателей на прямые и обратные относительно выхода за пределы НТД осуществляется на основе минимальных и максимальных значений температуры моторного масла: $T_{\text{мм}}^{\min} = 64^{\circ}\text{C}$ и $T_{\text{мм}}^{\max} = 78^{\circ}\text{C}$.

Перевод температуры моторного масла (прямой показатель) в безразмерные показатели осуществляется по формуле:

$$T_{\text{мм}} = \frac{K^{\text{балл}} \cdot (T_{\text{мм}}^{\text{факт}} - T_{\text{мм}}^{\min})}{T_{\text{мм}}^{\max} - T_{\text{мм}}^{\min}}, \text{балл} \quad (12)$$

где $K^{\text{балл}}$ – балльный коэффициент, $K^{\text{балл}} = 9$ баллов; $T_{\text{мм}}^{\text{факт}}$ – фактическая температура моторного масла, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{мм}}^{\min}$ – минимальная температура моторного масла, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{мм}}^{\max}$ – максимальная температура моторного масла, $^{\circ}\text{C}$.

Выделение категорий температуры моторного масла осуществляется следующим образом: I категория: $0 \leq T_{\text{мм}} < 3$, баллов; II категория: $3 \leq T_{\text{мм}} \leq 6$, баллов; III категория: $6 < T_{\text{мм}} \leq 9$, баллов.

Разделение показателей на прямые и обратные относительно выхода за пределы НТД осуществляется на основе минимальных и максимальных значений давления моторного масла: $P_{\text{мм}}^{\min} = 0,98 \text{ МПа}$ и $P_{\text{мм}}^{\max} = 0,84 \text{ МПа}$

Перевод давления моторного масла (обратный показатель) в безразмерные показатели осуществляется по формуле:

$$P_{\text{мм}} = \frac{K^{\text{балл}} \cdot (P_{\text{мм}}^{\text{max}} - P_{\text{мм}}^{\text{факт}})}{P_{\text{мм}}^{\text{max}} - P_{\text{мм}}^{\text{min}}}, \text{балл} \quad (13)$$

где $K^{\text{балл}}$ – балльный коэффициент, $K^{\text{балл}} = 9$ баллов;

$P_{\text{мм}}^{\text{факт}}$ – фактическое давление моторного масла, МПа;

$P_{\text{мм}}^{\text{min}}$ – минимальное давление моторного масла, МПа;

$P_{\text{мм}}^{\text{max}}$ – максимальное давление моторного масла, МПа;

Выделение категорий давления моторного масла осуществляется следующим образом: I категория: $0 \leq P_{\text{мм}} < 3$, баллов; II категория: $3 \leq P_{\text{мм}} \leq 6$, баллов; III категория: $6 < P_{\text{мм}} \leq 9$, баллов.

Техническое состояние двигателя «ЯМЗ – 53645» определяется по формуле:

$$T_{\text{СЯМЗ-53645}} = \frac{\left(\frac{K^{\text{балл}} \cdot (T_{\text{охл}}^{\text{факт}} - T_{\text{охл}}^{\text{min}})}{T_{\text{охл}}^{\text{max}} - T_{\text{охл}}^{\text{min}}} \right) + \left(\frac{K^{\text{балл}} \cdot (T_{\text{мм}}^{\text{факт}} - T_{\text{мм}}^{\text{min}})}{T_{\text{мм}}^{\text{max}} - T_{\text{мм}}^{\text{min}}} \right) + \left(\frac{K^{\text{балл}} \cdot (P_{\text{мм}}^{\text{max}} - P_{\text{мм}}^{\text{факт}})}{P_{\text{мм}}^{\text{max}} - P_{\text{мм}}^{\text{min}}} \right)}{n}, \text{балл} \quad (14)$$

где n – количество показателей двигателя «ЯМЗ – 53645», $n = 3$ шт; $K^{\text{балл}}$ – балльный коэффициент, $K^{\text{балл}} = 9$ баллов; $T_{\text{мм}}^{\text{факт}}$ – фактическая температура моторного масла, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{мм}}^{\text{min}}$ – минимальная температура моторного масла, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{мм}}^{\text{max}}$ – максимальная температура моторного масла, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{охл}}^{\text{факт}}$ – фактическая температура моторного масла, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{охл}}^{\text{min}}$ – минимальная температура моторного масла, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{охл}}^{\text{max}}$ – максимальная температура моторного масла, $^{\circ}\text{C}$. $P_{\text{мм}}^{\text{факт}}$ – фактическое давление моторного масла, МПа; $P_{\text{мм}}^{\text{min}}$ – минимальное давление моторного масла, МПа; $P_{\text{мм}}^{\text{max}}$ – максимальное давление моторного масла жидкости, МПа.

