

**Ю. Д. Карпиевич  
И. И. Бондаренко**

**БОРТОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВОГО  
АГРЕГАТА ТРАКТОРА**

Минск  
БНТУ  
2022

УДК 629.366

ББК 40.72

К26

**Карпиевич, Ю. Д.** Бортовое диагностирование технического состояния силового агрегата трактора / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко. – Минск : БНТУ, 2022. – 126 с. – ISBN 978-985-583-779-5.

В монографии рассмотрены вопросы повышения эффективности бортового диагностирования на основе микропроцессорной системы технического состояния трактора путем контроля ресурса силового агрегата.

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся разработками методов бортового диагностирования степени выработки ресурса моторного масла, степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления и износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, эксплуатацией тракторной техники, а также для студентов вузов.

Табл. 3. Ил. 61. Библиогр. назв. 84.

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом  
Белорусского национального технического университета  
(протокол № 4 от 06.05.2022 г.)

Рецензенты:

зав. кафедрой «Теоретическая механика и теория механизмов и машин» БГАТУ, д-р техн. наук, профессор *А. Н. Орда*;  
профессор кафедры «Машиноведение и детали машин» БНТУ,  
д-р техн. наук, профессор *А. Т. Скойбеда*

ISBN 978-985-583-779-5

© Карпиевич Ю. Д., Бондаренко И. И., 2022

© Белорусский национальный  
технический университет, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА .....	6
1.1 Перспективы и основные направления развития бортовых систем диагностирования технического состояния колесных и гусеничных машин .....	6
1.2 Методы бортового диагностирования технического состояния силовых агрегатов .....	23
Выводы .....	41
ГЛАВА 2 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И АНАЛИЗ ТИПОВЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ИССЛЕДУЕМОГО СИЛОВОГО АГРЕГАТА .....	42
2.1 Описание конструкции исследуемого силового агрегата .....	42
2.2 Анализ типовых неисправностей исследуемого силового агрегата .....	46
Выводы .....	48
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ БОРТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВОГО АГРЕГАТА .....	49
3.1 Разработка методов бортового диагностирования технического состояния двигателя внутреннего сгорания ...	52
3.2 Разработка методов бортового диагностирования технического состояния сцепления .....	57
3.3 Разработка методов бортового диагностирования технического состояния привода управления сцеплением ..	63
3.4 Разработка методов бортового диагностирования технического состояния коробки передач .....	67
Выводы .....	71

ГЛАВА 4 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИЛОВОГО АГРЕГАТА . . .	73
4.1 Методика проведения стендовых испытаний ведомого диска сцепления . . . . .	73
4.1.1 Объект испытаний . . . . .	73
4.1.2 Цель испытаний . . . . .	73
4.1.3 Методика испытаний . . . . .	73
4.1.4 Результаты испытаний . . . . .	76
4.2 Методика проведения стендовых испытаний фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач . . . . .	83
4.2.1 Объект испытаний . . . . .	83
4.2.2 Цель испытаний . . . . .	83
4.2.3 Методика испытаний . . . . .	83
4.2.4 Результаты испытаний . . . . .	87
4.3 Мониторинг степени выработки ресурса моторного масла . . . . .	92
4.3.1 Объект испытаний . . . . .	92
4.3.2 Цель испытаний . . . . .	95
4.3.3 Методика испытаний . . . . .	95
4.3.3.1 Принцип работы телематической системы и порядок проведения испытаний . . . . .	98
4.3.4 Результаты испытаний . . . . .	100
Выводы . . . . .	114
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .	 116
 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК . . . . .	 118

## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими задачами, стоящими перед автотракторной промышленностью Республики Беларусь, является 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 работа посвящена контролю степени выработки ресурса колесного трактора на основе микропроцессорной системы бортового диагностирования силового агрегата, что делает исследование востребованным и актуальным.

## **ГЛАВА 1**

### **СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА**

Техническая диагностика – отрасль научно-технических знаний, сущность которой составляют теория, методы и средства обнаружения и поиска дефектов объектов технической природы [1].

Под дефектом следует понимать любое несоответствие свойств объекта заданным, требуемым или ожидаемым его свойствам.

Обнаружение дефекта есть установление факта его наличия или отсутствия в объекте.

Поиск дефекта заключается в указании с определенной точностью его местоположения в объекте.

Основное назначение технической диагностики состоит в повышении надежности объектов на этапе их эксплуатации, а также в предотвращении производственного брака на этапе изготовления объектов и их составных частей. Повышение надежности обеспечивается улучшением таких показателей, как коэффициент готовности, коэффициент технического использования, время восстановления работоспособного состояния, а также ресурс или срок службы и наработка до отказа или наработка на отказ для резервированных объектов с восстановлением.

Обнаружение и поиск дефектов являются процессами определения технического состояния объекта и объединяются общим термином – диагностирование, а диагноз есть результат диагностирования.

Диагностирование технического состояния любого объекта осуществляется теми или иными средствами диагностирования.

#### **1.1 Перспективы и основные направления развития бортовых систем диагностирования технического состояния колесных и гусеничных машин**

Как известно, любая система диагностирования образуется за счет взаимодействия технических средств диагностирования и объекта диагностирования. Различают системы тестового и функционального диагностирования [1]. В системах тестового диагностирования на объект подаются специально организуемые тестовые воздействия. В системах функционального диагностирования на объект поступают только рабочие воздействия. В системах обоих

видов средства диагностирования воспринимают и анализируют ответы объекта на входные воздействия и выдают результат диагностирования, то есть ставят диагноз [2].

Система диагностирования в процессе определения технического состояния объекта реализует некоторый алгоритм диагностирования, представляющий собой определенную последовательность элементарных проверок и правил анализа их результатов [3, 4]. Различают программные и аппаратные технические средства диагностирования, причем, в зависимости от степени автоматизации диагностирования в качестве технических средств диагностирования может выступать и человек-оператор [1].

Каждая элементарная проверка определяется своим тестовым или рабочим воздействием, подаваемым или поступающим на объект, и составом контрольных точек, с которых снимаются ответы объекта на это воздействие [1]. Диагноз ставится в общем случае по совокупности полученных результатов элементарных проверок [5].

Определенный интерес представляет классификация диагностических систем в зависимости от места размещения технических средств диагностирования по отношению к колесной или гусеничной машины (рисунок 1.1) [6].

Внешние системы диагностирования (стационарные и передвижные) обладают рядом преимуществ – исключено влияние на процесс диагностирования дорожных, транспортных и природно-климатических условий, имеется возможность многократного повторения операций диагностирования, реализации сложных, продолжительных по времени алгоритмов, использование в составе систем мощных стационарных ЭВМ, возможность накопления и длительного хранения больших объемов диагностической информации. Однако, такие системы не позволяют своевременно выявлять внезапные и несистематические отказы, что отрицательно сказывается на безопасности движения, а в силу плано-предупредительного или эпизодического характера диагностических работ недостаточно эффективны и при выявлении постепенных отказов [6]. В таблице 1.1 приведена степень охвата колесных и гусеничных машин диагностированием [7].

Повышение эксплуатационной надежности колесных и гусеничных машин, снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт возможно только при своевременном и объективном определении технического состояния узлов, агрегатов и систем [8, 9, 10].

Анализ данных [11, 12, 13] позволяет выделить основные направления совершенствования диагностики колесных и гусеничных машин (рисунок 1.2).

Получивший в настоящее время наибольшее распространение регламентный характер контрольно-диагностических работ не может обеспечить требуемого уровня технического состояния колесных и гусеничных машин, так как не учитывает индивидуальные особенности каждой машины, условия ее эксплуатации, технического обслуживания и проведенные ранее ремонтные воздействия. Так, например, по данным фирмы Voith 80 % поступающих на техническое обслуживание коробок передач в нем не нуждаются, в то время как остальные уже имеют значительные повреждения [14].

В связи с этим в последние годы все ведущие фирмы приступили к созданию бортовых систем диагностирования, позволяющих перейти к техническому обслуживанию по фактической потребности и за счет этого исключить, с одной стороны, возможность эксплуатации технически неисправных колесных и гусеничных машин, а с другой необоснованные материальные и трудовые затраты при преждевременном обслуживании.

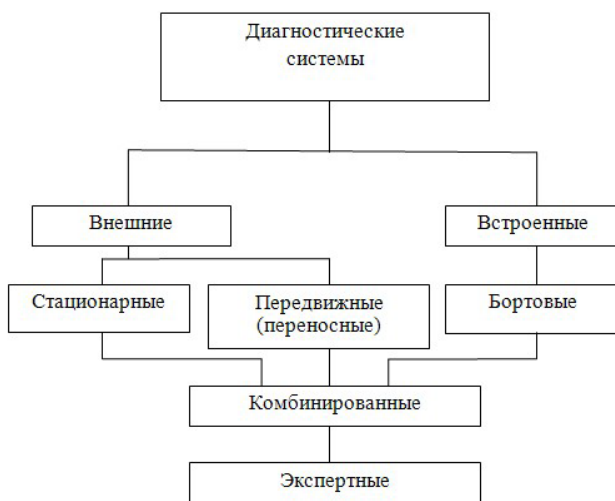


Рис. 1.1. Классификация диагностических систем колесных и гусеничных машин по расположению технических средств диагностирования



Таблица 1.1. – Степень охвата элементов колесных и гусеничных машин диагностированием

Распределение отказов, %	Диагностируемых	Не диагностируемых
Двигатель и его системы	29,0	71,0
Электрооборудование	33,0	67,0
Трансмиссия	55,0	45,0
Ходовая часть	12,0	88,0
Рулевое управление	51,0	49,0
Тормозная система	39,0	61,0

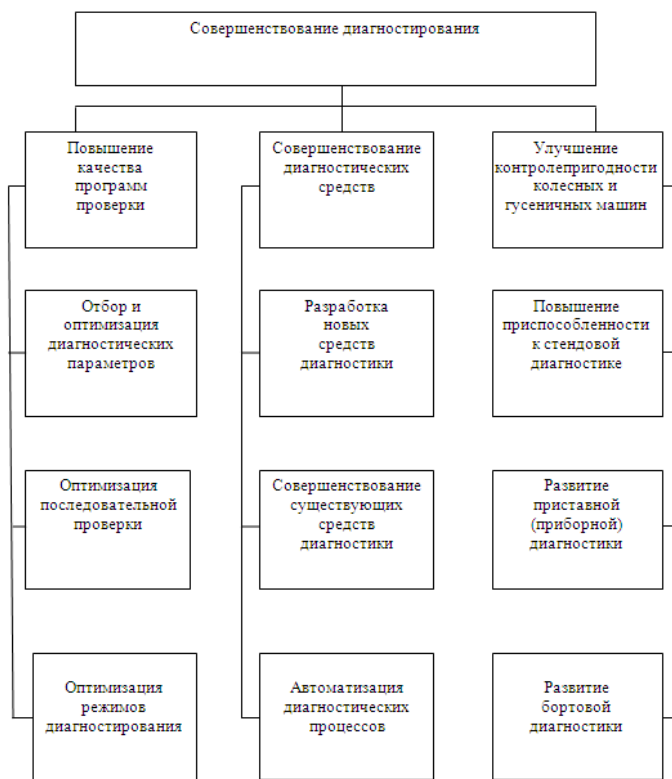


Рис. 1.2. Основные направления совершенствования диагностики колесных и гусеничных машин

Предполагается, что внедрение бортовых диагностических систем позволит снизить стоимость технического обслуживания в 5–10 раз [15].

