

УТВЕРЖДАЮ

Врио ректора федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Воронежский
государственный аграрный университет
имени императора Петра I»

А.А. Воронина

25 апреля

2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Воронежский государственный
аграрный университет имени императора Петра I»**

Диссертация «Разработка цифрового двойника процесса деградации моторного масла в двигателе сельскохозяйственного трактора» выполнена на кафедре сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей агроинженерного факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

В период подготовки диссертации соискатель Григорьев Евгений Александрович обучался в очной аспирантуре на кафедре сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.

Соискатель Григорьев Евгений Александрович окончил агроинженерный факультет ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ в 2021 году с отличием по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» с присвоением квалификации бакалавр, в 2023 году – с отличием по направлению 35.04.06 «Агроинженерия», квалификация – магистр. С 01.09.2023 года по настоящее время обучается в очной аспирантуре в ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Химченко Аркадий Васильевич, работает доцентом кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.

По результатам рассмотрения диссертации «Разработка цифрового двойника процесса деградации моторного масла в двигателе сельскохозяйственного трактора», выполненной на кафедре сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, принято следующее заключение.

Заключение

Актуальность темы

Повышение надежности и экономической эффективности эксплуатации автотракторной техники является стратегической задачей агропромышленного комплекса. Важным фактором является совершенствование системы технического обслуживания (ТО), в частности, переход от жестко регламентированных сроков замены моторного масла к более гибкой системе, учитывающей реальные условия работы. Как показывают современные исследования, традиционный подход, привязывающий срок замены к фиксированной наработке в моточасах, не всегда точно отражает фактическое состояние смазочного материала. Тракторный двигатель внутреннего сгорания (ДВС) может эксплуатироваться в широком диапазоне нагрузочных и скоростных режимов. Это приводит к неравномерной интенсивности деградации масла. Преждевременная замена ведет к неоправданным экономическим затратам, в то время как поздняя замена масла, приведет к повышенному износу и возможным выходом из строя узлов двигателя.

Актуальность перехода к замене масла по фактическому состоянию продиктована сложностью и многофакторностью процесса его старения. В ходе эксплуатации масло выполняет комплекс ответственных функций. Под воздействием разных факторов происходят термоокислительные реакции и истощение пакета присадок. Как показывает анализ, наиболее информатив-

ным и обобщённым показателем, объективно отражающим остаточный ресурс и запас функциональных свойств масла, является щелочное число. Его монотонное снижение в процессе наработки хорошо поддается прогнозированию.

Реализация концепции замены масла «по состоянию» сдерживается отсутствием простых и надежных методов непрерывного бортового контроля. Лабораторные анализы, обладая высокой точностью, трудоемки и не применимы в полевых условиях. Существующие методы экспресс-диагностики зачастую требуют сложной калибровки, зависят от человеческого фактора или обладают недостаточной достоверностью. Например, известный колориметрический способ определения щелочного числа, несмотря на простоту, предполагает визуальную оценку цветовых оттенков, что вносит субъективность, и трудно реализуем в полевых условиях. В связи с этим акцент смещается в сторону методов прогнозирования, основанных на оценке влияния внешних эксплуатационных факторов.

Основное воздействие на интенсивность старения масла, и, в частности, на динамику щелочного числа, оказывают режимы работы двигателя. Такие параметры, как нагрузка и частота вращения коленчатого вала, напрямую определяют тепловое состояние масла и скорость срабатывания присадок. Таким образом, возникает объективная необходимость в разработке подхода, который позволял бы прогнозировать изменение щелочного числа, опираясь на легко регистрируемые в процессе эксплуатации параметры работы двигателя, и обоснованно корректировать межсервисные интервалы.

Особую значимость такая задача приобретает с учетом современных возможностей сбора и анализа данных о режимах работы сельскохозяйственных тракторов. Мониторинг работы трактора открывает возможность создания моделей прогнозирования, адаптированных к реальным условиям эксплуатации.