Таким образом для формирования диагностического кода разработана частная методика на основе использования минимальных и максимальных значений показателей, указанных в НТД по эксплуатации двигателя «ЯМЗ – 53642».

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» приведены результаты исследования температуры охлаждающей жидкости, величин давления и температуры моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642».

Результаты выделения категорий выхода температуры охлаждающей жидкости двигателя «ЯМЗ – 53642» за пределы НТД представлены в таблице 1.

Таблица 1 – 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, баллы	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	$0 \leq 2 < 3$	

№	Балльная шкала Б, балл	Температура моторного масла T _{мм} °C	Диапазон категории, баллы	Категория
5.	2,571429	87	3 ≤ 3 ≤ 6	Категория II
6.	3,214286	88		
7.	3,857143	89	3 ≤ 4 ≤ 6	
8.	4,153846	90		
9.	5,142857	91	3 ≤ 5 ≤ 6	
10.	5,785714	92	3 ≤ 6 ≤ 6	
11.	6,428571	93		
12.	7,071429	94	6 < 7 ≤ 9	Категория III
13.	7,714286	95	6 < 8 ≤ 9	
14.	8,35714	96		
15.	9,00000	97	6 < 9 ≤ 9	

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 2.

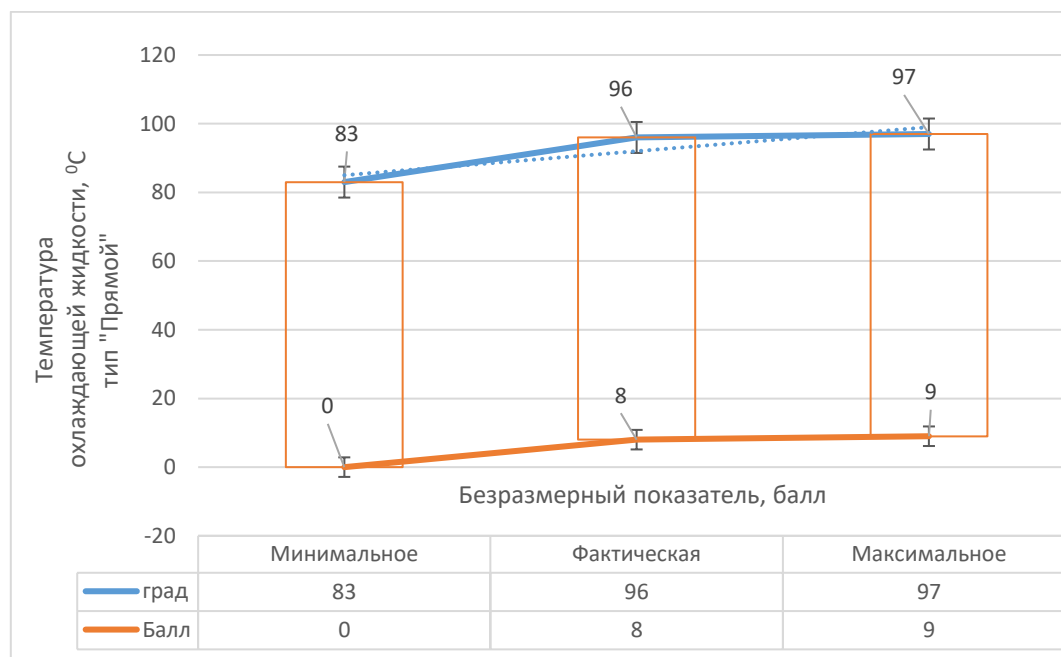


Рисунок 2 – Результаты перевода фактических значений температуры охлаждающей жидкости двигателя «ЯМЗ – 53642» в безразмерный показатель

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 97°C – 9 баллов.

