

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 629.366.05

БОНДАРЕНКО
Ирина Иосифовна

**БОРТОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ
МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ТРАКТОРА ПУТЕМ КОНТРОЛЯ РЕСУРСА СИЛОВОГО АГРЕГАТА**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.05.03 – колесные и гусеничные машины

Минск, 2020

Работа выполнена в УО «Белорусский государственный аграрный технический университет».

Научный руководитель

КАРПИЕВИЧ Юрий Дмитриевич,
доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры «Автомобили» Белорусского националь-
ного технического университета

Официальные оппоненты:

БОЙКОВ Владимир Петрович,
доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой «Тракторы» Белорусского националь-
ного технического университета;

АНТИПЕНКО Григорий Леонидович,
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Транспортные и технологические
машины» Межгосударственного образователь-
ного учреждения высшего образования «Бело-
русско-Российский университет»

Оппонирующая организация

Белорусская государственная орденов Октябрь-
ской Революции и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия

Защита состоится «12» июня 2020 г. в 14⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.04 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корпус1, ауд. 202, телефон ученого секретаря (+37517) 292-41-01; e-mail: msf@bntu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского националь-ного технического университета.

Автореферат разослан «11» мая 2020 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций Д 02.05.04,
кандидат технических наук, доцент



А. И. Сафонов

© Бондаренко И. И., 2020
© Белорусский национальный
технический университет, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими задачами, стоящими перед автотракторной промышленностью Республики Беларусь, являются повышение технического уровня, долговечности и эксплуатационной надежности колесных тракторов.

Повышение эксплуатационной надежности колесных тракторов, снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт возможны только при своевременном и объективном определении их технического состояния.

Эффективным способом решения проблемы повышения качества проведения технического обслуживания и ремонта, а также эксплуатационной надежности колесных тракторов является диагностирование их технического состояния.

Удельная трудоемкость диагностирования силовых агрегатов колесных тракторов сравнительно большая, что является следствием как низкой контролепригодности, так и несовершенства существующих методов и средств.

Сложившийся в прошлом столетии и получивший наибольшее распространение регламентный характер контрольно – диагностических работ не может обеспечить поддержания требуемого уровня технического состояния колесных тракторов, так как не учитывает индивидуальные особенности каждого трактора, условия его эксплуатации, технического обслуживания и проведенные ранее ремонтные воздействия. Внешние средства диагностирования при их эпизодическом использовании также не позволяют своевременно выявлять постепенные и внезапные отказы.

Именно стремление снять указанные ограничения стимулировало разработку бортовых систем диагностирования колесных тракторов.

Сложность задачи контроля степени выработки ресурса колесного трактора заключается в разработке методов бортового диагностирования силового агрегата. В настоящее время в печати нет подробного описания таких методов, так как сведения о них носят фрагментарный характер.

Данная диссертационная работа посвящена контролю степени выработки ресурса колесного трактора на основе микропроцессорной системы бортового диагностирования силового агрегата, что делает исследование востребованным и актуальным.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Исследования проведены в рамках ГНТП «Машиностроение»:

– АТ – 02.42 Провести модернизацию семейства высокоэнергонасыщенных тракторов класса 2,0 – 3,0 мощностью 130, 150, 210 л.с. путем разработки конструкторской документации по установке экологически чистых двигателей (ШБ ступень), полуавтоматических трансмиссий и электронных систем управления.

Диссертация соответствует приоритетным направлениям научных исследований в Республике Беларусь. Она отвечает следующим нормативным актам:

– Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585, в рамках Государственной программы научных исследований в области технических наук «Механика, техническая диагностика, металлургия» по теме п. 5. «Развитие научных основ механики технических систем, методов и средств их

диагностики, создание и совершенствование технологических процессов в металлургии и машиностроении».

– Постановление Советов Министров Республики Беларусь от 26 мая 2011 г. № 669 «Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы» (п. 7 «Машиностроение. Системы и комплексы сельскохозяйственных машин. Контроль и диагностика в машиностроении», пп. 7.5 «Методы и средства неразрушающего контроля, технической диагностики, мониторинга и испытаний в процессах производства и эксплуатации машин», пп. 5.1 «Методы математического и компьютерного моделирования, компьютерные технологии и интеллектуальные системы поддержки принятия решений»).

– Постановление Советов Министров Республики Беларусь от 9 июня 2010 г. № 886 «Об утверждении перечня государственных программ научных исследований на 2011 – 2015 годы» (программа № 3 «Механика, техническая диагностика, металлургия»).

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы заключается в повышении эффективности бортового диагностирования на основе микропроцессорной системы технического состояния трактора путем контроля ресурса силового агрегата.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе сформулированы следующие задачи:

1. Разработать метод бортового диагностирования степени выработки ресурса моторного масла.
2. Разработать метод бортового диагностирования степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления.
3. Разработать метод бортового диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач.
4. Определить путем стендовых испытаний пороговые значения предельной выработки ресурса фрикционных накладок ведомого диска сцепления и фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач.
5. Определить пороговое значение предельной выработки ресурса моторного масла колесного трактора, находящегося в реальных условиях эксплуатации.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что:

1. Разработан метод бортового диагностирования степени выработки ресурса моторного масла, отличающийся комплексным показателем учитывающим суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя и количество циклов его пуска, устанавливающий взаимосвязь между ресурсом моторного масла и комплексным показателем, позволяющий отказаться от замены масла по регламенту, установленному заводом – изготовителем в часах работы двигателя, и перейти к замене по реальной выработке его ресурса, так как учитывает фактические условия эксплуатации колесного трактора в каждом цикле «пуск – работа – останов двигателя».

2. Разработан метод бортового диагностирования степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления, устанавливающий взаимосвязь между износом фрикционных накладок и интегральным показателем работы трения, позволяющий в реальных условиях эксплуатации колесного трактора без разборки узла

определять степень износа, остаточный ресурс фрикционных накладок и прогнозировать время их замены.

3. Разработан метод бортового диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, устанавливающий взаимосвязь между износом фрикционных дисков и интегральным показателем работы трения, позволяющий в любой период эксплуатации колесного трактора без разборки узла определять степень износа, остаточный ресурс фрикционных дисков, прогнозировать время их замены, перейти к техническому обслуживанию по фактической потребности и предотвратить возможность эксплуатации неисправного трактора.

4. Определены в результате проведенных стендовых испытаний экспериментальным путем пороговые значения работ трения фрикционных накладок ведомого диска сцепления и фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач соответствующие их предельно допустимым износам, позволяющие прогнозировать выработку ресурса фрикционных накладок ведомого диска сцепления и фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач.

5. Определено пороговое значение предельной выработки ресурса моторного масла колесного трактора, находящегося в реальных условиях эксплуатации, позволяющее прогнозировать выработку ресурса моторного масла по предложенному комплексному показателю, учитывающему суммарный объем израсходованного топлива и количество циклов пуска двигателя.

Положения, выносимые на защиту

1. Метод бортового диагностирования степени выработки ресурса моторного масла, отличающийся комплексным показателем учитывающим суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя и количество циклов его пуска, позволяющий отказаться от замены масла по регламенту, установленному заводом – изготовителем в часах работы двигателя и перейти к замене по реальной выработке его ресурса, так как учитывает фактические условия эксплуатации колесного трактора в каждом цикле «пуск – работа – останов двигателя», что позволяет рекомендовать этот метод для реализации в электронных устройствах бортового диагностирования и дистанционной оценки состояния и остаточного ресурса моторного масла.