Разработанные в настоящее время бортовые системы диагностирования, в которых технические средства диагностирования являются элементом конструкции, позволяют контролировать на колесных и гусеничных машинах 20–30 параметров [15].

В ближайшее время намечается значительное увеличение количества контролируемых параметров, что связано, прежде всего, с использованием в конструкции колесных и гусеничных машин микропроцессорной техники [16, 17].

Однако, имеют место и комбинированные системы диагностирования, предполагающие совместную работу бортового и стационарного диагностического оборудования [18].

Но по мере дальнейшего развития электроники, создания малогабаритных, дешевых, обладающих высоким быстродействием микропроцессоров и датчиков, легко интегрирующихся с электронными цепями, центр тяжести в этих системах будет постоянно смещаться в сторону бортового диагностического оборудования [19].

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 [6]. 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 [6].

Сложность задач, стоящих перед бортовыми диагностическими системами, определяется тем, что анализ и прогнозирование изменения технического состояния производятся в эксплуатационных условиях, которые характеризуются невозможностью или сложностью получения необходимой информации. Это влечет за собой повышение требований к выбору диагностических параметров, обоснование и разработку алгоритмов диагностирования, учитывающих широкий диапазон

режимов эксплуатации и вариации начальных показателей системы, жесткие требования к элементной базе диагностических систем [6].

Создание таких систем стало практически возможным лишь с появлением микропроцессоров, обладающих следующими достоинствами [17, 20, 21, 22, 23]:

- высокая точность и быстродействие;
- программный способ обработки информации;
- возможность перепрограммирования при модернизации системы или объекта диагностирования;
- простота передачи и преобразования информации без потерь и ее долговременное хранение;
- возможность реализации процессов диагностирования в реальном масштабе времени;
- относительно низкая стоимость микропроцессоров и устойчивая тенденция к ее дальнейшему снижению;
- компактность, малый вес, высокая надежность и незначительное энергопотребление.

Одной из наиболее совершенных микропроцессорных систем диагностирования является система AVE, разработанная фирмой RCA для танков М1 и грузовых автомобилей специального назначения [20]. Система AVE имеет иерархическое строение и позволяет производить диагностический контроль на уровне систем, подсистем, блоков и элементов в функциональном и тестовом режимах как на неподвижном, так и на движущемся транспортном средстве. Всего предусмотрено четыре типа диагностирования:

- непрерывный;
- по запросу водителя;
- по запросу обслуживающего персонала при проведении технического обслуживания;
- расширенный, с использованием внешних технических средств диагностирования [6, 24].

Отличительной особенностью системы AVE является возможность проведения диагностирования в диалоговом режиме, организуемого при помощи пульта управления и устройства отображения информации. При наличии неисправности водитель может в диалоговом режиме локализовать неисправность на уровне сменного блока или элемента. Результаты диагностирования воспроизводятся на устройстве отображения информации в символьной и буквенно-цифровой форме.

Исправные системы, подсистемы, блоки, элементы и связи отображаются зеленым цветом, а неисправные – красным.

При расширенной диагностике к системе дополнительно через универсальный разъем подключается внешнее диагностическое оборудование, включающее в себя датчики, исполнительные механизмы, адаптер и микроЭВМ с пультом управления [6, 24].

Программное обеспечение системы AVE построено с применением методов искусственного интеллекта, т. е. фактически речь идет об экспертной системе, позволяющей моделировать процесс мышления человека-эксперта. Все программное обеспечение системы AVE написано на языке Ага, разработанном по инициативе министра обороны США для использования в микропроцессорных системах военного назначения [6, 24].

В таких системах требуется параллельное выполнение операций и налагаются жесткие ограничения на время реакции, и поэтому Ага – это язык систем реального времени, который стал обязательным для многих военных применений [6].

Описанная выше бортовая микропроцессорная система диагностирования отличается сложной программной и аппаратурной реализацией и в силу технико-экономических соображений вряд ли получит широкое распространение на транспортных средствах общего назначения.

Большой интерес представляет еще одна микропроцессорная система военного назначения VMS (Vehicle Monitoring System), способная производить сбор, обработку и хранение информации по 30 параметрам, таким как угловая скорость коленчатого вала двигателя, температура и уровень охлаждающей жидкости, перепад давлений на воздушном фильтре, давление масла в главной масляной магистрали, напряжение и силу тока аккумуляторной батареи, уровень электролита и т. д. [6, 16].

Для ввода информации предусмотрено 22 аналоговых и 18 дискретных каналов. Диагностирование производится путем сравнения текущих значений диагностических параметров с их предельными величинами, хранящимися в памяти бортовой микроЭВМ. Кроме того, в системе VMS предусмотрена возможность прогнозирования технического состояния, которое осуществляется путем сравнения текущих значений прогностических параметров (например, износа тормозных накладок) с их предельно допустимыми значениями или

путем контроля скорости изменения прогностического параметра, после чего высчитывается максимальное время до достижения предельно допустимого состояния. При этом предполагается, что изменение прогностического параметра происходит с той же скоростью, а может быть и быстрее.

Система VMS позволяет прогнозировать состояние водяного насоса, тормозных накладок, аккумуляторной батареи, генератора и фильтра очистки воздуха [6, 16].

Для взаимодействия системы с оператором имеется пульт управления, включающий в себя клавиатуру и дисплей. В случае возникновения неисправности VMS незамедлительно сигнализирует об этом водителю. Предусмотрена возможность выдачи диагностической и прогностической информации по запросу водителя с пульта управления.

Программное обеспечение VMS построено таким образом, что после проведения технического обслуживания возможна установка системы в соответствующее состояние. Для сохранения информации на случай отключения электропитания в системе предусмотрен автономный источник питания, позволяющий сохранять информацию, накопленную в памяти микроЭВМ [6, 16].

Для проведения более углубленного диагностирования предусмотрена возможность подсоединения VMS к внешней системе диагностирования. Кроме того, на борту транспортного средства предусмотрено внешнее запоминающее устройство, позволяющее накапливать информацию. Система VMS является полностью самодиагностируемой.

Обе описанные выше системы диагностирования технического состояния колесных и гусеничных машин на сегодняшний день являются наиболее совершенными.

В состав таких систем входят [6, 16]:

- датчики параметров окружающей среды, предназначенные для учета действительных условий эксплуатации колесных и гусеничных машин;

- датчики параметров объекта диагностирования, предназначенные для восприятия и преобразования диагностической информации в электрический сигнал, удобный для его передачи, дальнейшего преобразования и хранения;

- исполнительные механизмы, предназначенные для реализации управляющих воздействий на объект диагностирования;

– устройство отображений информации, предназначенное для оперативной индикации диагностической информации, выдачи рекомендаций по техническому обслуживанию колесных и гусеничных машин и организации диалога с водителем;

– пульт управления, предназначенный для взаимодействия водителя с диагностической системой;

– внешнее запоминающее устройство, предназначенное для длительного хранения больших объемов информации об отказах и условиях их возникновения, режимах работы узлов, агрегатов и систем колесных и гусеничных машин, условиях окружающей среды, которая затем может быть использована для более глубокого диагностирования и прогнозирования технического состояния колесных и гусеничных машин в стационарных условиях;

– устройство сопряжения, предназначенное для предварительной фильтрации входных информационных сигналов от датчиков и пульта управления, приведения их в стандартную для микроЭВМ форму и преобразования входной информации от микроЭВМ к удобному для исполнительных механизмов, устройства отображения информации и внешнего запоминающего устройства, а при необходимости и усиления этих сигналов;

– микроЭВМ, предназначенная для приема и окончательной обработки входной информации, ее сглаживания и решения основной функциональной задачи в соответствии с алгоритмом диагностирования;

– вторичный источник питания, который кроме основной функциональной задачи – обеспечение потребителей (микроЭВМ, пульт управления, устройство отображения информации, устройство сопряжения, датчики и исполнительные механизмы) необходимым по номенклатуре, величине и нагрузке питанием – выполняет не менее важную функцию фильтра помех, возникающих в бортовой сети колесных и гусеничных машин;

– универсальный диагностический разъем, предназначенный для подключения внешних технических средств диагностирования при проведении диагностирования в стационарных условиях.

Описанная выше структура системы диагностирования может быть реализована на различной элементной базе.

Ведущее положение в области разработки и создания бортовых диагностических систем занимают фирмы Японии, США и ФРГ.

Развитие бортовых диагностических систем осуществляется в настоящее время по трем направлениям [6, 16]:

- диагностика функциональной работоспособности и технического состояния электронных систем управления агрегатами и узлами колесных и гусеничных машин;

- диагностика технического состояния узлов и агрегатов колесных и гусеничных машин;

- самодиагностика технического состояния узлов и агрегатов колесных и гусеничных машин и систем их управления и разработка на их базе адаптивных систем управления.

Но, по нашему мнению, разработку бортовых систем диагностирования целесообразно производить одновременно с созданием различных микропроцессорных систем управления колесными и гусеничными машинами, появление которых обусловлено резким ужесточением в ряде стран законодательных норм на расход топлива, токсичность отработавших газов, эффективность торможения и т. д. [17, 25, 26, 27, 28].

Основная идея такого подхода заключается в том, что любая диагностическая система, предусматривающая тестовый и (или) функциональный режим диагностирования, представляет собой специфическую систему контроля и управления, структурная схема которой принципиально не отличается от «чистой» системы управления. Таким образом, в этом случае появляется возможность совместного использования датчиков, исполнительных механизмов, микроЭВМ и программных единиц как в целях управления колесными и гусеничными машинами, так и в целях их диагностирования, что, с одной стороны позволяет повысить качество управления, а с другой – свести к минимуму материальные затраты на реализацию системы диагностирования.

Рассмотрим подробнее некоторые бортовые системы диагностирования технического состояния колесных и гусеничных машин. Особый интерес представляет решение задачи бортового диагностирования степени износа тормозных накладок автомобиля [29].

Изобретение – датчик износа тормозных накладок автомобилей, содержащий пластмассовый корпус, расположенный на тормозной накладке перпендикулярно ее рабочей поверхности, причем пластмассовый корпус содержит несколько параллельно соединенных резисторов из мягкого материала, которые находятся на расстоянии

друг от друга и соединены через мостовую схему с сигнализатором износа, который выполнен в виде последовательно соединенных операционного усилителя и аналого-цифрового преобразователя и соединен с бортовым компьютером автомобиля – относится к области машиностроения, в частности к устройствам для контроля степени износа тормозных накладок.