Результаты выделения категорий выхода температуры моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» за пределы НТД представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты выделения категорий выхода температуры моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» за пределы НТД

№	Балльная шкала Б, балл	Температура моторного масла $T_{\text{мм}}$ °С	Диапазон категории, баллы	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	$0 \leq 2 < 3$	Категория II
5.	2,571429	68	$3 \leq 3 \leq 6$	
6.	3,214286	69		
7.	3,857143	70	$3 \leq 4 \leq 6$	
8.	4,153846	71		
9.	5,142857	72	$3 \leq 5 \leq 6$	
10.	5,785714	73	$3 \leq 6 \leq 6$	Категория III
11.	6,428571	74		
12.	7,071429	75	$6 < 7 \leq 9$	
13.	7,71429	77	$6 < 8 \leq 9$	
14.	8,35714	78		
15.	9,00000	79	$6 < 9 \leq 9$	

Установлено, что исследуемый диапазон значений температуры моторного масла 64 – 79°С разделён на следующие категории: категория I – 64 – 67°С; категория II – 68 – 74°С; категория III – 75 – 79°С. Таким образом, температура моторного масла, которая соответствует 79°С является значением выхода за пределы нормативно-технической документации на выбранном режиме эксплуатации.

Результаты перевода фактических значений температуры моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» в безразмерный показатель представлены на рисунке 3.

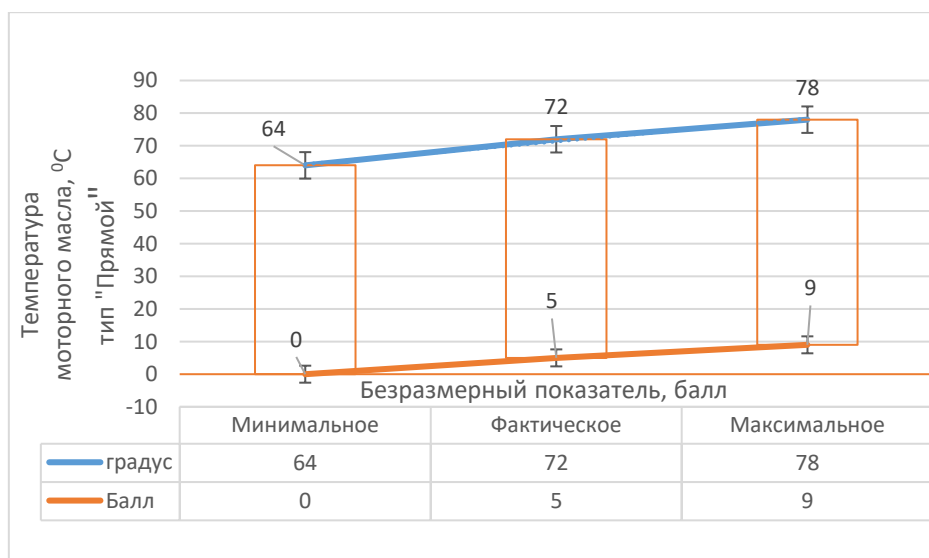


Рисунок 3 – Результаты перевода фактических значений температуры моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» в безразмерный показатель

Установлено, что безразмерный показатель температуры моторного масла тип «Прямой» составляет 5 баллов при фактическом значении 72°С, при этом

минимальное значение 64⁰С (согласно НТД) привязано к балльной шкале 0 балл, а максимальное 78⁰С – 9 баллов.

Результаты выделения категорий выхода давления моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» за пределы НТД представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты выделения категорий выхода давления моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» за пределы НТД

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

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.