2. Метод бортового диагностирования степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления, отличающийся интегральным показателем, устанавливающий взаимосвязь между износом фрикционных накладок и работой трения, позволяющий в реальных условиях эксплуатации колесного трактора без разборки узла определять степень износа, остаточный ресурс фрикционных накладок и прогнозировать время их замены, а также перейти к техническому обслуживанию по фактической потребности и за счет этого предотвратить возможность эксплуатации неисправного трактора.

3. Метод бортового диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, отличающийся интегральным показателем, устанавливающий взаимосвязь между износом фрикционных дисков и работой трения, позволяющий в любой период эксплуатации колесного трактора без разборки узла определять степень износа, остаточный ресурс фрикционных дисков, прогнозировать время их замены, а также перейти к техническому обслуживанию по фактической потребности, и за счет этого исключить, с одной стороны, возмож-

ность эксплуатации технически неисправного колесного трактора, а с другой, необоснованные материальные и трудовые затраты при его преждевременном обслуживании.

4. Пороговые значения работ трения фрикционных накладок ведомого диска сцепления и фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач соответствующие их предельно допустимым износам определенные экспериментальным путем в результате проведенных стендовых испытаний, позволяющие прогнозировать выработку ресурса фрикционных накладок ведомого диска сцепления и фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач используя при этом работу трения как интегральный показатель.

5. Пороговое значение предельной выработки ресурса моторного масла колесного трактора, находящегося в реальных условиях эксплуатации, позволяющее прогнозировать выработку ресурса моторного масла по предложенному комплексному показателю учитывающему суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя и количество циклов его пуска, которое используется при создании бортовых систем диагностирования для оценки степени выработки ресурса моторного масла.

Личный вклад соискателя ученой степени

Автор самостоятельно провел анализ литературных источников, типовых неисправностей исследуемого силового агрегата и экспериментальную проверку разработанных им методов бортового диагностирования силового агрегата. Разработал принципы построения и функционирования системы бортового диагностирования технического состояния силового агрегата колесного трактора.

Научный руководитель, Карпиевич Юрий Дмитриевич, принимал участие в постановке задач исследования, их предварительном анализе, а также в обсуждении полученных результатов. Остальные соавторы занимались изучением вопросов, не затрагивающих тему и положений, выносимых на защиту диссертационной работы.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения диссертации доложены, обсуждены и одобрены на следующих конференциях:

– Международной научно-практической конференции, посвященной ведущим ученым БГАТУ, создателям научной школы по автотракторостроению Д.А. Чудакову и В.А. Скотникову «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве» (г. Минск, 28 – 30 ноября 2013 г.);

– 14-й Международной научно-технической конференции (69-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) (г. Минск, 2016 г.);

– Международной научно-практической конференции «Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве» (г. Минск, 8 – 9 июня 2016 г.);

– Международной научно-практической конференции «Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве» (г. Минск, 22 – 24 ноября 2017 г.);

– Международной научно-практической конференции «Автомобиле- и тракторостроение» (г. Минск, 2018 г.);

– IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» (г. Житомир, 2018 г.);

– 16-й Международной научно-технической конференции (71-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) (г. Минск, 2018 г.);

– Международной научно-практической конференции «Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве» (г. Минск, 21 – 23 ноября 2018 г.);

– Международной научно-практической конференции «Автомобиле- и тракторостроение» (г. Минск, 2019 г.).

Результаты исследований внедрены на ОАО «Минский тракторный завод» и в учебный процесс подготовки инженерных кадров УО «Белорусский государственный аграрный технический университет».

Опубликование результатов диссертации

По теме диссертации опубликованы 19 печатных работ (1,8 авторского листа), в том числе 5 статей в рецензируемых журналах (0,5 авторского листа), включенных в список научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, материалов или тезисов докладов научных конференций – 10, патентов на полезную модель и изобретение – 2, другие публикации – 2.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка (список использованных источников – 65 наименований, список публикаций соискателя – 19 наименований) и приложений. Ее полный объем – 199 страниц. Диссертация содержит 127 страниц основного текста, 50 рисунков, 14 таблиц, 6 приложений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе диссертации анализируется современное состояние технической диагностики, а также рассматриваются перспективы и основные направления развития бортовых систем диагностирования технического состояния силовых агрегатов колесных и гусеничных машин.

Сложившийся в прошлом столетии и получивший наибольшее распространение регламентный характер контрольно-диагностических работ не может обеспечить поддержания требуемого уровня технического состояния колесных и гусеничных машин, так как не учитывает индивидуальные особенности каждой машины, условий ее эксплуатации, технического обслуживания и проведенные ранее ремонтные воздействия.

Различные аспекты проблемы бортового диагностирования технического состояния силовых агрегатов изучали в своих работах Г.Л. Антипенко, В.П. Бойков, Н.Н. Ишин, А.Н. Карташевич, В.А. Ким, Л.Г. Красневский, С.А. Рынкевич, И.С. Сазонов, А.Ф. Скадорва, В.П. Тарасик, Bernard Bäker и др.

В последние годы все ведущие фирмы приступили к созданию бортовых систем диагностирования, позволяющих перейти к техническому обслуживанию по

фактической потребности. Необходимость создания подобных систем вызвана тем, что у большинства колесных и гусеничных машин при проведении диагностических работ отмечаются значительные отклонения параметров, характеризующих его техническое состояние до проведения диагностических работ, т.е. машина эксплуатируется в недопустимых режимах, что отрицательно сказывается на безопасности движения, экономических, экологических и других показателях. С другой стороны, часть колесных и гусеничных машин, находящихся в технически исправном состоянии, в соответствии с графиком проведения регламентных работ, подвергается преждевременному диагностированию, т.е. очевидны необоснованные трудовые и материальные затраты.

Во второй главе рассматриваются конструкция исследуемого силового агрегата и анализ его типовых неисправностей.

Анализ типовых неисправностей исследуемого силового агрегата целесообразно вести, разбив его на составляющие.

Среди неисправностей двигателей внутреннего сгорания можно выделить следующие: перегрев двигателя, аварийное давление масла в системе смазки, выработка ресурса моторного масла.

При анализе неисправностей сцепления они были классифицированы следующим образом: пробуксовка сцепления в тяговом режиме двигателя, пробуксовка сцепления в режиме торможения двигателем, износ фрикционных накладок ведомого диска сцепления, перегрев сцепления, увеличенный свободный ход муфты выключения сцепления, уменьшенный свободный ход муфты выключения сцепления.

При анализе неисправностей коробки передач они были классифицированы следующим образом: низкое давление масла в гидросистеме коробки передач, высокое давление масла в гидросистеме коробки передач, износ фрикционных дисков гидроподжимных муфт, пробуксовка гидроподжимной муфты в тяговом режиме двигателя, пробуксовка гидроподжимной муфты в режиме торможения двигателем.

Третья глава посвящена разработке методов и алгоритма бортового диагностирования технического состояния силового агрегата. В ней также рассматриваются принципы построения и функционирования микропроцессорной системы бортового диагностирования силового агрегата.

Общая структурная схема микропроцессорной системы бортового диагностирования технического состояния силового агрегата показана на рисунке 1.

Процедура бортового диагностирования технического состояния силового агрегата заключается в следующем.