Технической задачей изобретения является расширение функциональных возможностей дискретно-мостового датчика износа тормозных накладок автомобилей для компьютерного диагностирования автомобилей.

На рисунке 1.3 представлена схема датчика износа тормозных накладок автомобиля.

Сущность изобретения заключается в том, что для решения вышеуказанной технической задачи электрическая схема дополнительно содержит последовательно соединенные операционный усилитель и аналого-цифровой преобразователь, подключенные к бортовому компьютеру.

Датчик износа тормозных накладок автомобилей состоит из пластмассового корпуса 1, расположенного на тормозной накладке перпендикулярно ее рабочей поверхности, нескольких параллельно соединенных резисторов 2–5 из мягкого материала, которые находятся на расстоянии относительно друг друга и соединены через мостовую схему 6 и операционный усилитель 7 с аналого-цифровым преобразователем 10, который преобразует в цифровой сигнал износ тормозной накладки 8 и тормозного диска 9 и передает его на экран бортового компьютера 11.

Датчик износа тормозных накладок автомобиля работает следующим образом.

При неизношенной тормозной накладке 8 несколько параллельно соединенных резисторов 2–5 из мягкого материала, которые находятся на определенном расстоянии относительно друг друга, соединены с мостовой схемой 6 и держат ее в равновесном состоянии. При этом напряжение не поступает на операционный усилитель 7 и на аналого-цифровой преобразователь 10. На экране бортового компьютера 11 горит надпись «Износ тормозных накладок 0 %».



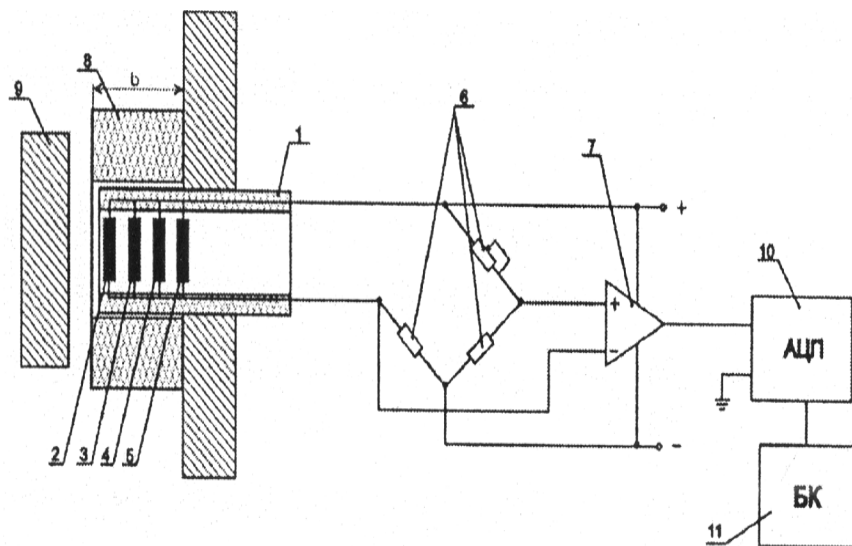


Рис. 1.3. Датчик износа тормозных накладок автомобиля  
 1 – корпус; 2–5 – резисторы; 6 – мостовая схема; 7 – операционный усилитель;  
 8 – тормозная накладка; 9 – тормозной диск; 10 – аналого-цифровой преобразователь; 11 – бортовой компьютер

Во время эксплуатации при трении о тормозной диск 9 тормозная накладка 8 изнашивается, уменьшается ее толщина  $b$ , одновременно стирается часть нескольких параллельно соединенных резисторов 2–5 из мягкого материала, которые находятся на расстоянии друг от друга. При этом общее сопротивление параллельно соединенных резисторов 2–5 уменьшается, мостовая схема 6 выходит из равновесного состояния, и через нее начинает проходить напряжение, прямо пропорциональное оставшемуся количеству резисторов 2–5 из мягкого материала, и поступает через операционный усилитель 7 на аналого-цифровой преобразователь 10.

Сопротивление и количество резисторов 2–5 из мягкого материала подбираются таким образом, чтобы при полном износе тормозной накладки 8 аналого-цифровой преобразователь 10 выдавал сигнал, позволяющий видеть на экране бортового компьютера 11 надпись «Износ тормозных накладок 100 %».

Использование датчика износа тормозных накладок автомобиля позволит расширить функциональные возможности датчика и сделает возможным проведение компьютерного диагностирования тормозных систем автомобиля.

Существуют и более эффективные системы бортового диагностирования степени износа тормозных накладок автомобилей [30, 31]. Так на рисунке 1.4 представлена структурная схема микропроцессорной системы определения процента износа тормозной накладки колеса транспортного средства.

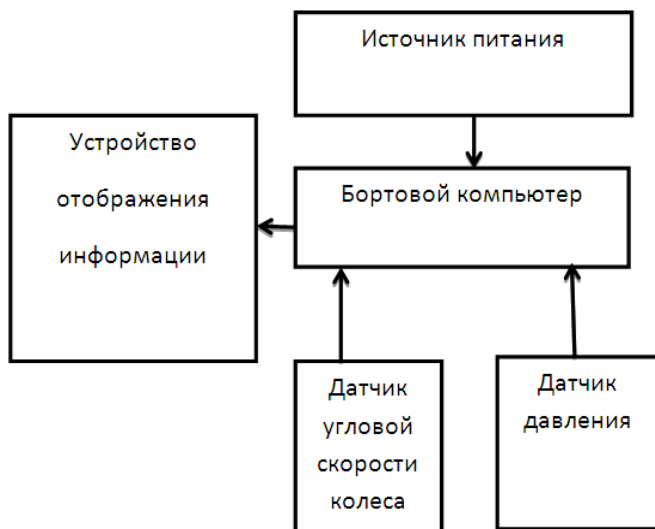


Рис. 1.4. Структурная схема микропроцессорной системы определения процента износа тормозной накладки колеса транспортного средства

Бортовой компьютер, работа которого поддерживается источником питания, постоянно проводит опрос датчика угловой скорости колеса транспортного средства и датчика давления, сопоставляет полученные значения с установленными граничными условиями и принимает решение о дальнейшем функционировании механизма. Для отображения информации предусмотрено специальное устройство.

На рисунке 1.5 показаны измеритель тормозного момента и тормозной механизм с подвижным суппортом.

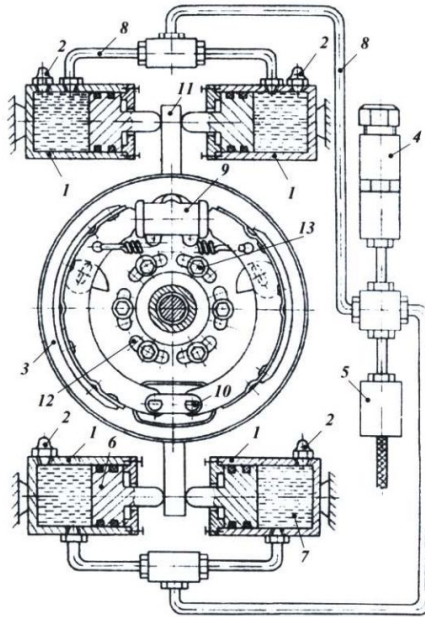


Рис. 1.5. Измеритель тормозного момента  
и тормозной механизм с подвижным суппортом

1 – гидравлические цилиндры; 2 – перепускные клапаны; 3 – подвижный суппорт;  
4 – обратный клапан; 5 – датчик давления; 6 – шток-поршни; 7 – рабочее тело  
в виде жидкости; 8 – трубопроводы; 9 – колесный цилиндр; 10 – опорные пальцы  
колодок; 11 – рычаг; 12 – овальные отверстия; 13 – болты

Измеритель тормозного момента колеса транспортного средства содержит гидравлические цилиндры 1, перепускные клапаны 2, обратный клапан 4, шток-поршни 6, рабочее тело в виде жидкости 7, трубопроводы 8, датчик давления 5.

Тормозной механизм с подвижным суппортом на колесе (рисунок 1.5), входящий в состав устройства для определения процента износа тормозной накладкой колеса транспортного средства, состоит из подвижного суппорта 3, к которому крепятся колесный цилиндр 9, опорные пальцы колодок 10 и рычаг 11. Тормозной механизм с подвижным суппортом имеет возможность поворачиваться относительно фланца балки моста на некоторый угол за счет овальных отверстий 12 в суппорте и болтов 13 его крепления, поставленных с зазором.

Работает устройство следующим образом.

Оно включается в работу во время запуска двигателя внутреннего сгорания и работает от бортовой электросети транспортного средства.

В процессе движения транспортного средства бортовой компьютер постоянно считывает и запоминает значения информационных сигналов от измерителя тормозного момента колеса, в котором установлен датчик давления, и значения информационных сигналов от датчика угловой скорости колеса. При затормаживании транспортной или тяговой машины тормозные колодки прижимаются к тормозному барабану.

За счет сил трения, возникающих между тормозным барабаном и фрикционными накладками, тормозной механизм с подвижным суппортом стремится повернуться на некоторый угол. Рычаг 11, выполненный за одно целое с подвижным суппортом 3 тормозного механизма, передает усилие на шток-поршни 6 двух гидроцилиндров 1. Тормозной момент измеряется путем регистрации реактивного момента, воздействующего на подвижный суппорт тормозного механизма. Реактивный момент, возникающий на подвижном суппорте, воспринимается двумя гидравлическими цилиндрами 1, закрепленными неподвижно относительно балки моста и гидравлически связанными между собой датчиком давления 5. В замкнутой гидравлической системе возникало избыточное давление, пропорциональное тормозному моменту. Избыточное давление рабочего тела в виде жидкости 7 с помощью датчика давления 5 преобразуется в информационный сигнал. Значения информационных сигналов от измерителя тормозного момента колеса, в котором установлен датчик давления, а также значения информационных сигналов от датчика угловой скорости колеса транспортного средства поступают в бортовой компьютер.

После чего бортовой компьютер определяет работу силы трения в тормозной накладке колеса транспортного средства путем интегрирования произведений значений сигналов от измерителя тормозного момента колеса на значения сигналов от датчика угловой скорости колеса в течение времени первого и последующих торможений. Полученные значения работы силы трения тормозной накладки колеса после каждого торможения прибавляются к сумме, полученной при предыдущих торможениях, общая сумма значения работы силы трения тормозной накладки колеса делится на наперед

заданное значение работы силы трения тормозной накладки, соответствующее предельно допустимому износу тормозной накладки колеса, затем умножают это соотношение на сто процентов и определяют тем самым процент износа тормозной накладки колеса транспортного средства.