Перспективным направлением для решения этой задачи является применение цифровых двойников. Концепция цифрового двойника как вирту-

ального образа физического процесса, синхронизированного с ним, позволяет объединить математическую модель деградации масла с данными о фактических режимах работы двигателя. В рамках диссертационной работы предлагается использовать цифровой двойник, базирующийся на статистической модели изменения щелочного числа в зависимости от скоростных и нагрузочных режимов. Практическая реализация такого подхода возможна без значительного усложнения конструкции трактора, путем интеграции расчетного модуля в уже существующие на многих предприятиях системы удаленного мониторинга транспорта. Это позволит осуществлять оперативный прогноз остаточного ресурса масла на удаленном сервере, информируя оператора о необходимости замены и заменяя большую часть рутинных лабораторных анализов контрольными замерами.

Таким образом, разработка математической модели и алгоритма функционирования цифрового двойника для прогнозирования остаточного ресурса моторного масла по эксплуатационным факторам является актуальной научной задачей. Ее решение позволит повысить эффективность использования ресурса масла в двигателях тракторов за счет научно обоснованной корректировки сроков его замены, при этом минимизируются риск отказов и эксплуатационные расходы.

Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы (НИР) агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ «Инновационные направления совершенствования мобильных энергетических средств», утвержденной ученым советом университета (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Личный вклад соискателя заключается:

- в постановке цели, задач;
- в выборе методов исследования;
- в анализе состояния степени разработанности темы;

- получении аналитических зависимостей и проведении расчетов;
- проведении стендовых испытаний;
- проведении мониторинга работы сельскохозяйственных тракторов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Результаты исследования получены с применением современных теоретических подходов, методов математического моделирования, планирования эксперимента и методов оптимизации, апробированных методик выполнения экспериментальных исследований и автоматизированного сбора данных. Эмпирическая база работы сформирована на основе опытных данных, полученных в ходе проведения стендовых экспериментов, данных мониторинга сельскохозяйственных тракторов в эксплуатации, а также проведения лабораторных анализов моторных масел.

Достоверность результатов подтверждается методологической базой исследований, применением апробированных методов и методик исследований, поверенных измерительных средств, а также результатами внедрения в производство.

Результаты диссертационной работы внедрены в ООО НПКФ «Агро-тех-Гарант Березовский», где используются при проведении технического обслуживания сельскохозяйственных тракторов, и в системе мониторинга автотранспортной техники ООО «Транскодер» для фактической оценки сроков замены масла, а также используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ при подготовке обучающихся по направлению подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались в период с 2023 г. по 2026 г. на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, а также на международных, всероссийских и национальных научных конференциях.

Научная новизна результатов проведенных исследований

Научную новизну диссертационной работы составляют:

- закономерность деградации моторного масла на основе экспоненциального закона, отличающаяся тем, что учитывает изменение щелочного числа в зависимости от режимов работы двигателя внутреннего сгорания при эксплуатации;
- аналитические зависимости скорости изменения щелочного числа моторного масла от продолжительности работы двигателя, отличающиеся тем, что учитывают влияние режимов работы двигателя, а также утечку, угар и доливку моторного масла;
- модель цифрового двойника процесса деградации моторного масла, отличающаяся тем, что использует данные мониторинга эксплуатационных показателей двигателей сельскохозяйственных тракторов или результаты стендовых экспериментов;
- зависимости изменения щелочного числа моторного масла от наработки, отличающиеся тем, что учитывают работу двигателя внутреннего сгорания при разных режимах в типичных условиях эксплуатации сельскохозяйственных тракторов.

Практическая значимость работы

Практическую значимость работы представляют компьютерная программа, реализующая модель цифрового двойника процесса деградации моторного масла, (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026617913 РФ) для прогнозирования остаточного ресурса моторного масла; компьютерная программа подготовки данных мониторинга эксплуатационных показателей двигателя внутреннего сгорания сельскохозяйственного трактора (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026619413 РФ); алгоритм определения параметров модели цифрового двойника; компьютерная программа планирования поэтапного стендового эксперимента, обеспечивающая равномерное насыщение опытами факторного пространства (свидетельство о регистрации программы

для ЭВМ № 2024684264 РФ); устройство для определения положения рейки топливного насоса высокого давления, позволяющее определять нагрузку на двигатель в моделях двигателей с топливным насосом высокого давления и механическим регулятором без электронного блока управления (патент № 243901 РФ).