В ходе диагностирования микропроцессорная система реализует некоторый алгоритм (рисунок 2), представляющий собой опрос датчиков диагностирования и сравнение полученных значений информационных сигналов с константами технически исправного силового агрегата, в занесенными в память микроЭВМ, а также правил последовательности выполнения и анализа этих проверок. Если в результате обработки полученной информации K -ый элемент оказывается неисправным, то признаку неисправности ПН (m) присваивается необходимое значение и формируется соответствующее диагностическое сообщение.

В основу метода бортового диагностирования степени выработки ресурса моторного масла предложен комплексный показатель учитывающий суммарный объем израсходованного топлива и количество циклов пуска двигателя (формула 1):

$$\Delta = \left(\frac{\sum_{p=1}^n V_p}{V_0} + m_1 \cdot \kappa_1 + m_2 \cdot \kappa_2 \right) \cdot 100\% , \quad (1)$$

где V – объем израсходованного двигателем топлива за цикл «пуск – работа – останов двигателя»;

V_p – объем израсходованного двигателем топлива V при p -м цикле «пуск – работа – останов двигателя»;

$p = 1, 2, \dots, n$, n – количество циклов;

V_0 – объем израсходованного двигателем топлива за 250 часов его работы (периодичность замены масла в часах работы двигателя, установленная заводом – изготовителем), соответствующий предельной выработке ресурса моторного масла (пороговое значение рассчитывается по формуле 4);

m_1, m_2 – количество циклов пуска двигателя не прогретого (до $+40$ °C) и прогретого (свыше $+40$ °C) соответственно;

κ_1, κ_2 – коэффициенты выработки ресурса моторного масла при пуске двигателя не прогретого (до $+40$ °C) и прогретого (свыше $+40$ °C) соответственно.

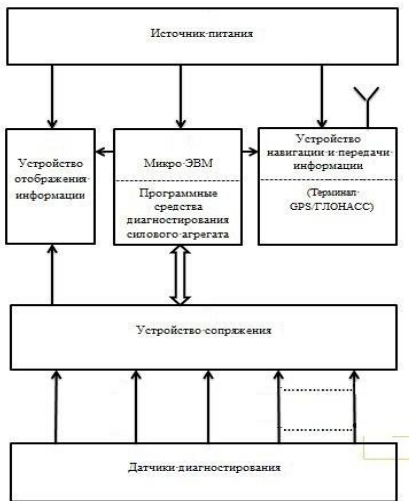


Рисунок 1. – Структурная схема микропроцессорной системы бортового диагностирования технического состояния силового агрегата

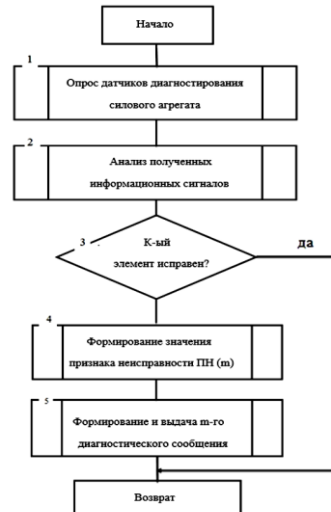


Рисунок 2. – Укрупненная блок – схема алгоритма бортового диагностирования технического состояния силового агрегата

В основу метода бортового диагностирования степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления положена информация о работе трения как интегральном показателе.

Метод бортового диагностирования, защищенный при участии автора двумя патентами на изобретение, отличается от традиционных, основанных на непосредственном измерении толщины накладок при частичной разборке узла.

Бортовой компьютер определяет процент износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления по следующим зависимостям:

$$L = \int_0^t M_k \left| (\omega_{\text{дв}} - \omega_{\text{сц}}) \right| dt ; \quad (2)$$

$$\Delta = \frac{\sum_{p=1}^n L_p}{L_0} \cdot 100\% , \quad (3)$$

где L - текущее значение работы трения фрикционных накладок ведомого диска сцепления;

L_p - значение работы трения L при p -м включении и выключении сцепления;

t - время трения фрикционных накладок ведомого диска сцепления;

M_k - крутящий момент двигателя внутреннего сгорания;

$\omega_{\text{дв}}, \omega_{\text{сц}}$ - текущие угловые скорости коленчатого вала двигателя и ведомого диска сцепления соответственно;

Δ - степень износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления;

$p = 1, 2, \dots, n$, n - количество включений и выключений сцепления;

L_0 - пороговое значение работы трения, соответствующее предельно допустимому износу фрикционных накладок ведомого диска сцепления (определяется экспериментально).

В основу метода бортового диагностирования степени износа фрикционных дисков каждой гидроподжимной муфты коробки передач положена информация о работе трения как интегральном показателе.

Бортовой компьютер определяет процент износа фрикционных дисков гидроподжимной муфты по зависимостям (2) и (3), где L - текущие значения работ трения фрикционных дисков гидроподжимной муфты;

L_p - значение работы трения L при p -м включении и выключении гидроподжимной муфты;

$\omega_{\text{дв}}, \omega_{\text{сц}}$ - текущие значения угловых скоростей ведущих и ведомых дисков гидроподжимной муфты коробки передач соответственно;

t - время трения фрикционных дисков гидроподжимной муфты;

M_k - момент трения фрикционных дисков гидроподжимной муфты;

Δ - степень износа фрикционных дисков гидроподжимной муфты;

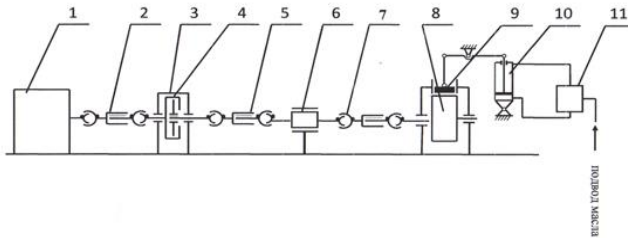
$p = 1, 2, \dots, n$, n количество включений и выключений гидроподжимной муфты;

L_0 - пороговое значение работы трения, соответствующее предельно допустимому износу фрикционных дисков гидроподжимной муфты (определяется экспериментально).

При этом предполагается, что износ фрикционных накладок ведомого диска сцепления и фрикционных дисков гидropоджимной муфты зависит линейно от работы трения.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям силового агрегата в части определения на стенде порогового значения предельной выработки ресурса фрикционных накладок ведомого диска сцепления и порогового значения предельной выработки ресурса фрикционных дисков гидropоджимных муфт коробки передач, а также определения порогового значения предельной выработки ресурса моторного масла колесного трактора, находящегося в реальных условиях эксплуатации по комплексному показателю учитывающему суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя Д – 245.5 S2 и количество циклов его пуска.

Испытания ведомого диска сцепления 70 – 1601130 с накладками сцепления 70 – 1601138 – 02 из материала «Фритекс–501» производства ОАО «Фритекс» (г. Ярославль) проводились на инерционно-тормозном стенде С 146, схема которого приведена на рисунке 3, в цехе испытаний ОАО «Минский тракторный завод».