Все это можно записать следующим образом:

$$L = \int_0^t M \omega dt;$$

$$\Delta = \frac{\sum_{r=1}^n L_r}{L_0} \cdot 100\%;$$

где  $L$  – работа силы трения тормозной накладки;

$t$  – время трения тормозной накладки;

$M$  – тормозной момент на колесе;

$\omega$  – угловая скорость колеса;

$\Delta$  – процент износа тормозной накладки;

$r = 1, 2 \dots n$ ,  $n$  – число торможений;

$L_0$  – значение работы силы трения, соответствующее предельному износу тормозной накладки.

Аналогичная проблема бортового диагностирования степени износа тормозных накладок автомобиля была решена в работе [32]. Сущность решаемой проблемы заключается в том, что конденсатор выполнен подвижным относительно кольцеобразного диэлектрического материала, закрепленного на крышке.

На рисунке 1.6 представлена схема подвижного цифрового датчика износа тормозных накладок автомобилей.

Схема подвижного цифрового датчика износа тормозных накладок автомобилей состоит из тормозного диска 1 и тормозной накладки 2, мультивибратора, состоящего из конденсатора с кольцеобразными обкладками 4 и 6 из мягкого металла, между которыми находится кольцеобразный диэлектрический материал 7, закрепленный на крышке 5, резисторов R1, R2, R3, R4, пластмассового

корпуса 3, расположенного на тормозной накладке перпендикулярно ее рабочей поверхности, операционного усилителя 8, частотного и аналого-цифрового преобразователей 9 и 10 соответственно, подключенных к бортовому компьютеру 11.

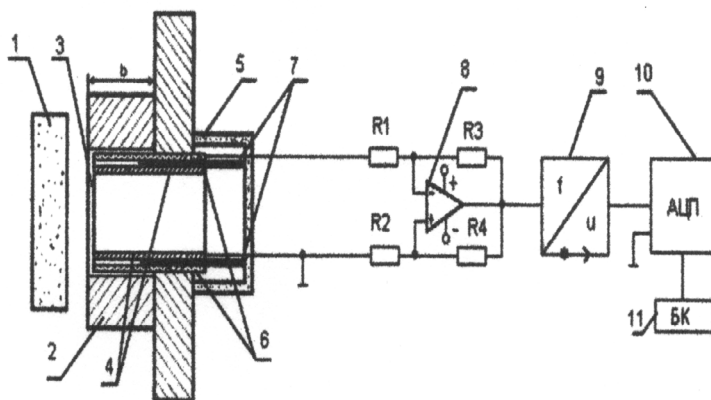


Рис. 1.6. Схема подвижного цифрового датчика износа тормозных накладок автомобилей

- 1 – тормозной диск; 2 – тормозная накладка; 3 – пластмассовый корпус;
- 4, 6 – кольцеобразные обкладки конденсатора; 5 – крышка;
- 7 – кольцеобразный диэлектрический материал; 8 – операционный усилитель;
- 9 – частотный преобразователь; 10 – аналого-цифровой преобразователь;
- 11 – бортовой компьютер

Подвижный цифровой датчик износа тормозных накладок автомобиля работает следующим образом.

При неизношенной тормозной накладке 2 мультивибратор, состоящий из конденсатора с кольцеобразными обкладками 4 и 6 из мягкого металла, между которыми находится кольцеобразный диэлектрический материал 7, закрепленный на крышке 5, резисторов R1, R2, R3, R4 и операционного усилителя 6, вырабатывает электрические колебания с частотой  $Q_0$ . При этом электрические колебания с частотой  $Q_0$  поступают через частотный преобразователь 9, преобразующий частоту колебаний в пропорциональное ей напряжение, и аналого-цифровой преобразователь 10 на экран бортового компьютера 11, на котором горит надпись «Износ тормозных накладок 0 %».

Во время эксплуатации при трении о тормозной диск 1 тормозная накладка 2 изнашивается, уменьшается ее толщина  $b$ , одновременно происходит передвижение пластмассового корпуса 3, расположенного на тормозной накладке перпендикулярно ее рабочей поверхности, и кольцеобразных обкладок конденсатора 4 и 6 из мягкого металла относительно кольцеобразного диэлектрического материала 7. При этом емкость конденсатора с кольцеобразными обкладками 4 и 6 из мягкого металла и кольцеобразного диэлектрического материала 7 увеличивается, частота электрических колебаний мультивибратора увеличивается и становится Q1.

Емкость конденсатора с кольцеобразными обкладками 4 и 6 из мягкого металла подбирается таким образом, чтобы при полном износе тормозной накладки 2 на экране бортового компьютера 11 горела надпись «Износ тормозных накладок 100 %».

Использование цифрового датчика износа тормозных накладок автомобилей, характеризующегося тем, что выполнен в пластмассовом корпусе, расположенном на тормозной накладке перпендикулярно ее рабочей поверхности, и содержит мультивибратор, содержащий конденсатор с двумя кольцеобразными обкладками из мягкого металла, выполненными подвижными относительно находящегося между ними диэлектрического материала, закрепленного на крышке корпуса, четыре резистора и операционный усилитель, выход которого соединен последовательно через частотный и аналого-цифровой преобразователи с бортовым компьютером, позволит расширить функциональные возможности датчика при проведении компьютерного диагностирования тормозных систем автомобиля.

## **1.2 Методы бортового диагностирования технического состояния силовых агрегатов**

Повышение эксплуатационной надежности колесных и гусеничных машин, снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт возможно только при своевременном и объективном определении их технического состояния [8, 9, 10, 33, 34].

Предпосылки для разработки методов бортового диагностирования технического состояния силовых агрегатов заложены фундаментальными исследованиями в областях технической диагностики и

динамики двигателей внутреннего сгорания. Вопросами технической диагностики колесных и гусеничных машин занимались Н. Я. Говорущенко, А. И. Гришкевич, Ю. Д. Карпиевич, Г. В. Крамаренко, Л. Я. Цикерман и др [35]. Большой вклад в изучении рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания внес Г. М. Кухаренок.

Различные аспекты проблемы бортового диагностирования технического состояния силовых агрегатов изучали в своих работах В. А. Бармин, 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 Väker и др.

Рассмотрим подробнее бортовые системы диагностирования технического состояния силовых агрегатов.

На рисунке 1.7 представлена схема электромагнитного датчика износа фрикционных накладок гидropоджимной муфты [36].

Схема электромагнитного датчика износа фрикционных накладок гидropоджимной муфты состоит из датчика Холла 2, магнитной системы 4, состоящей из двух магнитов различной полярности, переменного резистора 6, регулирующего напряжение питания датчика Холла, светодиода 7, фоторезистора 8, нагрузочного резистора 14, полевого транзистора 9, стабилитрона 10, операционного усилителя 11, аналого-цифрового преобразователя 12 и бортового компьютера 13.

Схема датчика износа фрикционных накладок гидropоджимной муфты работает следующим образом.

Магнитная система 4, состоящая из двух магнитов различной полярности, образует вокруг себя постоянное магнитное поле. При неизношенных фрикционных накладках пакета фрикционных дисков 1 поршень 5 перемещается на величину  $b$ . Магнитная система 4 при этом располагается одним из полюсов магнитов ближе к датчику Холла 2. Датчик Холла 2 вырабатывает падение потенциалов, равное  $U_1$ , которое преобразуется светодиодом 7 в оптическое излучение, падающее на фоторезистор 8. При данных условиях величина сопротивления фоторезистора минимальна.

В данной схеме стабилизатор тока содержит операционный усилитель 11, работающий в режиме повторителя напряжения, стабилитрон 10, обеспечивающий опорное напряжение  $U_2$ , полевой транзистор 9 и фоторезистор 8. Напряжения на стабилитроне 10 и фоторезисторе 8 одинаковы и противоположно направлены, а стабилизируемый ток равен  $U_2 / R_2$ .



Суммарный ток через стабилитрон 10 и фоторезистор 8 задается источником тока, построенным на полевом транзисторе 9, у которого затвор соединен с истоком. Выходное напряжение, снимаемое с операционного усилителя 11, имеющее величину  $U_2 \cdot R_3 / R_2$ , подается на вход аналого-цифрового преобразователя 12 и преобразуется в цифровой сигнал, поступающий в бортовой компьютер 13.

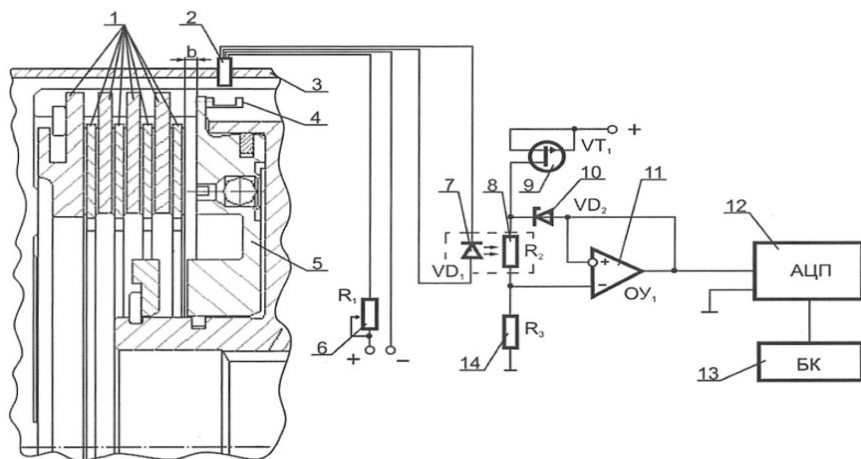


Рис. 1.7. Схема электромагнитного датчика износа фрикционных накладок гидropоджимной муфты

- 1 – фрикционные диски; 2 – датчик Холла; 3 – корпус гидropоджимной муфты; 4 – магнитная система; 5 – поршень; 6 – переменный резистор; 7 – светодиод; 8 – фоторезистор; 9 – полевой транзистор; 10 – стабилитрон; 11 – операционный усилитель; 12 – аналого-цифровой преобразователь; 13 – бортовой компьютер; 14 – нагрузочный резистор

С помощью переменного резистора 6 происходит установка электрической схемы датчика износа фрикционных накладок гидropоджимной муфты в исходное положение, и на дисплее бортового компьютера горит надпись «Износ фрикционных накладок 0 %».

Во время эксплуатации фрикционные накладки пакета фрикционных дисков 1 изнашиваются, при этом увеличивается величина хода поршня  $b$ , что вызывает изменение положения магнитной системы 4 относительно датчика Холла 2 и, соответственно, магнитного поля вокруг него. Происходит изменение падения потенциалов, вырабаты-

ваемое датчиком Холла 2. Это приводит к изменению оптического излучения светодиода 7 и изменению сопротивления фоторезистора 8, вследствие чего изменяется выходное напряжение операционного усилителя 11. Аналого-цифровой преобразователь 12 фиксирует данное изменение величиной цифрового сигнала, подаваемого на бортовой компьютер 14. Геометрические размеры магнитной системы подбираются таким образом, чтобы при полном износе фрикционных накладок пакета фрикционных дисков 1 на экране бортового компьютера 13 горела надпись «Износ тормозных накладок 100 %».