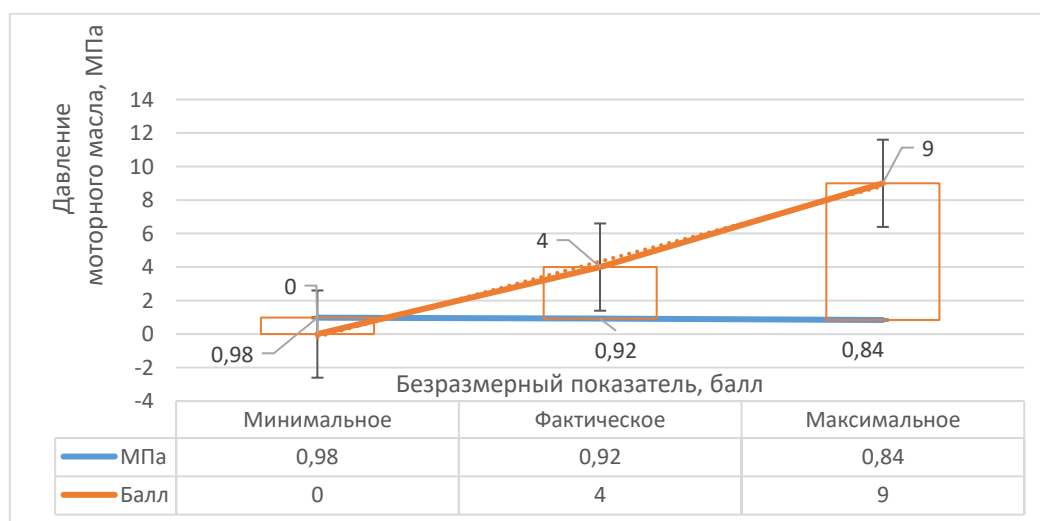


Рисунок 4 – Результаты перевода фактических значений давления моторного масла двигателя «ЯМЗ – 53642» в безразмерный показатель

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.

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

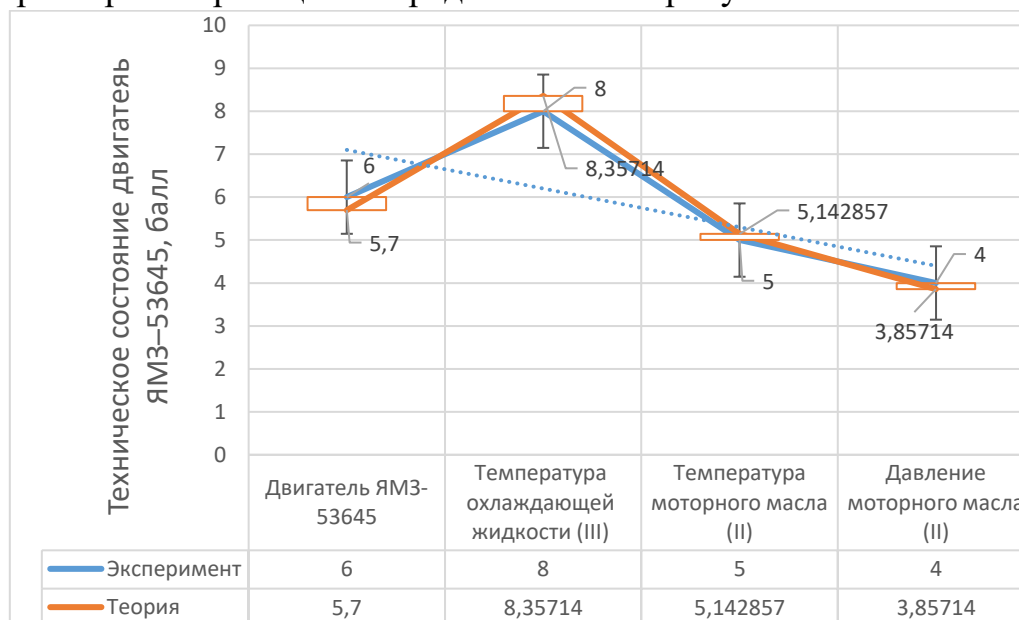


Рисунок 5 – Результаты формирования диагностического кода двигателя «ЯМЗ – 53642» трактора «Кировец – 5»

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

$$\frac{6}{ТС_{ЯМЗ-53645}} \left[\frac{8(III)}{T_{охл}}; \frac{5(II)}{T_{мм}}; \frac{4(II)}{P_{мм}} \right] \quad (15)$$

Установлено, что техническое состояние двигателя «ЯМЗ – 53642» соответствует исправному $\frac{6}{ТС_{ЯМЗ-53645}}$. Однако, температура охлаждающей жидкости $\frac{8(III)}{T_{охл}}$ соответствует 8 баллам 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.

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

$$ТС_{ЯМЗ-53645} = 24,49 + 2,54 \cdot T_{охл} + 3,34 \cdot T_{мм} - 0,96 \cdot T_{охл} \cdot P_{мм} + 1,09 \cdot T_{мм} \quad (16)$$

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 при эксплуатации тракторов в период посевной и уборочной кампаний.

В пятой главе «Технико-экономическое обоснование» приведены результаты оценки экономического эффекта от внедрения способа диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода.

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).

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 способами 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.

Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России

1. 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.

2. 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>

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная

Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1670 подписано в печать 20.10.2025 г.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования*

*«Рязанский государственный агротехнологический университет имени
П.А. Костычева»*

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1

*Отпечатано в издательстве учебной литературы и учебно-методических пособий ФГБОУ
ВО РГАТУ*

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1