- 1 – электродвигатель приводной мощностью 200 кВт; 2, 5, 7 – передачи карданные;
 3 – корпус сцепления; 4 – муфта сцепления с испытуемыми накладками;
 6 – измеритель крутящего момента (диапазон 0...2000 Н·м); 8 – массы инерционные с моментом инерции 7,8...8,2 кг·м²; 9 – тормоз остановочный инерционных масс;
 10 – цилиндр механизма управления тормозом остановочным инерционных масс; 11 – распределитель

Рисунок 3. – Схема стенда для испытаний муфт сцепления тракторов «БЕЛАРУС»

Графики изменения во времени цикловой работы и мощности трения при включении прогретой муфты сцепления показаны на рисунке 4. Из которых видно, что при включении муфты сцепления на стенде на заданных режимах нагружения поглощалась работа трения 150 кДж. Суммарное значение работы трения за период испытаний (за 10000 циклов включений муфты сцепления) как для образца № 1, так и для образца № 2 составило $L = 150 \cdot 10000 = 1500000$ кДж.

По результатам испытаний, средний износ фрикционных накладок ведомого диска муфты сцепления образца № 1 за 10000 включений (циклов) муфты сцепления составил $H_1 = 5,08$ мм. Средний износ фрикционных накладок ведомого диска муфты сцепления образца № 2 за такое же количество включений (циклов) муфты сцепления и при таких же условиях испытаний составил $H_2 = 4,27$ мм.

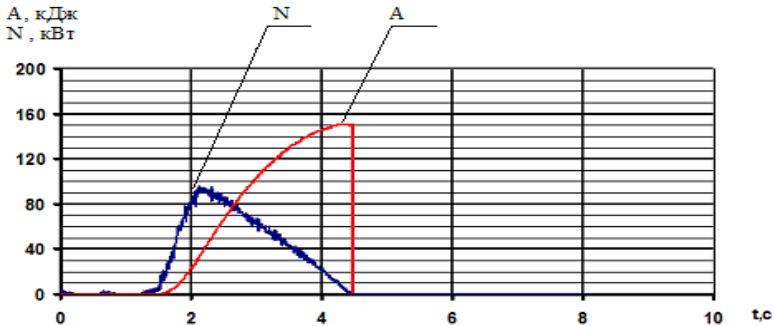


Рисунок 4. – Графики изменения цикловой работы (A) и мощности (N) трения при включении прогретой муфты сцепления с образцом № 1 ведомого диска с накладками производства ОАО «Фритекс» при наработке 450 циклов (температура корпуса муфты сцепления ≈ 20 °C)

Следует отметить, что ни один из представленных на испытания опытных фрикционных материалов не вызвал износа поверхностей трения контртел (маховика и нажимного диска). Суммарное усилие пружин в диске сцепления после испытаний не изменилось, т.е. осталось в пределах 8900...9000 Н. Из анализа результатов испытаний следует, что средняя работа трения на единицу линейного износа (на 1 мм) фрикционных накладок ведомого диска муфты сцепления составила:

– для фрикционных накладок образца № 1:

$$L_1 = L : H_1 = 1500000 : 5,08 = 295275 \text{ кДж/мм};$$

– для фрикционных накладок образца № 2:

$$L_2 = L : H_2 = 1500000 : 4,27 = 351288 \text{ кДж/мм}.$$

Учитывая тот факт, что номинальное значение толщины ведомого диска составляет 10 мм, а замена фрикционных накладок производится если толщина диска меньше допустимого предела равного 6 мм т.е. линейный износ накладок достигает предельного износа $H_{max} = 4$ мм, то числовое значение работы трения, соответствующее предельно допустимому износу фрикционных накладок ведомого диска муфты сцепления составило:

– для фрикционных накладок образца № 1:

$$L_{01} = L_1 \cdot H_{max} = 295275 \cdot 4 = 1181102 \text{ кДж};$$

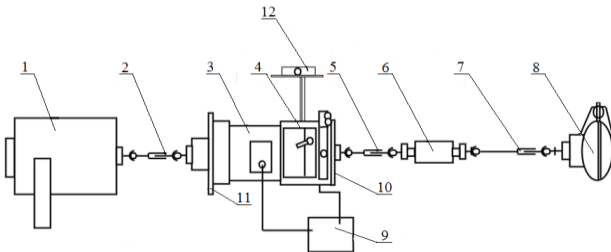
– для фрикционных накладок образца № 2:

$$L_{02} = L_2 \cdot H_{max} = 351288 \cdot 4 = 1405152 \text{ кДж}.$$

По результатам испытаний среднее пороговое значение работы трения, соответствующее предельно допустимому износу фрикционных накладок ведомого диска муфты сцепления составило

$$L_0 = (L_{01} + L_{02}) : 2 = (1181102 + 1405152) : 2 = 1293127 \text{ кДж}.$$

Испытания гидropоджимных муфт коробки передач проводились на стенде с поглощением мощности ОАО «Минский тракторный завод». Схема стенда приведена на рисунке 5.



**1 – машина балансирная; 2, 5, 7 – валы карданные; 3 – корпус муфты сцепления;
4 – коробка передач; 6 – датчик вращающего момента;
8 – нагрузитель (тормоз гидравлический); 9 – бак системы охлаждения;
10, 11 – стойки задняя и передняя; 12 – пульт управления**
Рисунок 5. – Схема стенда для испытаний коробки передач

Коробка передач отработала полный объем испытаний без замечаний, сохранив после испытаний свою работоспособность. При включении гидроподжимных муфт на стенде на заданных режимах нагружения поглощалась работа трения 150 кДж.

Суммарное значение работы трения за период испытаний (за 30000 циклов включений) для каждой из четырех гидроподжимных муфт составило $L = 150 \cdot 30000 = 4500000$ кДж.

По окончании испытаний была произведена разборка коробки передач для оценки состояния дисков гидроподжимных муфт и замера их толщины. Видимых повреждений ведомых и ведущих дисков при осмотре не отмечено.

По результатам испытаний приведенных в таблице 1 средний износ ведомых дисков гидроподжимных муфт составил:

- первая передача $H_1 = 0,05$ мм;
- вторая передача $H_2 = 0,16$ мм;
- третья передача $H_3 = 0,21$ мм;
- четвертая передача $H_4 = 0,25$ мм.

Таблица 1. – Результаты обмера дисков гидроподжимных муфт коробки передач после испытаний

Фрикционная муфта	Толщина ведомых дисков, мм (t ном. = 3,15)			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1 передача	3,07	3,12	3,12	3,09
2 передача	2,98	2,91	3,04	3,04
3 передача	3,08	2,79	2,93	2,98
4 передача	3,0	2,8	2,83	2,98

Из анализа результатов испытаний следует, что средняя работа трения на единицу линейного износа (на 1 мм) фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач составляет:

- первая передача $L_1 = L : H_1 = 4500000 : 0,05 = 90000000$ кДж/мм;
- вторая передача $L_2 = L : H_2 = 4500000 : 0,16 = 28125000$ кДж/мм;
- третья передача $L_3 = L : H_3 = 4500000 : 0,21 = 21428571$ кДж/мм;
- четвертая передача $L_4 = L : H_4 = 4500000 : 0,25 = 18000000$ кДж/мм.