Ценность научных работ

Значение для науки имеют закономерность деградации моторного масла на основе экспоненциального закона; зависимости скорости изменения щелочного числа моторного масла от наработки, режимов работы двигателя, влияния утечки, угара и доливки моторного масла; модель цифрового двойника процесса деградации моторного масла, дополняющие теоретические положения оценки состояния моторных масел в процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания.

Соответствие диссертации требованиям, установленным пунктом 14 Положения о присуждении ученых степеней

В диссертации отсутствуют заимствованные материалы без ссылок на источники заимствования, результаты научных работ, выполненные соискателем в соавторстве, без ссылок на соавторов, а, следовательно, соблюдены требования пункта 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842.

Научная специальность и отрасль науки, которым соответствует диссертация

Диссертационное исследование соответствует пунктам 12 «Цифровые интеллектуальные технологии, автоматизированные и роботизированные технические средства для агропромышленного комплекса», 15 «Физическое, математическое и компьютерное моделирование механизированных, автоматизированных, роботизированных и биомашинных систем», 21 «Методы

оценки качества материалов, металлов, технических жидкостей, изделий, машин, оборудования, поточных линий в агропромышленном комплексе» паспорта специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Данные, представленные в публикациях, в полной мере отражают изложение материалов диссертации, так как подготовлены по результатам выполненных соискателем исследований в процессе работы над диссертационной работой.

По теме диссертационной работы опубликовано 17 научных работ, в том числе три статьи – в изданиях, включённых в перечень ВАК. По результатам диссертационной работы получен один патент Российской Федерации на полезную модель и четыре свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Публикации в изданиях, включённых в перечень ВАК

1. Методика определения параметров модели ресурса масла в двигателе трактора / Е. А. Григорьев, А. В. Химченко, В. И. Оробинский, Н. И. Мищенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2026. – № 217. – С. 143–154. – DOI 10.21515/1990-4665-217-015.

2. Планирование эксперимента для определения зависимости изменения щелочного числа моторного масла от эксплуатационных факторов в пределах одного срока замены / А. В. Химченко, В. И. Оробинский, В. В. Остриков, Е. А. Григорьев // Наука в центральной России. – 2024. – № 5(71). – С. 94–104. – DOI 10.35887/2305-2538-2024-5-94-104.

3. Предпосылки применения цифрового двойника для определения предельного состояния моторного масла или прогнозирования его остаточного ресурса / А. В. Химченко, В. И. Оробинский, В. В. Остриков [и др.] // Наука в центральной России. – 2024. – № 3(69). – С. 148–160. – DOI

10.35887/2305-2538-2024-3-148-160.

Патент на полезную модель

4. Патент на полезную модель № 243901 U1 РФ, МПК G01B 7/00. Устройство для определения положения рейки топливного насоса высокого давления / А. В. Химченко, Е. А. Григорьев ; патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2026101511 ; заявл. 23.01.2026 ; опубл. 04.06.2026, Бюл. № 16. – 4 с.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614490 Российская Федерация. Имитационная модель для испытания трактора МТЗ-80 «Беларус» : № 2024613614 : заявл. 26.02.2024 : опубл. 26.02.2024 / Е. А. Григорьев, А. В. Химченко, М. Ю. Пенькова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024684264 Российская Федерация. Планирование поэтапного стендового эксперимента с двигателем внутреннего сгорания и равномерным насыщением опытами факторного пространства : № 2024683770 : заявл. 16.10.2024 : опубл. 16.10.2024 / А. В. Химченко, Е. А. Григорьев, Н. И. Мищенко ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026617913 Российская Федерация. Модель цифрового двойника процесса деградации моторного масла : заявл. 23.03.2026 : опубл. 23.03.2026 / А. В. Химченко, Е. А. Григорьев, Н. И. Мищенко ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026619413 Российская Федерация. Подготовка численных данных результатов мониторинга работы двигателя трактора для прогнозирования ресурса моторного масла : заявл. 02.04.2026 : опубл. 02.04.2026 / А. В. Химченко, Е. А. Григорьев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Публикации в материалах конференций, научных журналах и сборниках научных трудов

9. Григорьев Е. А. Методика экспериментальных исследований влияния режимных факторов на ресурс моторного масла автотракторных двигателей / Е. А. Григорьев, А. В. Химченко, Н. И. Мищенко // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК : материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 29 января 2026 года. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2026. – С. 157–163.

