«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научно-исследовательской работе ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ
канд. экон. наук, доцент
_____ А.В. Носов
«07» октября 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ) на диссертацию Григорьева Евгения Александровича **«Разработка цифрового двойника процесса деградации моторного масла в двигателе сельскохозяйственного трактора»**, представленную в диссертационный совет 35.2.008.01, созданный на базе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

Актуальность темы

Эффективность эксплуатации парка сельскохозяйственной техники напрямую зависит от качества технического обслуживания (ТО). Традиционная система ТО, основанная на регламентных интервалах замены моторного масла, не учитывает реальные условия работы двигателя, которые могут значительно отличаться от номинальных. Это приводит либо к преждевременной замене масла, еще имеющего запас работоспособности (что увеличивает эксплуатационные затраты), либо к работе масла, имеющего предельное состояние (что приводит к интенсивному износу деталей двигателя).

Одним из важнейших показателей, характеризующих защитные свойства масла, запас моющих и нейтрализующих присадок, является щелочное число (ЩЧ), однако его непрерывный бортовой контроль затруднен. Лабораторные анализы методом потенциометрического титрования (титратором) требуют дорогостоящего оборудования, трудоемки в исполнении. Экспресс-методы определения ЩЧ являются приближенными, не учитывают многие факторы и обладают высокой погрешностью.

Альтернативным решением указанной проблемы является прогнозирование состояния масла на основе данных мониторинга параметров, характеризующих нагрузочный и скоростной режим работы двигателя с применением технологий «цифровых двойников».

Поэтому тема диссертационной работы Григорьева Евгения Александровича, направленная на повышение эффективности использования моторных ма-

сел за счет разработки и применения цифрового двойника процесса их деградации, является актуальной и имеет важное практическое значение для агропромышленного комплекса.

Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, содержащего 182 библиографических источника, и приложений. Работа изложена на 190 страницах машинописного текста, содержит 38 рисунков и 10 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы, дана общая характеристика работы, изложены научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

В **первом разделе** рассмотрены процессы старения моторных масел, проанализированы существующие способы оценки их состояния и остаточного ресурса. Установлено, что щелочное число является наиболее информативным и удобным параметром состояния масла для прогнозирования. Выявлены основные факторы, влияющие на изменение щелочного числа, среди которых наиболее значимыми являются нагрузочный и скоростной режимы работы двигателя.

Во **втором разделе** изложены теоретические исследования влияния различных факторов на изменение состояния моторного масла. Автор выявил закономерность деградации масла, описываемую экспоненциальной зависимостью, и разработал математическую модель цифрового двойника. Получены аналитические зависимости скорости изменения щелочного числа, учитывающие не только режимы работы, но и такие факторы, как утечка, угар и доливка масла. Разработан алгоритм компьютерной модели для определения щелочного числа масла, получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

В **третьем разделе** описаны оборудование и методика экспериментальных исследований. Программа включала стендовые испытания двигателя Д-241 на тормозном стенде ГОСНИТИ с использованием разработанной системы автоматизированного сбора данных, а также мониторинг нагрузочных режимов реальных тракторов Кировец К-742М и John Deere 6B. Описана методика планирования эксперимента с равномерным заполнением факторного пространства методом латинских гиперкубов.

В **четвертом разделе** приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований. Проведен хронометраж режимов работы тракторов, который показал, что в реальных условиях техника работает на номинальных режимах редко (1–20% времени), преимущественно на малых нагрузках (10–30%) и частотах вращения (600–900 мин$^{-1}$). Определены коэффициенты, характеризующие параметры модели цифрового двойника для конкретных сочетаний марок двигателей и масел. Использование модели показало возможность увеличения межсервисного интервала до 360–580 мото-часов при режимах средних нагрузок и до 590–1150 мото-часов при работе на холостом ходу, при сохранении ресурса около 250 мото-часов на номинальном режиме, что подтверждает адекватность модели.