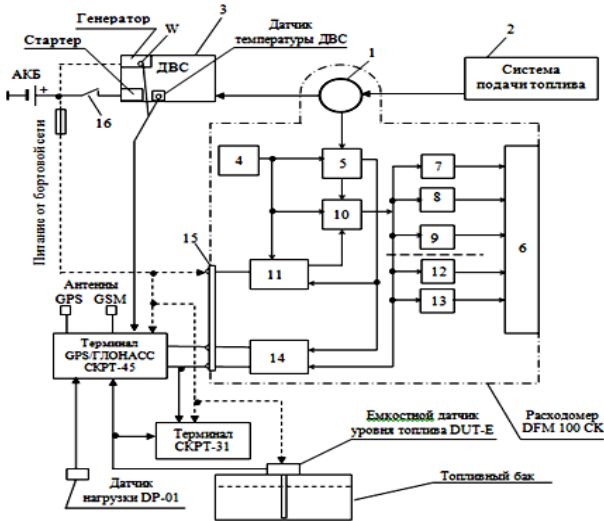
Учитывая тот факт, что номинальное значение толщины ведомого диска составляет 3,15 мм, а их замена производится если толщина фрикционного диска меньше допустимого предела равного 2 мм, т.е. линейный износ диска достигает предельного износа $H_{max} = 1,15$ мм, то пороговое значение работы трения соответствующее предельно допустимому износу фрикционных дисков гидроподжимных муфт составило:

- первая передача $L_{01} = L_1 \cdot H_{max} = 90000000 \cdot 1,15 = 103500000$ кДж;
- вторая передача $L_{02} = L_2 \cdot H_{max} = 28125000 \cdot 1,15 = 32343750$ кДж;
- третья передача $L_{03} = L_3 \cdot H_{max} = 21428571 \cdot 1,15 = 24642857$ кДж;
- четвертая передача $L_{04} = L_4 \cdot H_{max} = 18000000 \cdot 1,15 = 20700000$ кДж.

Испытания по определению порогового значения предельной выработки ресурса моторного масла по комплексному показателю учитывающему суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя Д – 245.5S2 и количество циклов его пуска проводились на учебном тракторе Беларусь – 925М принадлежащий УО «БГАТУ» и на тракторе Беларусь – 952 находящийся в реальных условиях эксплуатации и принадлежащий СПК «Радонежское», д. Корчицы, Кобринского района, Брестской области с установленной на них телематической системой контроля расхода топлива и режимов работы силового агрегата фирмы СП «Техно-тон», схема соединений компонентов которой показана на рисунке 6.

В качестве исходных данных для проведения экспериментальных исследований были приняты регламентированный производителем срок замены моторного масла через 250 час. работы двигателя, гипотеза о зависимости изменения свойств моторного масла не только от времени, но и от режимов работы двигателя и значения щелочного и кислотного чисел свежего масла залитого в двигатель. Контрольный забор моторного масла производился в объеме 80 мл. через каждые 85 – 90 часов работы трактора. При этом регистрировались параметры времени работы, суммарного расхода топлива и количество циклов «пуск – работа – останов двигателя» на момент забора пробы. Затем определялось щелочное и кислотное число каждой пробы, темп изменения которых по результатам многих исследований, является одним из основных показателей сохранения качественных характеристик и смазывающих свойств моторного масла в процессе эксплуатации. Щелочное и кислотное число каждой пробы масла сравнивались со щелочным и кислотным числом свежего масла и затем строилась графическая зависимость изменения темпа указанных показателей в процессе проведения исследований.

Параллельно брались пробы масла и исследовались показатели расхода топлива и режимов работы другого подконтрольного объекта находящегося в реальных условиях эксплуатации – трактора Беларусь – 952, оснащенного аналогичным двигателем и проводился анализ результатов.



- 1 – датчик расхода топлива; 2 – система подачи топлива;
 3 – двигатель внутреннего сгорания; 4 – встроенные часы (таймер);
 5 – анализатор скорости расхода топлива; 6 – ЖК-индикатор расходомера;
 7, 8 и 9 – счетчики расхода топлива и времени работы двигателя
 соответственно в режиме холостого хода, номинальной работы и перегрузки;
 10 – многоканальный ключ-переключатель режимов работы счетчиков;
 11 – анализатор уровня напряжения питания бортовой сети трактора;
 12 и 13 – счетчики количества пусков двигателя и расхода топлива в режиме пуска;
 14 – контроллер информационных сигналов; 15 – электрический разъем
 расходомера; 16 – включатель реле пуска стартера двигателя внутреннего сгорания
- Рисунок 6. – Функциональная схема соединений компонентов
 телематической системы для проведения исследований**

В результате проведенных испытаний трактора Беларус – 952 находящегося в реальных условиях эксплуатации (таблица 2), установлено также, что темп изменения щелочного числа моторного масла $M14Г_2$ в процессе эксплуатации пропорционален количеству пусков двигателя и суммарному расходу топлива за циклы «пуск – работа – останов двигателя» (рисунок 7).

Проанализировав сводные отчеты режимов работы колесного трактора находящегося в реальных условиях эксплуатации видно, что за время испытаний с 10 августа по 4 декабря 2017 года трактор Беларус – 952 отработал 93 дня. В день в среднем осуществлялось 5 пусков двигателя и как минимум первый пуск – пуск не прогретого (до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) двигателя.

Таким образом, за все время трактор проработал 93 дня, где было $(93 \times 5 = 465)$ пусков двигателя, из них как минимум $m_1 = 93$ – не прогретого (до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$), а прогретого (свыше $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) - $m_2 = 465 - 93 = 372$ пуска.

Таблица 2. – Сводный отчет режимов работы подконтрольного трактора Беларус – 952 за период между свежее залитым маслом (первая проба) и забором второй пробы моторного масла

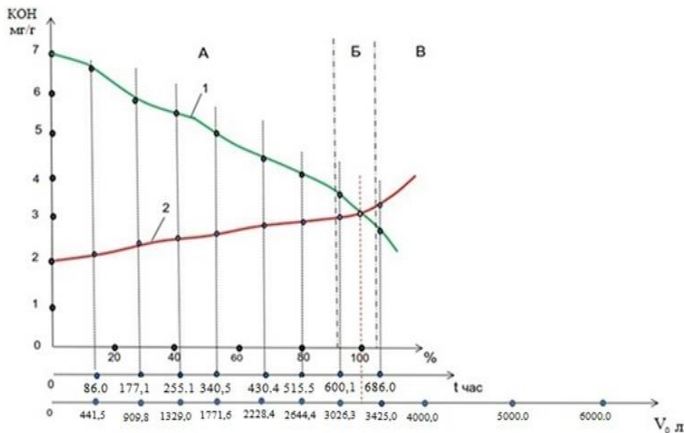
MONITOR
Мастерской отчета

ТС: МТЗ 952 АВ 7969 Период: От: 10 Август 2017 08:00
Дос: 25 Август 2017 14:40

Обновить отчет Печать Экспорт Закрыть

#	Дата	Пройденный путь (GPS) датч км	Время в движении (GPS) часы	Время работы двигателя часы	Время простоя с выкл. двигателями часы	Средняя скорость (GPS) датч км/ч	Израсходовано топлива л	Заправки топлива: (кол-во объем) л	Сливы топлива: (кол-во объем) л	Средний часовой расход топлива л/ч
1	11.08	66.6 --	4:55	9:28	4:33	14 --	48.9	-- --	-- --	5.2
2	12.08	61.8 --	4:43	9:10	4:28	13 --	44.4	-- --	-- --	4.8
3	13.08	92.7 --	6:24	9:34	3:10	14 --	54.7	-- --	-- --	5.7
4	14.08	94.7 --	5:56	9:34	3:38	16 --	52.9	-- --	-- --	5.5
5	15.08	40.6 --	2:46	6:20	3:34	15 --	30.0	-- --	-- --	4.7
6	16.08	0.1 --	0:01	0:02	0:01	-- --	0.1	-- --	-- --	--
7	17.08	83.9 --	5:40	9:36	3:56	15 --	50.8	-- --	-- --	5.3
8	18.08	87.9 --	5:48	9:37	3:50	15 --	50.7	-- --	-- --	5.3
9	19.08	77.7 --	4:28	8:23	3:56	17 --	42.3	-- --	-- --	5.0
10	20.08	6.9 --	0:21	0:32	0:11	20 --	3.9	-- --	-- --	7.4
11	21.08	0.1 --	0:01	0:03	0:02	-- --	0.2	-- --	-- --	--
12	22.08	0.0 --	0:00	0:04	0:04	-- --	0.2	-- --	-- --	2.5
13	23.08	0.6 --	0:07	0:26	0:18	5 --	1.4	-- --	-- --	3.3
14	24.08	17.1 --	1:48	5:14	3:25	9 --	17.0	-- --	-- --	3.3
15	25.08	67.2 --	5:01	8:03	3:02	13 --	44.0	-- --	-- --	5.5
Итого		697.9 --	47:58	86:07	38:09	--	441.5	-- --	-- --	--