Использование электромагнитного датчика износа фрикционных накладок гидropоджимной муфты, состоящего из датчика Холла, резистора, регулирующего напряжение питания датчика Холла, светодиода, фоторезистора, полевого транзистора, нагрузочного резистора, стабилитрона, операционного усилителя, отличающегося тем, что дополнительно содержит магнитную систему, состоящую из двух магнитов различной полярности, позволит расширить функциональные возможности датчика и сделает возможным проведение компьютерного диагностирования гидropоджимных муфт трактора.

Значительное внимание в последнее время уделяется диагностике диэлектрической проницаемости масла в автотракторных двигателях.

На рисунке 1.8 представлена электрическая схема компараторного индикатора контроля диэлектрической проницаемости масла в автотракторных двигателях [37].

Электрическая схема компараторного индикатора контроля диэлектрической проницаемости масла в автотракторных двигателях состоит из датчика диэлектрической проницаемости масла, который выполнен в виде двух изоляционных прокладок 6 и двух металлических пластин 2, являющихся обкладками конденсатора, установленных внутри маслопровода 3, подстроечного конденсатора 5 и параллельно соединенного с ним высокоомного переменного резистора 4, оба настроенных под эталонные параметры масла, далее генератора синусоидальных колебаний 1, компаратора, состоящего из двух операционных усилителей 10 и 11, резисторов 7 и 8, делителя напряжения, состоящего из резисторов 9 и 15, одного последовательно, а второго параллельно соединенных диодов 14 и 16 соответственно, аналого-цифрового преобразователя 23, подключенного к бортовому компьютеру 24, электронного ключа, состоящего из транзисторов 19 и 22, резисторов 12, 13, 17, 20 и подстроечного резистора 18 и индикаторного устройства 21.

Компараторный индикатор контроля диэлектрической проницаемости масла в автотракторных двигателях работает следующим образом.

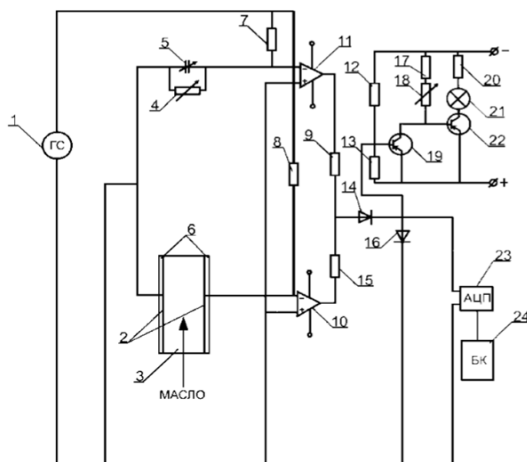


Рис. 1.8. Электрическая схема компараторного индикаторного контроля диэлектрической проницаемости масла в автотракторных двигателях  
 1 – генератор синусоидальных колебаний; 2 – металлические пластины;  
 3 – маслопровод; 4 – высокоомный переменный резистор; 5 – подстроечный конденсатор; 6 – изоляционные прокладки; 7, 8, 9 – резисторы;  
 10, 11 – операционные усилители; 12, 13 – резисторы; 14 – последовательно соединенный диод; 15 – резистор; 16 – параллельно соединенный диод;  
 17 – резистор; 18 – подстроечный резистор; 19 – транзистор; 20 – резистор;  
 21 – индикаторное устройство; 22 – транзистор; 23 – аналого-цифровой преобразователь; 24 – бортовой компьютер

От генератора синусоидальных колебаний 1 на две изолированные пластины 2 и подстроечный конденсатор 5 с высокоомным переменным резистором 4 через резисторы 7 и 8 подведено напряжение.

Проходя через резистор 7 на подстроечный конденсатор 5 с высокоомным переменным резистором 4, ток создает падение напряжения на резисторе 8. Ток, проходящий по цепочке резистор 8 – две изолированные пластины 2, создает падение напряжения на резисторе 7. Так как электрические параметры подстроечного конденсатора 5 с высокоомным переменным резистором 4 подстроены под соответствующие параметры двух металлических пластин 2, изоли-

рованных от маслопровода 3 прокладками 6, то и падения напряжения на резисторах 7 и 8 будут одинаковыми.

Напряжение с резистора 1 подводится на инвертирующий вход операционного усилителя 11, а напряжение с резистора 8 – на неинвертирующий вход операционного усилителя 10.

Эти небольшие напряжения усиливаются операционными усилителями 10 и 11.

При равенстве падений напряжения на резисторах 7 и 8 напряжения на резисторах 9 и 15, подключенных к выходу операционных усилителей, одинаковы по амплитуде и противоположны по фазе, следовательно, они взаимно компенсируются и напряжение равно нулю, вследствие чего напряжение смещения на базе транзистора 19 не изменяется, и не увеличивается положительный потенциал на базе транзистора 22, который находится в закрытом состоянии, а индикаторное устройство 21 отключено. Порог срабатывания электронного ключа – подстройка под масло, нуждающееся в замене, – устанавливается переменным резистором 18.

При попадании в зону двух пластин 2 масла, имеющего диэлектрическую проницаемость, отличающуюся от эталонной, возникает напряжение, которое через диод 14 подается на базу транзистора 19, создавая уменьшение отрицательного потенциала на его коллекторе, что соответственно приводит к открытию транзистора 22 и включению индикаторного устройства 21, сигнализирующего об необходимости замены масла.

Использование компараторного индикатора контроля диэлектрической проницаемости масла в автотракторных двигателях, характеризующегося тем, что содержит генератор синусоидальных колебаний, подключенный через резисторы к соответствующим входам датчика диэлектрической проницаемости масла, выполненного из двух изоляционных прокладок и двух металлических пластин, являющихся обкладками конденсатора, установленных внутри маслопровода, подстроечного конденсатора и параллельно соединенного с ним высокоомного переменного резистора, выходами соединенного с соответствующими входами компаратора на двух операционных усилителях, выход которого через делитель напряжения из двух резисторов и двух диодов, один из которых включен в цепь последовательно, а второй параллельно, соединен со входом аналого-цифрового преобразователя, выходом соединенного со

входом бортового компьютера; делитель напряжения соединен через электронный ключ, выполненный из двух транзисторов, четырех резисторов и подстроечного резистора, с индикаторным устройством, причем параметры подстроечного конденсатора и высокоомного переменного резистора выбраны соответствующими эталонным параметрам масла позволит повысить надежность определения ухудшения параметров масла в автотракторных двигателях при визуальном и компьютерном диагностировании.

Большой интерес представляет еще одна система бортового диагностирования технического состояния моторного масла в автотракторном дизеле [38].

На рисунке 1.9 представлена схема контроля состояния моторного масла в автотракторном дизеле.

Система содержит два колебательных контура с высокой добротностью. Первый колебательный контур образован первым емкостным датчиком 1 и первой катушкой индуктивности 5, располагаемыми на наружной поверхности замкнутой емкости 3, содержащей эталонное масло, и соединенными параллельно между собой, и первым генератором электрических синусоидальных колебаний 7, причем указанный контур содержит подстроечный конденсатор 14. Второй колебательный контур образован вторым емкостным датчиком 2 и второй катушкой индуктивности 6, располагаемыми на наружной поверхности маслопровода 4 и соединенными параллельно между собой, и вторым генератором электрических синусоидальных колебаний 8. Замкнутая емкость 3 выполнена из того же материала, что и маслопровод 4, с одинаковыми по толщине стенками. При этом также совпадают и диаметры емкости 3 и маслопровода 4.

Кроме того, система содержит преобразователи частоты в напряжение 9 и 10, дифференциальный усилитель 11, аналого-цифровой преобразователь 12 и бортовую систему контроля автомобиля 13.

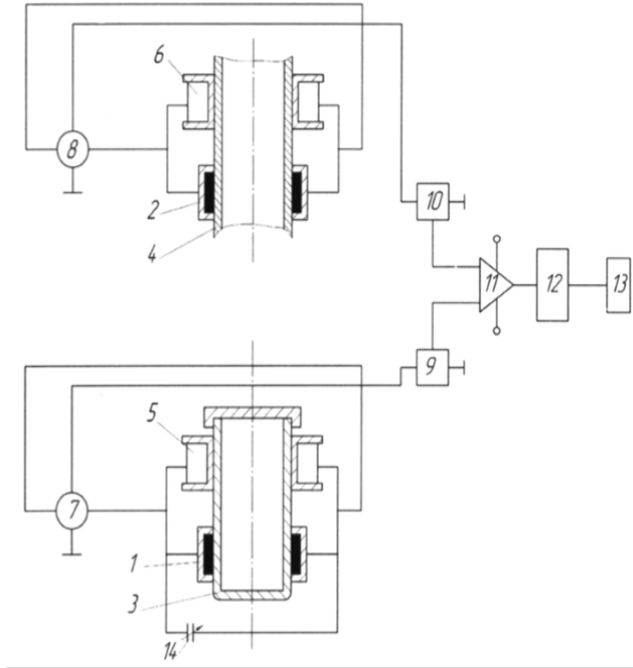


Рис. 1.9. Система контроля состояния моторного масла в автотракторном дизеле  
 1 – первый емкостной датчик; 2 – второй емкостной датчик; 3 – емкость;  
 4 – маслопровод; 5 – первая катушка индуктивности; 6 – вторая катушка индуктивности; 7 – первый генератор электрических синусоидальных колебаний; 8 – второй генератор электрических синусоидальных колебаний;  
 9, 10 – преобразователи частоты в напряжение; 11 – дифференциальный усилитель; 12 – аналого-цифровой преобразователь; 13 – бортовая система контроля автомобиля

Система работает следующим образом.

Емкостной датчик 2, катушка 6 индуктивности и генератор электрических синусоидальных колебаний 8 образуют строго настроенный колебательный контур, а частота колебаний, поступающих на преобразователь частоты в напряжение 10, определяется величиной емкости датчика 2 и индуктивностью 6 катушки. Частота колебания генератора электрических синусоидальных колебаний 7 также определяется емкостью датчика 1, индуктивностью катушки 5 и конденсатора 14. Преобразователь частоты в напряжение 9 имеет одинаковые параметры с преобразователем частоты в напряжение 10.

При равенстве частот, поступающих от двух колебательных контуров (это соответствует одинаковому составу эталонного моторного масла в замкнутой емкости 3 и масла, находящегося в маслопроводе 4) к преобразователям частоты в напряжение 9 и 10, в дифференциальном усилителе 11 не появляется выходной сигнал, вследствие чего бортовая система контроля машины 13 покажет отсутствие различий в измерениях.

При помощи конденсатора 14 и показаний бортовой системы контроля 13 оба колебательных контура настраиваются на одну частоту при одинаковых составах эталонного моторного масла в замкнутой емкости 3 и масла, находящегося в маслопроводе 4.