В **пятом разделе** выполнено экономическое обоснование внедрения разработанного способа оценки состояния моторного масла. Расчет выполнен для парка из 8 тракторов. Показано, что применение цифрового двойника позволяет получить чистую годовую экономию 90 440 руб. при сроке окупаемости капитальных вложений 0,53 года.

Выводы, представленные в диссертации в виде заключения, достоверны и подтверждены количественными оценками, характеризующими улучшение показателей использования моторных масел.

Достоверность и новизна результатов исследований

Все научные положения и выводы по результатам исследований, изложенные в диссертации, отражают суть работы, аргументированы, обоснованы и достоверны.

Достоверность результатов исследований обеспечивается:

- глубоким и всесторонним анализом предшествующих результатов исследований по заявленной научной проблеме;
- применением основных положений теории двигателей внутреннего сгорания, трибологии и методов математического моделирования;
- применением современных подходов к разработке имитационной модели цифрового двойника и алгоритмов параметрической оптимизации;
- применением современных средств контроля и регистрации исследуемых параметров (система сбора данных на базе АЦП L-Card, датчик положения рейки ТНВД собственной конструкции);
- проведением стендовых испытаний на сертифицированном оборудовании и длительным мониторингом реальной эксплуатации техники;
- лабораторным анализом проб масла в аккредитованной лаборатории ФГБНУ ВНИИТиН;
- результатами внедрения в производство (ООО НПКФ «Агротех-Гарант Березовский», ООО «Транскодер»).

Новизну результатов исследований представляют:

- выявленная закономерность деградации моторного масла на основе экспоненциального закона, учитывающая влияние скоростного и нагрузочного режимов;
- полученные аналитические зависимости скорости изменения щелочного числа, учитывающие также изменение объема масла (утечки, доливки);
- разработанная модель цифрового двойника процесса деградации моторного масла и алгоритм определения ее параметров;
- установленные фактические режимы работы сельскохозяйственных тракторов в типичных условиях эксплуатации, обосновывающие потенциал продления ресурса масла.

Новизна технических решений подтверждена патентом РФ на полезную модель (№ 243901) и четырьмя свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ.

Значимость полученных результатов исследований для развития АПК РФ

Значимость полученных результатов исследований для науки представляют: математическая модель процесса деградации масла; алгоритм параметрической идентификации цифрового двойника; методика планирования стендового эксперимента с равномерным заполнением факторного пространства.

Значимость полученных результатов исследований для практики представляют:

- компьютерная программа, реализующая модель цифрового двойника для прогнозирования остаточного ресурса масла;
- программное обеспечение для подготовки данных мониторинга;
- устройство для определения нагрузки на двигатель по положению рейки ТНВД, позволяющее оснащать системой мониторинга тракторы без электронных блоков управления;
- научно обоснованные рекомендации по корректировке межсервисных интервалов замены масла, позволяющие увеличить ресурс масла в 1,4–2,3 раза по сравнению с работой на номинальном режиме;
- расчет экономической эффективности, подтверждающий быструю окупаемость внедрения предлагаемой технологии.

Расчетный экономический эффект от применения предлагаемого подхода для небольшого парка техники составляет 90 440 руб. в год.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Полученные соискателем результаты исследований свидетельствуют о целесообразности использования цифрового двойника процесса деградации моторного масла на основе систем мониторинга для определения оптимальных сроков замены масла.

Для практической реализации рекомендуется:

- интегрировать разработанный программный модуль в существующие системы телематики сельскохозяйственных предприятий;
- использовать разработанное устройство для определения положения рейки ТНВД при модернизации парка тракторов, не оснащенных электронными системами управления двигателем;
- использовать разработанный цифровой двойник как одно из средств оценки состояния моторного масла в системе смазки тракторных дизелей;
- применять методику параметрической идентификации модели при переходе на новые марки масел или после капитального ремонта двигателей.

Результаты исследований рекомендуются к использованию предприятиям АПК, станциям технического обслуживания и сервисным центрам, эксплуатирующим автотракторную технику.