Примечание: Исходные значения щелочного и кислотного числа свежего масла – 7,0 и 2,0 соответственно, залитого в двигатель при его замене. Нароботка двигателя – 00 час.00мин. Первая проба.. Нароботка двигателя – 86 час. 07 мин. За это время израсходовано топлива 441,5 л. Вторая проба масла. Значения щелочного и кислотного числа после указанной наработки – 6,7 и 2,2 соответственно (рисунок 7).



1 – щелочное число; 2 – кислотное число; А – эффективная работа масла; Б – диапазон замены масла; В – интенсивное старение масла
Рисунок 7. – Динамика изменения показателей работающего моторного масла марки М14Г₂

Проанализировав графики зависимости часового расхода топлива от температуры и оборотов коленчатого вала двигателя колесного трактора за цикл «пуск – прогрев – работа – останов» следует, что прогрев двигателя (до +40 °С) занимает 15 минут, что составляет 0,25 часа. Если принять регламентированный производителем срок замены моторного масла через 250 часов работы двигателя, то это составит $(250 : 0,25) = 1000$ пусков двигателя. Следовательно, коэффициент выработки ресурса моторного масла составит $\kappa_1 = 0,001$ – при пуске двигателя не прогретого (до +40 °С).

Объем израсходованного двигателем, за 250 часов его работы (периодичность замены масла в часах работы двигателя, установленная заводом-изготовителем), соответствующий предельной выработке ресурса моторного масла (пороговое значение) рассчитывался по следующей формуле и заносился в память бортового компьютера

$$V_0 = \frac{G \cdot t}{\rho} = \frac{19,44 \cdot 250}{0,84} = 5785,7 \text{ л}, \quad (4)$$

где G - часовой расход топлива, кг/ч;

t - периодичность замены масла в часах работы двигателя, установленная заводом – изготовителем, ч;

ρ - плотность топлива, г/см³.

Часовой расход топлива для двигателя Д – 245.5S2 установленного на тракторе Беларус – 952 определяется по формуле:

$$G = \frac{g_e \cdot N_e}{10^3} = \frac{240 \cdot 81}{1000} = 19,44 \text{ кг/ч} \quad (5)$$

где g_e - эффективный удельный расход топлива, г/кВт · ч;

N_e - номинальная мощность двигателя, кВт.

Объем израсходованного двигателем топлива при полной выработке ресурса моторного масла по новому методу составил – 3240 л.

Из этого следует, что оценку степени выработки и величину остаточного ресурса моторного масла в процессе эксплуатации более целесообразно производить не по времени работы, а по комплексному показателю (формула 1), учитывающему суммарный расход топлива (характеризующий температурные условия и режимы работы контролируемого объекта) и количество циклов пуска двигателя

$$\Delta = \left(\frac{3240}{5785,7} + 93 \cdot 0,001 + 372 \cdot 0,0009 \right) \cdot 100\% \approx 100\% . \quad (6)$$

Коэффициент выработки ресурса моторного масла $\kappa_2 = 0,0009$ – при пуске двигателя прогретого (свыше +40 °С) определен математически решая уравнение 6.

В процессе проведения исследований определен признак снижения качественных свойств щелочного числа работающего моторного масла после наработки контролируемого объекта трактора Беларус – 952 более 600 часов в реальных условиях эксплуатации (рисунок 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработан метод бортового диагностирования степени выработки ресурса моторного масла, отличающийся комплексным показателем учитывающим суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя и количество циклов его пуска, позволяющий отказаться от замены масла по регламенту, установленному заводом – изготовителем в часах работы двигателя и перейти к замене по реальной выработке его ресурса, так как учитывает фактические условия эксплуатации колесного трактора в каждом цикле «пуск – работа – останов двигателя», что позволяет рекомендовать этот метод для реализации в электронных устройствах бортового диагностирования и дистанционной оценки состояния и остаточного ресурса моторного масла [2, 5, 7, 9, 11, 14, 16].

2. Разработан метод бортового диагностирования степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления, отличающийся интегральным показателем, устанавливающий взаимосвязь между износом фрикционных накладок и работой трения, позволяющий в реальных условиях эксплуатации колесного трактора без разборки узла определять степень износа, остаточный ресурс фрикционных накладок и прогнозировать время их замены, а также перейти к техническому обслуживанию по фактической потребности и за счет этого предотвратить возможность эксплуатации неисправного трактора [5, 10, 13, 18, 19].

3. Разработан метод бортового диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, отличающийся интегральным показателем, устанавливающий взаимосвязь между износом фрикционных дисков и работой трения, позволяющий в любой период эксплуатации колесного трактора без разборки узла определять степень износа, остаточный ресурс фрикционных дисков, прогнозировать время их замены, а также перейти к техническому обслуживанию по фактической потребности, и за счет этого исключить, с одной стороны, возможность эксплуатации технически неисправного колесного трактора, а с другой, необоснованные материальные и трудовые затраты при его преждевременном обслуживании [1, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 15, 17]. Общий годовой экономический эффект от внедрения бортового диагностирования гидроподжимных муфт коробки передач составил 281,03 рубля.

4. В результате проведенных стендовых испытаний ведомого диска сцепления, экспериментальным путем определено пороговое значение работы трения фрикционных накладок ($L_0 = 1293127$ кДж.), соответствующее их предельно допустимому износу, позволяющее прогнозировать выработку ресурса фрикционных накладок ведомого диска сцепления используя при этом работу трения как интегральный показатель [5].

5. В результате проведенных стендовых испытаний гидроподжимных муфт коробки передач, экспериментальным путем определены пороговые значения работ трения фрикционных дисков для каждой передачи (первая передача – $L_{01} = 103500000$ кДж.; вторая передача – $L_{02} = 32343750$ кДж.; третья передача – $L_{03} = 24642857$ кДж.; четвертая передача – $L_{04} = 20700000$ кДж.), соответствующие их предельно допустимым износам, позволяющие прогнозировать выработку ресурса

фрикционных дисков гидropоджимных муфт коробки передач используя при этом интегральный показатель работы трения [1, 4, 12, 15].

6. Определено пороговое значение предельной выработки ресурса моторного масла марки М14Г₂ ($V_0 = 5785,7$ л.) колесного трактора с двигателем Д – 245.5S2, находящегося в реальных условиях эксплуатации, позволяющее прогнозировать выработку ресурса моторного масла используя при этом комплексный показатель учитывающий суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя и количество циклов его пуска [2, 11, 14].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты теоретических и экспериментальных исследований доложены, одобрены и приняты к использованию в виде программ и методик испытаний на ОАО «Минский тракторный завод» и внедрены в виде практических, лабораторных и лекционных занятий в учебный процесс УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» по специальности 1 – 74 06 01 «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства».