10. Григорьев Е. А. О регламентации срока замены моторных масел в существующих стандартах / Е. А. Григорьев, А. В. Химченко // Теория и практика инновационных технологий в АПК : материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 01 апреля – 31 2025 года. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2025. – С. 142–147.

11. Григорьев Е. А. Современный подход к определению периодичности замены моторного масла двигателей тракторов / Е. А. Григорьев, А. В. Химченко // Инновационные технологии и технические средства для АПК : материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Воронеж, 09–10 ноября 2023 года. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 63–67.

12. Оптимизация плана стендового эксперимента при определении ресурса моторного масла / А. В. Химченко, Е. А. Григорьев, Н. И. Мищенко, А. А. Заболотная // Актуальные вопросы физико-математических и технических наук в свете современных исследований АПК : материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 23 октября 2024 года. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, 2024. – С. 407–412.

13. Химченко А. В. Анализ данных мониторинга режимов работы трактора при выполнении сельскохозяйственных операций / А. В. Химченко, Е. А. Григорьев // Проблемы ресурсобеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса : материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 26 сентября 2025 года. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2025. – С. 145–151.

14. Химченко А. В. К вопросу о необходимости определения срока замены моторного масла в зависимости от внешних факторов / А. В. Химченко, Е. А. Григорьев, Д. В. Юшко // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 06 июня 2024 года. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2024. – С. 359–364.

15. Химченко А. В. Отладка системы автоматизированного сбора данных перед проведением экспериментальных исследований / А. В. Химченко, Е. А. Григорьев // Проблемы ресурсобеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса : материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 25 сентября 2024 года. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2024. – С. 190–195.

16. Химченко А. В. Система автоматизированного сбора данных для проведения испытаний на автотракторном двигателе / А. В. Химченко, Е. А.

Григорьев, Д. В. Юшко // Теория и практика инновационных технологий в АПК : материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 01 апреля – 31 2024 года. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2024. – С. 408–413.

17. Частотный анализ режимов работы двигателя трактора «John Deere 6B» в условиях реальной эксплуатации / А. В. Химченко, Е. А. Григорьев // Теория и практика инновационных технологий в АПК : материалы национальной научно-практической конференции (24 марта – 19 мая 2026 г.). – Ч. I. – Секция «Инновационные направления механизации и электрификации сельскохозяйственного производства» (14–19 мая 2026 г.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2026. – С. 420–424.

Лично соискателем выполнено 5,45 п.л.

Личное вклад соискателя заключается: в постановке цели, задач и выборе методов исследования [1, 3, 9], в анализе состояния степени разработанности темы [10, 11, 14], в получении аналитических зависимостей и проведении расчетов [2, 5, 6, 7, 12], в проведении стендовых испытаний [4, 15, 16], в проведении мониторинга работы сельскохозяйственных тракторов [8, 13, 17].

Характеристика соискателя

Григорьев Евгений Александрович родился 07 декабря 1999 года в г. Воронеж. В 2021 году с отличием окончил агроинженерный факультет ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» с присвоением квалификации – бакалавр. В 2023 году с отличием окончил агроинженерный факультет ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ по направлению 35.04.06 «Агроинженерия», квалификация – магистр. С 01.09.2023 года по настоящее время обучается в очной аспирантуре в ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.

Заключение

Диссертация на тему «Разработка цифрового двойника процесса деградации моторного масла в двигателе сельскохозяйственного трактора», пред-

ставленная Григорьевым Евгением Александровичем на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842.

Диссертация на тему «Разработка цифрового двойника процесса деградации моторного масла в двигателе сельскохозяйственного трактора», представленная Григорьевым Евгением Александровичем на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса, рекомендуется к представлению в диссертационный совет по заявленной специальности.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. Присутствовало на заседании 23 человека, в том числе 8 докторов наук. Результаты голосования: за – 23, против – нет, воздержались – нет, протокол от 04.06.2026 года № 010122-12.

Декан агроинженерного факультета,

заведующий кафедрой сельскохозяйственных

машин, тракторов и автомобилей,

доктор сельскохозяйственных наук,

профессор

Оробинский Владимир Иванович