При попадании в зону колебательного контура (емкостной датчик 2, катушка 6 индуктивности) моторного масла с качественным отличием от эталонного или с наличием каких-либо загрязнений резонансная частота колебательного контура изменяется, она поступает к преобразователю частоты в напряжение 10, одновременно поступает частота со второго колебательного контура (емкостной датчик 1, катушка 5 индуктивности) на преобразователь частоты в напряжение 9, затем оба напряжения подаются на дифференциальный усилитель 11, в котором получается выходной сигнал из разности двух входов. Полученное напряжение поступает в аналого-цифровой преобразователь 12 для преобразования его в цифровой сигнал. Полученный цифровой сигнал подается на бортовую систему контроля машины 13, где происходит анализ и сохранение полученных данных.

Таким образом, предлагаемая система обеспечит повышение надежности определения качественных изменений в состоянии моторного масла в автотракторном дизеле за счет применения в электрической схеме обработки данных: преобразователи частоты в напряжение, которые соединены с дифференциальным усилителем, соединенным через аналого-цифровой преобразователь с бортовой системой контроля автомобиля, что позволит оперативно и научно обосновано устанавливать периодичности замены моторных масел по их фактическому состоянию с учетом режимов работы машины.

Применение интеллектуальных технологий при диагностировании двигателей внутреннего сгорания отражено в патенте [39].

На рисунке 1.10 представлена схема системы контроля за рабочим состоянием дизельного двигателя.

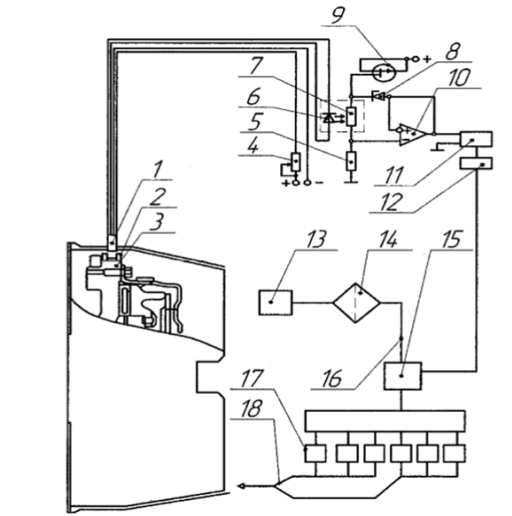


Рис. 1.10. Система контроля за рабочим состоянием дизельного двигателя  
 1 – датчик Холла; 2 – постоянный магнит; 3 – маховик; 4 – переменный резистор;  
 5 – нагрузочный резистор; 6 – светодиод; 7 – фоторезистор; 8 – стабилитрон;  
 9 – полевой транзистор; 10 – операционный усилитель; 11 – аналого-цифровой преобразователь; 12 – бортовой компьютер; 13 – воздухозаборник;  
 14 – воздушный фильтр; 15 – электромагнитный клапан; 16 – впускной коллектор; 17 – цилиндр; 18 – выпускной коллектор

Система контроля за рабочим состоянием дизельного двигателя состоит из постоянного магнита 2, датчика Холла 1, маховика 3, переменного резистора 4, регулирующего питание датчика Холла, светодиода 6, фоторезистора 7, нагрузочного резистора 5, полевого транзистора 9, стабилитрона 8, операционного усилителя 10, аналого-цифрового преобразователя 11, бортового компьютера 12, воздухозаборника 13, воздушного фильтра 14, впускного коллектора 16, электромагнитного клапана 15, цилиндра 17 и выпускного коллектора 18.

Система контроля за рабочим состоянием дизельного двигателя работает следующим образом.

Магнитная система, состоящая из постоянного магнита 2, образует вокруг себя постоянное магнитное поле. При запуске двигателя начинает вращаться маховик 3 вместе с прикрепленным к нему постоянным магнитом 2, что приводит к выработке датчиком Холла 1 падения потенциала  $U_1$  с периодом импульсов, равным  $t_1$ .



Падение потенциала  $U_1$  преобразуется светодиодом 6 в оптическое излучение, падающее на фоторезистор 7.

В данной схеме стабилизатор тока содержит операционный усилитель 10, работающий в режиме повторителя напряжения, стабилитрон 8, обеспечивающий опорное напряжение  $U_2$ , полевой транзистор 9 и фоторезистор 7. Напряжения на стабилитроне 8 и фоторезисторе 7 одинаковы и противоположно направлены, а стабилизируемый ток равен  $U_2 / R_2$ .

Суммарный ток через стабилитрон 8 и фоторезистор 7 задается источником тока, построенным на полевом транзисторе 9, у которого затвор соединен с истоком. Выходное напряжение, снимаемое с операционного усилителя 10, имеющее величину  $U_2$ , подается на вход аналого-цифрового преобразователя 11 и преобразуется в цифровой сигнал, поступающий в бортовой компьютер 12, который дополнительно фиксирует период появления напряжения с датчика Холла 1.

С помощью переменного резистора 4 происходит установка электрической схемы системы контроля за рабочим состоянием дизельного двигателя в рабочее состояние, и на дисплее бортового компьютера представлена надпись «Устройство готово к работе».

Во время эксплуатации дизельного двигателя возможно самопроизвольное увеличение частоты вращения вала двигателя внутреннего сгорания, которое может привести к его разрушению. Это происходит в результате заклинивания топливной рейки в топливном насосе высокого давления, и чем выше обороты, тем еще больше дизельного топлива поступает в камеры сгорания двигателя. В результате происходит резкое уменьшение периода появления напряжения, фиксируемого датчиком Холла 1. Аналого-цифровой преобразователь 11 преобразует это в цифровой сигнал с соответствующим периодом следования и подает на бортовой компьютер 12, который производит обработку и определяет величину оборотов двигателя. В случае превышения допустимых оборотов двигателя бортовой компьютер 12 подает сигнал на электромагнитный клапан 15, установленный во впускном коллекторе 16. В результате этого прекращается подача воздуха в цилиндры 17 и двигатель останавливается.

Геометрические размеры магнитной системы подбираются таким образом, чтобы при достижении максимально допустимых оборотов двигателя на экране бортового компьютера 12 горела надпись «Частота 100 %».

Существуют и более эффективные устройства диагностирования технического состояния двигателей внутреннего сгорания [40]. Так на рисунке 1.11 показана схема устройства для определения времени работы двигателя внутреннего сгорания.

Устройство определения времени работы двигателя внутреннего сгорания состоит из датчика расхода топлива 1, входящего в состав системы подачи топлива 2 двигателя внутреннего сгорания 3. Датчик расхода топлива 1 соединен с анализатором скорости расхода топлива 4, который в свою очередь соединен с часами 5 и управляет ключом 6. Ключ 6 может быть выполнен в виде переключателя, который в зависимости от состояния анализатора 4 направляет поток импульсов от часов 5 в один из счетчиков с 7 по 10. Состояния счетчиков можно наблюдать с помощью индикатора 11.

Устройство работает следующим образом. При включении двигателя 3 начинает подаваться топливо и начинает работать датчик расхода топлива 1. Анализатор 4 определяет значение скорости расхода топлива, отличное от нуля, и включает ключ 6. В простейшем варианте единственный счетчик 7 начинает отсчитывать время работы датчика расхода топлива 1, которое будет рассматриваться, как время работы двигателя внутреннего сгорания 3. Ключ 6 будет открыт, и импульсы времени с часов 5 будут поступать в счетчик 7 до остановки двигателя 3. Счетчик 7 может быть выполнен механическим, электрическим либо электронным. Но в любом случае он должен иметь возможность постоянно хранить накопленную информацию. Более сложный вариант использования изобретения предусматривает работу нескольких счетчиков. При этом в зависимости от скорости расхода топлива анализатор 4 с помощью ключа или переключателя 6 может переключать импульсы, поступающие от часов 5 на счетчик, соответствующий низкому расходу топлива, например 7, номинальной скорости расхода топлива на счетчик 8, при максимальном режиме расхода – на счетчик 9, при других возможных режимах – на счетчик  $N$ . Состояние всех счетчиков можно наблюдать с помощью индикатора 11, переключая каналы.

Такое выполнение способа определения времени работы двигателя внутреннего сгорания и устройства для его осуществления позволяет повысить точность измерения, повысить объективность оценки ресурса, создает условия для получения реальных данных. Упрощение устройства позволяет повысить экономию средств за

счет контроля над транспортным средством, своевременного выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту транспортного средства.

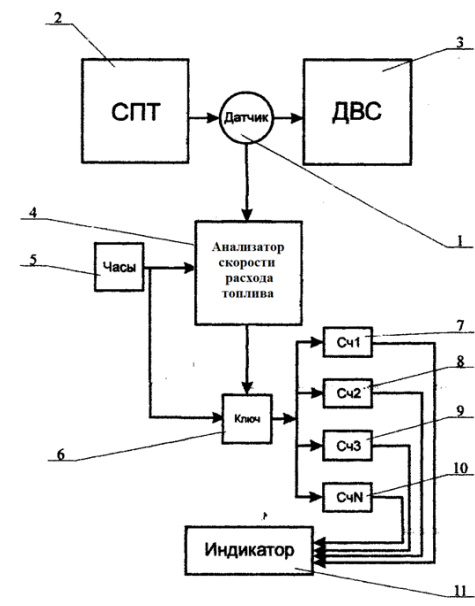


Рис. 1.11. Схема устройства для определения времени работы двигателя внутреннего сгорания

- 1 – датчик расхода топлива; 2 – система подачи топлива; 3 – двигатель внутреннего сгорания; 4 – анализатор скорости расхода топлива; 5 – часы; 6 – ключ; 7 – счетчик низкого расхода топлива; 8 – счетчик номинального расхода топлива; 9 – счетчик максимального расхода топлива; 10 – счетчик других возможных режимов расхода топлива; 11 – индикатор

Достаточно высокую достоверность и глубину контроля старения масла в автотракторных двигателях можно получить при помощи устройства, показанного на рисунке 1.12 [41].