Практическая реализация подтверждается соответствующими актами внедрения и использования результатов исследования.



СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в научных журналах в соответствии с п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь

1. Карпиевич, Ю. Д. Работа трения как интегральный показатель степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач / Ю. Д. Карпиевич, В. Б. Ловкис, И. И. Бондаренко // Наука и техника. – 2014. – № 2. – С. 32–35.

2. Карпиевич, Ю. Д. Бортовой мониторинг степени выработки ресурса моторного масла колесных и гусеничных машин / Ю. Д. Карпиевич, Н. Г. Мальцев, И. И. Бондаренко // Наука и техника. – 2014. – № 4. – С. 10–14.

3. Карпиевич, Ю. Д. Уровень информационного сигнала от датчика линейного перемещения поршня гидроподжимной муфты коробки передач как показатель степени ее износа и величины остаточного ресурса / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко // Наука и техника. – 2015. – № 4. – С. 51–56.

4. Карпиевич, Ю. Д. Бортовое диагностирование степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач тракторов «Беларус» / Ю. Д. Карпиевич, А. Г. Баханович, И. И. Бондаренко // Новости науки и технологий. – 2015. – № 4 (35). – С. 9–11.

5. Карпиевич, Ю. Д. Бортовой мониторинг технического состояния силовых агрегатов колесных и гусеничных машин / Ю. Д. Карпиевич, А. Г. Баханович, И. И. Бондаренко // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 5. – С. 427–434.

Другие публикации

6. Карпиевич, Ю. Д. Расчет экономического эффекта от использования микропроцессорной системы бортового диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач колесных и гусеничных машин / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко // Агропанорама. – 2018. – № 2. – С. 29 – 33 .

7. Карпиевич, Ю. Д. Диэлектрическая проницаемость как показатель степени выработки ресурса моторного масла / Ю. Д. Карпиевич, Д. А. Русакевич, И. И. Бондаренко // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 32– 34.

Статьи в сборниках материалов конференции

8. Метод диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач колесных и гусеничных машин / Ю. Д. Карпиевич, Ю. М. Жуковский, И. И. Бондаренко, Н. Г. Мальцев // Научно – технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.– практ. конф., Минск, 28 – 30 ноября 2013 г. / Белорус. госуд. агр. техн. ун-т [и др.]; редкол.: Ю. Д. Карпиевич [и др.]. – Минск, 2013. – С. 66–70.

9. Карпиевич, Ю. Д. Анализ и классификация типовых неисправностей силовых агрегатов колесных и гусеничных машин / Ю. Д. Карпиевич, А. Г. Баханович, И. И. Бондаренко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 14-й Междунар. науч.– техн. конф. (69-й науч.– техн. конф. профессорско – преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ). Минск, 25 апреля 2016 г.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калининченко. – Минск, 2016. – Т. 2. – С. 24– 25.

10. Карпиевич, Ю. Д. Анализ нагруженности муфты сцепления при наличии приводного момента при переключении передач / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко, Д. Г. Лопух // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. ст. Междунар. науч.– практ. конф., Минск, 8 – 9 июня 2016 г. / Белорус. госуд. агр. техн. ун-т [и др.]; редкол.: Н. Н. Романок [и др.]. – Минск, 2016. – С. 190–192.

11. Карпиевич, Ю. Д. Бортовой мониторинг выработки ресурса моторного масла / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко, С. В. Занемонский // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. ст. Междунар. науч. – практ. конф., Минск, 22 – 24 ноября 2017 г. / Белорус. госуд. агр. техн. ун-т [и др.]; редкол.: В.П. Чеботарев [и др.]. – Минск, 2017. – С. 296–298.

12. Карпиевич, Ю. Д. Работа трения гидроподжимных муфт коробок передач / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко // Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь: матеріали IV Всеукраїнської наук.– практ. конф., Житомир, 28 – 29 березня 2018 р. / Житом. агр. кол.; оргком.: М. М. Тимошенко [и др.]. – Житомир, 2018. – С. 81–83.

13. Карпиевич, Ю. Д. Анализ типовых неисправностей силовых агрегатов / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 16-й Междунар. науч. – техн. конф. (71-й науч.– техн. конф. профессорско– преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ). Минск, 24 апреля 2018 г.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: С. В. Харитончик, А. М. Маляревич, А. С. Калининченко. – Минск, 2018. – Т. 2. – С. 12.

14. Карпиевич, Ю. Д. Новый метод бортового мониторинга степени выработки ресурса моторного масла / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко, Н. Г. Мальцев // Автомобиле – и тракторостроение: материалы Междунар. науч. – практ. конф., Минск, 14 – 18 мая 2018 г.: в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Д. В. Капский [и др.]. – Минск, 2018. – Т. 1. – С. 9–11.

15. Бортовое диагностирование степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач тракторов «Беларус» / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко, Т. М. Чумақ, М. А. Каптур, Н. Н. Казеко // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. ст. Междунар. науч. – практ. конф., Минск, 21 – 23 ноября 2018 г. / Белорус. госуд. агр. техн. ун-т [и др.]; редкол.: В.П. Чеботарев [и др.]. – Минск, 2018. – С. 257–260.

16. Диэлектрическая проницаемость как показатель степени выработки ресурса моторного масла / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко, М. А. Каптур, Н. Н. Казеко // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. ст. Междунар. науч. – практ. конф., Минск, 21– 23 ноября 2018 г. / Белорус. госуд. агр. техн. ун-т [и др.]; редкол.: В.П. Чеботарев [и др.]. – Минск, 2018. – С. 260–263.

17. Карпиевич, Ю. Д. Бортовое диагностирование технического состояния гидромеханических коробок передач / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко // Автомобиле – и тракторостроение: материалы Междунар. науч. – практ. конф., Минск, 24 – 27 мая 2019 г.: в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Д. В. Капский [и др.]. – Минск, 2019. – Т. 1. – С. 3–7.

Патенты

18. Устройство прогнозирования степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных накладок ведомого диска сцепления колесных и гусеничных машин: пат. 10355 Респ. Беларусь: МПК В 60 Т 17/22/ G 01 М 17/00/ Ю. Д. Карпиевич, Н. Г. Мальцев, Ю. М. Жуковский, И. И. Бондаренко; дата публ.: 30.10.2014.

19. Измеритель крутящего момента двигателя внутреннего сгорания колесной и гусеничной машины и способ определения процента износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления колесных и гусеничных машин: пат. 21037 Респ. Беларусь: МПК В 60 Т 17/22/ F 16 D 66/02/ Ю. Д. Карпиевич, Н. Г. Мальцев, Ю. М. Жуковский, И. И. Бондаренко; дата публ.: 26.01.2017.

Бандарэнка Ірына Іосіфаўна

Бартавое дыягнаставанне на аснове мікрапрацэсарнай сістэмы тэхнічнага стану трактара шляхам кантролю рэсурсу сілавога агрэгата

Ключавыя словы: дыягнаставанне, тэхнічнае абслугоўванне, сілавы агрэгат, выпрацоўка рэсурсу, счাপленне, няспраўнасць, гідрападжымная муфта, стэндавыя выпрабаванні.