Апробация результатов исследований и публикации

Основные положения диссертационной работы и ее результаты апробированы на всероссийских и международных научно-практических конференциях.

Результаты внедрены в ООО НПКФ «Агротех-Гарант Березовский» и ООО «Транскодер».

По результатам исследований автором опубликовано 17 научных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК. Получен 1 патент РФ на полезную модель и 4 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Публикации в полном объеме отражают полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Замечания по диссертационной работе:

1. В теоретической части недостаточно подробно рассмотрено влияние качества применяемого топлива (в частности, содержания серы) на скорость срабатывания щелочных присадок. Хотя этот фактор упоминается, он не включен явно в уравнения модели цифрового двойника, что может снижать точность прогноза при использовании топлив различных классов.
2. Не понятно, почему за базовый интервал замены масла для трактора МТЗ-80 принят интервал, равный 250 мото-часов, если еще в СССР был введен ГОСТ 20793-86, согласно которого замена масла выполняется при ТО-2 при наработке 500 мото-часов?
3. Шестой вывод Заключения: 600-900 $мин^{-1}$ – это режим холостого хода тракторного дизеля. Как он может составлять «до 80 % рабочего времени?» Вывод требует пояснения либо уточнения.
4. Приложение А (результаты стендовых исследований): весовой механизм тормозного стенда ГОСНИТИ имеет цену деления 0,1 кгс. Как при его инструментальной погрешности достигнута точность определения нагрузки до тысячных долей кгс?
5. Утверждение, что на номинальном режиме и с полной загрузкой тракторные дизели практически не работают, представляется слишком категоричным. Например, в составе пахотного агрегата дизель трактора работает на номинальном режиме, либо на режимах, близких к номинальному, либо на корректорной ветви регуляторной характеристики. Поэтому в плане эксперимента данным режимам внимания уделено недостаточно.
6. В разделе 2 говорится, что изменение щелочного числа масла в процессе его работы в двигателе происходит по экспоненциальной зависимости. Отсюда не понятно, почему в разделе 4 графические зависимости, полученные экспериментальным путем, имеют линейный характер?

В целом отмеченные замечания носят в основном рекомендательный характер и не снижают научной и практической ценности диссертации.

Завершенность и качество оформления диссертационной работы

Диссертация Григорьева Е.А. является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты теоретических и экспериментальных исследований, имеющих большое научное и практическое значение. Материал диссертационной работы изложен грамотным языком, проиллюстрирован информативными рисунками и таблицами. Структура, содержание и оформление диссертации соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Структура и содержание автореферата соответствуют основным положениям и выводам диссертации, позволяют получить достаточно полное представление о сущности выполненной работы, оценить ее научную и практическую значимость.

Заключение

Диссертационная работа Григорьева Евгения Александровича на тему: «Разработка цифрового двойника процесса деградации моторного масла в двигателе сельскохозяйственного трактора» соответствует критериям, изложенным в пункте 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, имеющие существенное значение для развития агропромышленного комплекса Российской Федерации, а её автор Григорьев Евгений Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки).

Диссертация заслушана, обсуждена и одобрена на расширенном заседании кафедры «Технический сервис машин» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Пензенский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ), протокол № 2 от 07 октября 2026 г.

Отзыв подготовили:

Доктор технических наук
(специальность 05.20.03 – Технологии
и средства технического обслуживания
в сельском хозяйстве), профессор,
профессор кафедры
«Технический сервис машин»
ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ Спицын Иван Алексеевич

Доктор технических наук
(специальность 05.20.01 – Технологии
и средства механизации сельского
хозяйства), доцент, профессор кафедры
«Технический сервис машин»
ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ Рыблов Михаил Владимирович

Личную подпись Спицына И.А.
удостоверяю Рыблова М.В.
Начальник управления кадров
Ю.В. Матвеева

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ)
Тел. 8(8412)628-359, e-mail: penz_gau@mail.ru, https://pgau.ru.