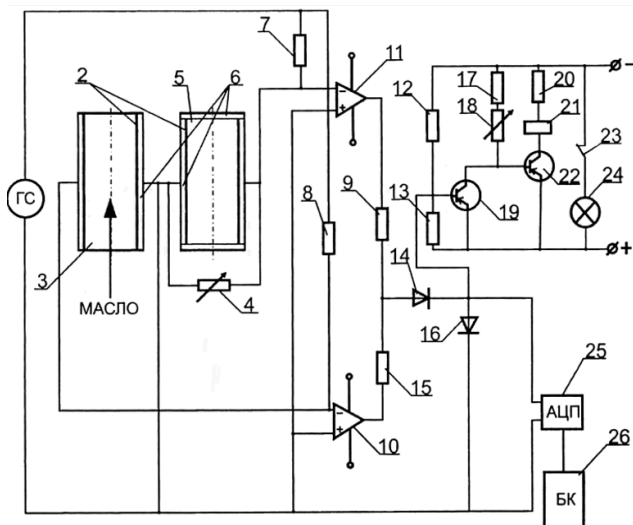


Рис. 1.12. Электрическая схема компараторного индикатора старения масла в автотракторных двигателях

- 1 – генератор синусоидальных колебаний; 2 – металлические пластины;  
 3 – маслопровод; 4 – высокоомный переменный резистор; 5 – эталонная емкость;  
 6 – изоляционная прокладка; 7, 8, 9 – резисторы; 10, 11 – операционные усилители; 12, 13 – резисторы; 14 – последовательно соединенный диод;  
 15 – резистор; 16 – параллельно соединенный диод; 17 – резистор;  
 18 – подстроечный резистор; 19 – транзистор; 20 – резистор; 21 – катушка реле;  
 22 – транзистор; 23 – контакт реле; 24 – индикаторное устройство;  
 25 – аналого-цифровой преобразователь; 26 – бортовой компьютер

Электрическая схема компараторного индикатора старения масла в автотракторных двигателях состоит из датчика диэлектрической проницаемости масла, который выполнен в виде двух изоляционных прокладок 6 и двух металлических пластин 2, являющихся обкладками конденсатора, установленных внутри маслопровода 3, эталонной емкости 5, выполненной в виде изоляционной прокладки 6 и двух металлических пластин 2 и содержащей масло, нуждающееся в замене, и параллельно соединенного с ней высокоомного переменного резистора 4, настроенного под эталонные параметры масла, далее генератора синусоидальных колебаний 1, компаратора, состоящего из двух операционных усилителей 10 и 11, резисторов 7 и 8, делителя напряжения, состоящего из резисторов 9 и 15, одного

последовательно, а второго параллельно соединенного диода 14 и 16 соответственно, электронного ключа, состоящего из транзисторов 19 и 22, резисторов 12, 13, 17, 20 и подстроечного резистора 18, исполнительного реле, включающего в себя катушку реле 21 и контакт реле 23, индикаторного устройства 24, аналого-цифрового преобразователя 25, подключенного к бортовому компьютеру 26.

Компараторный индикатор старения масла в автотракторных двигателях работает следующим образом.

От генератора синусоидальных колебаний 1 на изолированные пластины 2 датчика диэлектрической проницаемости масла и эталонной емкости 5 с высокоомным переменным резистором 4 через резисторы 7 и 8 подведено напряжение.

Проходя через резистор 7 на две изолированные пластины 2 эталонной емкости 5 с высокоомным переменным резистором 4, ток создает падение напряжения на резисторе 8. Ток, проходящий по цепочке резистор 8 – две изолированные пластины 2 датчика диэлектрической проницаемости масла, создает падение напряжения на резисторе 7. Так как эталонная емкость 5 содержит масло, нуждающееся в замене, а через датчик диэлектрической проницаемости масла, установленный внутри маслопровода 3, проходит масло с допускаемыми параметрами, то и падения напряжения на резисторах 7 и 8 будут неодинаковыми.

Напряжение с резистора 7 подводится на инвертирующий вход операционного усилителя 11, а напряжение с резистора 8 – на неинвертирующий вход операционного усилителя 10.

Эти небольшие напряжения усиливаются операционными усилителями 10 и 11.

Различные по величине падения напряжений на резисторах 7 и 8 приводят к появлению напряжения на резисторах 9 и 15, подключенных к выходу операционных усилителей, отличающихся друг от друга по амплитуде, которые взаимно не компенсируются, и напряжение не равно нулю, которое через диод 14 подается на базу транзистора 19, создавая уменьшение отрицательного потенциала на его коллекторе, что соответственно приводит к открытию транзистора 22, который включает катушку реле напряжения 21, контакт реле 23 разрывает цепь питания индикаторного устройства 24. Порог срабатывания электронного ключа – подстройка под масло, нуждающееся в замене, устанавливается переменным резистором 18.

При попадании в зону двух пластин 2 датчика диэлектрической проницаемости, установленного внутри маслопровода 3, масла, имеющего диэлектрическую проницаемость, одинаковую с эталонной, возникает равенство напряжений на резисторах 7 и 8, приводящее к появлению одинакового по амплитуде, но противоположенного по фазе напряжения на резисторах 9 и 15, подключенных к выходу операционных усилителей, которое взаимно компенсируется и равно нулю. Вследствие чего напряжение смещения на базе транзистора 19 изменяется и увеличивает положительный потенциал на базе транзистора 22, который переходит в закрытое состояние, отключая катушку реле напряжения 21 и замыкая ее контакт 23. Индикаторное устройство включено и сигнализирует о необходимости замены масла.

Использование компараторного индикатора старения масла в автотракторном двигателе, содержащего генератор синусоидальных колебаний, соединенного с размещаемым в маслопроводе двигателя емкостным датчиком диэлектрической проницаемости масла, соединенным выходом с первым входом компаратора на двух операционных усилителях и делителе напряжения, выход которого через два диода, первый из которых включен в цепь последовательно, а второй – параллельно, соединен с аналого-цифровым преобразователем, соединяемым с бортовым компьютером транспортного средства, а через первый диод и электронный ключ с индикаторным устройством, а также высокоомный переменный резистор, подстраиваемый под заданную диэлектрическую проницаемость масла, отличающегося тем, что содержит включенную параллельно указанному резистору эталонную емкость для отработанного масла, выполненную в виде аналогично указанному емкостного датчика и соединенную со вторым входом компаратора, а электронный ключ соединен с индикаторным устройством через исполнительное реле, выполненное с возможностью включения им индикаторного устройства при нулевом выходном сигнале компаратора, позволит определить предельное значение диэлектрической проницаемости масла при его старении в автотракторных двигателях при визуальной и компьютерной диагностике тракторов и автомобилей.

Определенный интерес представляет дискретно-цифровой индикатор контроля уровня смазки и топлива в дизельных и бензиновых двигателях [37]. На рисунке 1.13 показана схема дискретно-цифрового индикатора уровня жидкости.

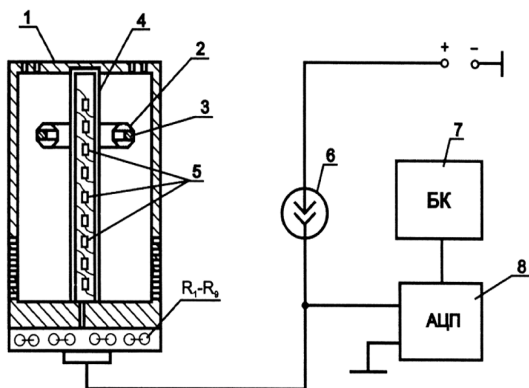


Рис. 1.13. Схема дискретно-цифрового индикатора уровня жидкости  
 1 – датчик уровня жидкости поплавкового типа; 2 – поплавок;  
 3 – кольцевой постоянный магнит; 4 – направляющий штырь;  
 5 – герконы; 6 – источник постоянного тока; 7 – аналого-цифровой преобразователь; 8 – бортовой компьютер

Схема дискретно-цифрового индикатора уровня жидкости состоит из датчика уровня жидкости поплавкового типа 1, который состоит из поплавка 2 в форме тора с кольцевым постоянным магнитом 3, направляющего штыря 4, внутри которого размещены герконы 5, резисторов  $R_1-R_9$ , источника постоянного тока 6, аналого-цифрового преобразователя 7, подключенного к бортовому компьютеру 8.

Дискретно-цифровой индикатор уровня жидкости работает следующим образом.

Поплавок, выполненный в форме тора 2 с кольцевым постоянным магнитом 3, в зависимости от уровня жидкости перемещается по направляющему штырю 4, внутри которого расположены герконы 5. Когда поплавок находится возле одного из герконов 5, его контакты замыкаются. Электрическая цепь проходит через контакты одного из герконов 5 и один из резисторов  $R_1-R_9$ , каждый из которых имеет определенное сопротивление. Источник постоянного тока 6 позволяет получить линейную зависимость напряжения, подаваемого на аналого-цифровой преобразователь 7 от резисторов  $R_1-R_9$ . Аналого-цифровой преобразователь 7, в свою очередь, преобразует аналоговый сигнал в цифровой, что позволяет вывести его на экран бортового компьютера 8.

Использование дискретно-цифрового индикатора уровня жидкости, состоящего из поплавка, соединенного с ползунком, установленным на проволочной обмотке реостата, причем поплавок выполнен в форме тора с находящимся внутри него кольцевым постоянным магнитом и установлен на направляющем штоке с герконами внутри, соединенными с блоком резисторов, отличающегося тем, что содержит источник постоянного тока, преобразующий напряжение блока резисторов в линейное и соединенный с аналого-цифровым преобразователем, соединяемым с бортовым компьютером, позволит повысить точность и увеличить надежность контроля уровня смазки и топлива в дизельных и бензиновых двигателях, а также расширить функциональные возможности дискретного индикатора уровня жидкости при компьютерном диагностировании.

Проведенный обзор показывает, что современный уровень измерительной техники и микроэлектроники предоставляет необходимые средства для решения всех уровней задачи разработки систем бортового диагностирования: от контроля достаточно представительной совокупности параметров до реализации алгоритмов их обработки и формирования указаний директивного и рекомендательного характера водителю непосредственно в процессе дорожного движения [42, 43, 44, 45].

Основные трудности связаны не с этапом технической реализации бортовых систем, а с поиском новых возможностей получения и использования диагностической информации, с формализацией условий оптимальности режимов движения колесных тракторов и работы их агрегатов [46].

Развитие бортовых средств диагностирования силовых агрегатов является важнейшей составляющей исследований по автоматизации процессов управления колесными и гусеничными машинами [47, 48, 49]. Перспективы в этом направлении определяются спецификой транспорта, требующей использования высокоэффективных оптимальных систем управления с адаптацией к внешним условиям эксплуатации [50, 51, 52, 53].

Следовательно, бортовые системы диагностирования обеспечивают поддержание колесных тракторов в технически исправном состоянии, снижают их простои и стоимость технического обслуживания и ремонта, позволяют более рационально использовать внешние средства диагностирования и рабочее время водителей и ремонтных рабочих [54, 55].



## **Выводы**

В условиях значительного усложнения конструкции силовых агрегатов колесных тракторов возрастает роль качества проведения регулировочных работ и технического обслуживания, влияющих на эксплуатационную надежность и на безопасность движения.

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

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

Создание бортовых систем диагностирования целесообразно производить одновременно с разработкой микропроцессорных систем управления, что позволяет при помощи одних и тех же технических средств обеспечить выполнение как задачи управления, так и задачи диагностирования колесных тракторов.

Все перечисленные выше проблемы могут решаться за счет непрерывного контроля технического состояния силовых агрегатов при помощи бортовых микропроцессорных систем диагностирования.