Мэта работы: павышэнне эфектыўнасці бартавога дыягнаставання на аснове мікрапрацэсарнай сістэмы тэхнічнага стану трактара шляхам кантролю рэсурсу сілавога агрэгата.

Метады даследавання і выкарыстаная апаратура: даследаванне праводзілася з ужываннем разлікова-эксперыментальных метадаў у акрэдытаванай лабараторыі ААТ «Мінскі трактарны завод» з выкарыстаннем наступнага абсталявання: дынамаметры сціску ДАСМ 3-1 для вымярэння сумарнага намагання спружын ў муфце счাপлення; дынамаметры расцяжэння ДПК-0,2-2 для вымярэння намагання, прыкладзенага да рычага пры вызначэнні статычнага моманту зрыву муфты счাপлення; датчык Т 1-2 для вымярэння крутоўнага моманту на выходным вале муфты счاپлення; вагавая галоўка ZDI для замеры крутоўнага моманту на вале балансірнай машыны; датчыкі імпульсаў ДКП-11 для вымярэння частаты вярчэння вядучых і кіраваных частак стэнда.

Атрыманыя вынікі і іх навізна:

– распрацаваны метады бартавога дыягнаставання ступені выпрацоўкі рэсурсу маторнага масла, які адрозніваецца комплексным паказчыкам, што ўлічвае сумарны аб'ём выдаткаванага паліва і колькасць цыклаў пуску рухавіка;

– распрацаваны метады бартавога дыягнаставання ступені зносу фрыкцыённых накладак кіраванага дыска счاپлення і фрыкцыённых дыскаў гідрападжымных муфт скрынкі перадач, якія адрозніваюцца інтэгральным паказчыкам работы трэння і дазваляюць у любы перыяд эксплуатацыі колавага трактара без разборкі вузла вызначаць ступень зносу, рэшткавы рэсурс і прагназаваць час іх замены;

– вызначаны парогавыя значэнні работ трэння фрыкцыённых накладак кіраванага дыска счاپлення і фрыкцыённых дыскаў гідрападжымных муфт скрынкі перадач, якія дазваляюць прагназаваць выпрацоўку іх рэсурсу, выкарыстоўваючы працу трэння як інтэгральны паказчык;

– вызначана парогавыя значэнне лімітавай выпрацоўкі рэсурсу маторнага масла колавага трактара па комплексным паказчыку.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: вынікі тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў далажаны, адобраны і прыняты да выкарыстання ў выглядзе праграм і метадык выпрабаванняў на ААТ «Мінскі трактарны завод» і ўкаранены ў выглядзе практычных, лабараторных і лекцыйных заняткаў ў навучальны працэс УА «Беларускі дзяржаўны аграрны тэхнічны ўніверсітэт».

Вобласць прымянення: сілавыя агрэгаты трактара.

РЕЗЮМЕ

Бондаренко Ирина Иосифовна

Бортовое диагностирование на основе микропроцессорной системы технического состояния трактора путем контроля ресурса силового агрегата

Ключевые слова: диагностирование, техническое обслуживание, силовой агрегат, выработка ресурса, сцепление, неисправность, гидроподжимная муфта, стендовые испытания.

Цель работы: повышение эффективности бортового диагностирования на основе микропроцессорной системы технического состояния трактора путем контроля ресурса силового агрегата.

Методы исследования и использованная аппаратура: исследование проводилось применяя расчетно – экспериментальные методы в аккредитованной лаборатории ОАО «Минский тракторный завод» с использованием следующего оборудования: динамометр сжатия ДОСМ 3 – 1 для измерения суммарного усилия пружин в муфте сцепления; динамометр растяжения ДПУ– 0,2– 2 для измерения усилия прикладываемого к рычагу при определении статического момента срыва муфты сцепления; датчик Т 1– 2 для измерения крутящего момента на выходном валу муфты сцепления; весовая головка ZDI для замера крутящего момента на валу балансирующей машины; датчики импульсов ДКП – 11 для измерения частоты вращения ведущих и ведомых частей стэнда.

Полученные результаты и их новизна:

- разработан метод бортового диагностирования степени выработки ресурса моторного масла, отличающийся комплексным показателем учитывающим суммарный объем израсходованного топлива и количество циклов пуска двигателя;
- разработаны методы бортового диагностирования степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления и фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, отличающиеся интегральным показателем работы трения, позволяющие в любой период эксплуатации колесного трактора без разборки узла определять степень износа, остаточный ресурс и прогнозировать время их замены;
- определены пороговые значения работ трения фрикционных накладок ведомого диска сцепления и фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, позволяющие прогнозировать выработку их ресурса используя работу трения как интегральный показатель;
- определено пороговое значение предельной выработки ресурса моторного масла колесного трактора по комплексному показателю.

Рекомендации по использованию: Результаты теоретических и экспериментальных исследований доложены, одобрены и приняты к использованию в виде программ и методик испытаний на ОАО «Минский тракторный завод» и внедрены в виде практических, лабораторных и лекционных занятий в учебный процесс УО «Белорусский государственный аграрный технический университет».

Область применения: силовые агрегаты трактора.

SUMMARY

Bondarenko Irina Iosifovna

On-board diagnosis of tractor technical condition based on microprocessor system by controlling the resource of the power unit

Keywords: diagnosis, maintenance, power unit, resource output, clutch, malfunction, hydraulic clutch, bench tests

Objective of the study: improving the efficiency of on-board diagnosis of tractor technical condition by controlling the power unit resource based on the microprocessor system.

Research methods and materials: the research was carried out using computational and experimental methods in an accredited laboratory of the OJSC Minsk Tractor Plant using the following instruments: DOSM 3-1 compression dynamometer for measuring the total force of the clutch springs; tensile dynamometer DPU-0.2-2 for measuring the force applied to the lever in determining the clutch static moment of disruption; sensor T 1-2 for measuring torque on the clutch output shaft; ZDI head weighing machine for measuring torque on the shaft of the balance machine; pulse sensors DKP-11 for measuring the rotational speed of the leading and driven parts of the stand.

Results and their novelty

– a method has been developed for on-board diagnosing the degree of engine oil life span which differs by relative indicators considering the total amount of fuel consumed and the number of engine operating cycles;

– methods were developed for on-board diagnosing the degree of wear on the friction linings and discs of hydraulic clutch gearbox which differ in an integrated friction index, allowing determination of the degree of wear, residual life and predict the time of replacement of the wheel tractor;

– threshold limit values of the working friction on the friction linings of the driven clutch disc and the friction discs of the hydraulic clutch gearbox are determined, which allow output prediction of their resource using the friction work as an integral indicator;

– maximum output threshold value of wheel tractor engine oil resource was determined according to the integrated indicator.

Degree of use: the theoretical and experimental research results were presented, approved and accepted for usage at the OJSC Minsk Tractor Plant and also introduced in form of practical class, laboratory work and tutorials at EI "Belarusian State Agrarian Technical University".

Field of application: tractor power units.

Научное издание

**Бондаренко
Ирина Иосифовна**

**БОРТОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ
МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ТРАКТОРА ПУТЕМ КОНТРОЛЯ РЕСУРСА СИЛОВОГО АГРЕГАТА**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.05.03 – колесные и гусеничные машины

Подписано в печать 24.04.2020. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Цифровая печать.
Усл. печ. л. 1,51. Уч.-изд. л. 1,18. Тираж 70. Заказ 271.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.