## ГЛАВА 2 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И АНАЛИЗ ТИПОВЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ИССЛЕДУЕМОГО СИЛОВОГО АГРЕГАТА

### 2.1 Описание конструкции исследуемого силового агрегата

Для описания конструкции исследуемого силового агрегата с целью разработки методов и алгоритма его бортового диагностирования за основу был взят силовой агрегат колесного трактора, общий вид которого показан на рисунке 2.1.

Он состоит из двигателя внутреннего сгорания 1, сцепления 2, коробки передач 3 и привода управления сцеплением (на рисунке 2.1 привод не показан).

Двигатель внутреннего сгорания представляет собой четырехтактный, четырехцилиндровый, рядный, вертикальный дизельный двигатель с турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха.

Он состоит из блока цилиндров, головки цилиндров, кривошипно-шатунного механизма, механизма газораспределения, а также систем питания, смазки, охлаждения и пуска.

Сцепление (рисунок 2.2) – однодисковое, сухое, постоянно замкнутого типа предназначено для передачи крутящего момента от двигателя трансмиссии, быстрого и полного разъединения и плавного соединения двигателя с трансмиссией, необходимых для переключения передач и плавного трогания трактора с места, а также для предохранения двигателя и деталей трансмиссии от перегрузки [56].

Ведущей частью сцепления является маховик 3 и нажимной диск 4, соединенный с опорным диском 5 с помощью тангенциальных пластин (на рисунке не показаны) [56]. Между опорным и нажимным дисками в стаканах 15 установлены девять нажимных пружин 16 с термоизолирующими шайбами 17 [56].

На выступах нажимного диска на осях 6 в игольчатых подшипниках установлены три отжимных рычага 10, опирающиеся на вилки 7, закрепленные в нажимном диске с помощью регулировочных гаек 8 и стопорных пластин 9 [56]. Ведомый диск 18 имеет демпферы 2, являющиеся гасителями крутильных колебаний [56].

Опорный диск имеет упругий элемент 19, который служит для компенсации несоосности сопрягаемых частей сцепления и приводных валов редукторной части корпуса сцепления [56].

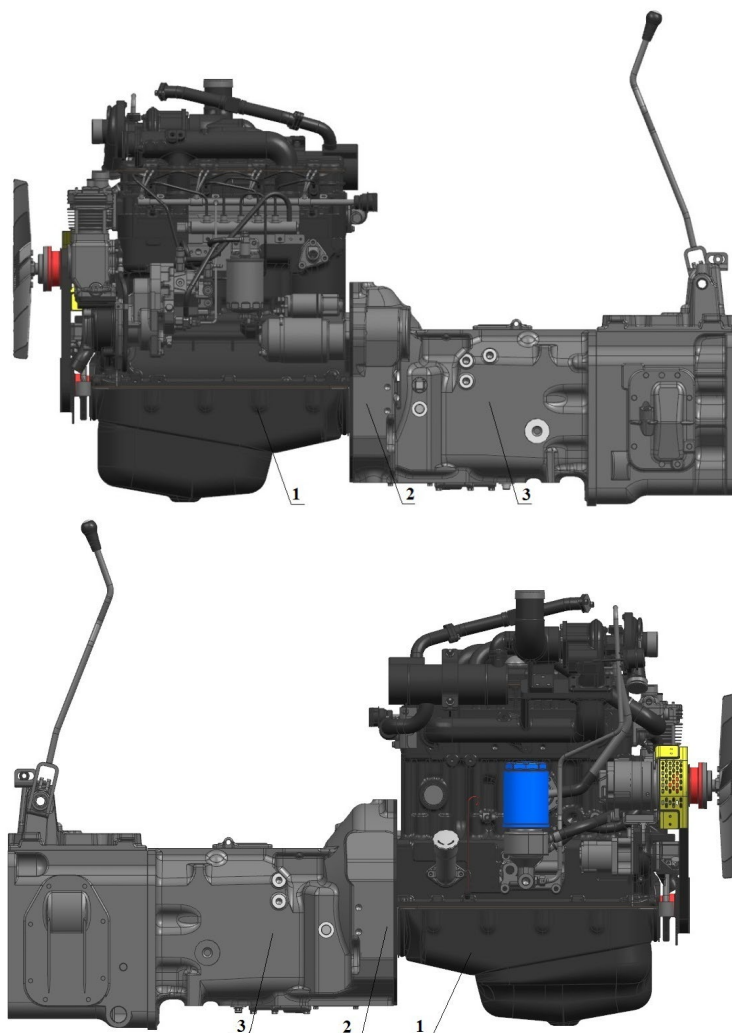


Рис. 2.1. Общий вид силового агрегата трактора  
1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – сцепление; 3 – коробка передач

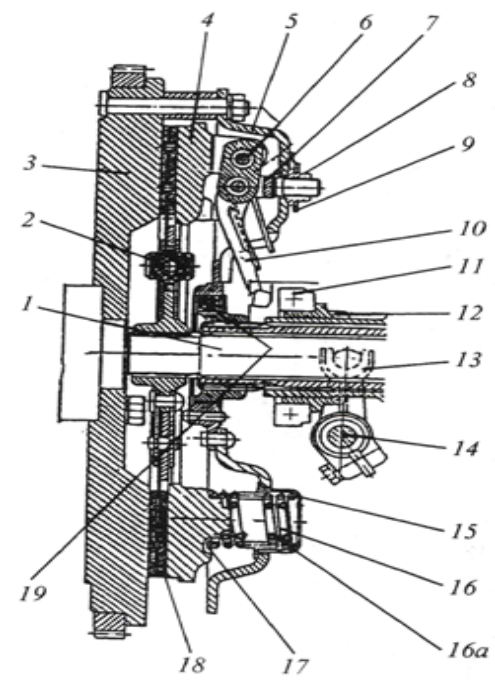


Рис. 2.2. Сцепление

- 1 – силовой вал; 2 – демпфер; 3 – маховик; 4 – диск нажимной; 5 – диск опорный;  
 6 – ось; 7 – вилка; 8 – гайка; 9 – пластина; 10 – рычаг отжимной; 11 – подшипник  
 выжимной; 12 – отводка; 13 – вилка выключения; 14 – валик управления;  
 15 – стакан; 16 – пружина нажимная; 16а – пружина нажимная внутренняя;  
 17 – шайба термоизолирующая; 18 – диск ведомый (сцепления);  
 19 – упругий элемент опорного диска (демпфер)

Коробка передач преобразует крутящий момент по величине и направлению и влияет на тяговые и скоростные показатели трактора – его динамические свойства.

Коробка передач (рисунок 2.3) – двухдиапазонная, четырехступенчатая. Переключение диапазонов производится путем перемещения зубчатых муфт, расположенных в диапазонном редукторе с использованием сцепления, а переключение передач – с помощью электрогидроуправляемых гидropоджимных муфт.

На исследуемом объекте применен механический привод выключения сцепления с пружинным сервомеханизмом.

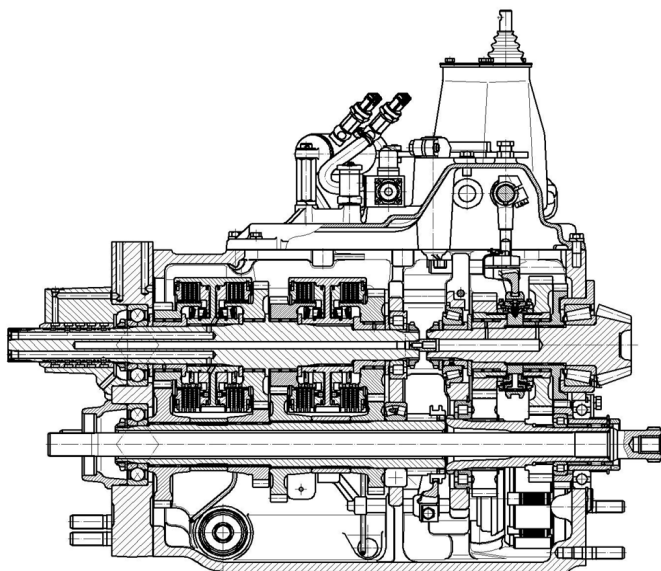


Рис. 2.3. Конструкция коробки передач

Выключение постоянно замкнутого сцепления производится при нажатии на стержень подушки 7 (рисунок 2.4 б) педали 8 [56]. Перемещение педали воздействует на тягу 9, рычаг 12 и валик управления 6 [56]. В свою очередь валик управления поворачивает вилки 5 (рисунок 2.4 а), которые перемещают отводку 3 вместе с выжимным подшипником 2 аксиально в направлении отжимных рычагов 1 [56].

Перемещение совершается вдоль кронштейна отводки 4 [56]. После выбора зазора (свободный ход педали) выжимной подшипник воздействует на лапки отжимных рычагов, поворачивает рычаги и отводит нажимной диск от ведомого диска сцепления, выключая сцепление [56]. При освобождении педали нажимной диск под действием нажимных пружин поджимает диск сцепления к поверхностям маховика и нажимного диска, включая сцепление [56].

Пружина сервоустройства 15 (рисунок 2.4 б) снижает усилие на педали при выключении сцепления и поджимает педаль 8 к полу кабины, обеспечивая зазор между выжимным подшипником и лапками отжимных рычагов [56].

## 2.2 Анализ типовых неисправностей исследуемого силового агрегата

Анализ типовых неисправностей исследуемого силового агрегата целесообразно вести, разбив его на составляющие (рисунок 2.1).

Среди неисправностей двигателей внутреннего сгорания можно выделить следующие [57]:

- перегрев двигателя;
- аварийное давление масла в системе смазки;
- выработка ресурса моторного масла.

При анализе неисправностей сцепления (рисунок 2.2) они были классифицированы следующим образом [57]:

- пробуксовка сцепления в тяговом режиме двигателя;
- пробуксовка сцепления в режиме торможения двигателем;
- износ фрикционных накладок ведомого диска сцепления;
- перегрев сцепления.

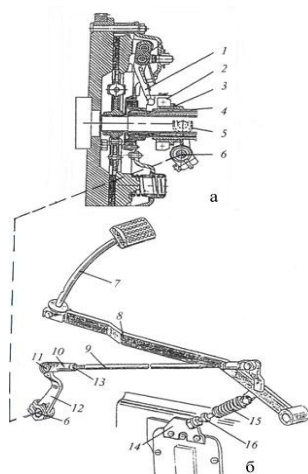


Рис. 2.4. Механический привод выключения сцепления с пружинным сервомеханизмом

- а – однодисковое сцепление; б – привод сцепления; 1 – отжимной рычаг; 2 – выжимной подшипник; 3 – отводка; 4 – кронштейн отводки; 5 – вилка выключения; 6 – валик управления; 7 – стержень подушки; 8 – педаль; 9 – тяга; 10 – вилка; 11 – палец; 12 – рычаг; 13 – контргайка; 14 – кронштейн; 15 – пружина сервоустройства; 16 – регулировочный болт

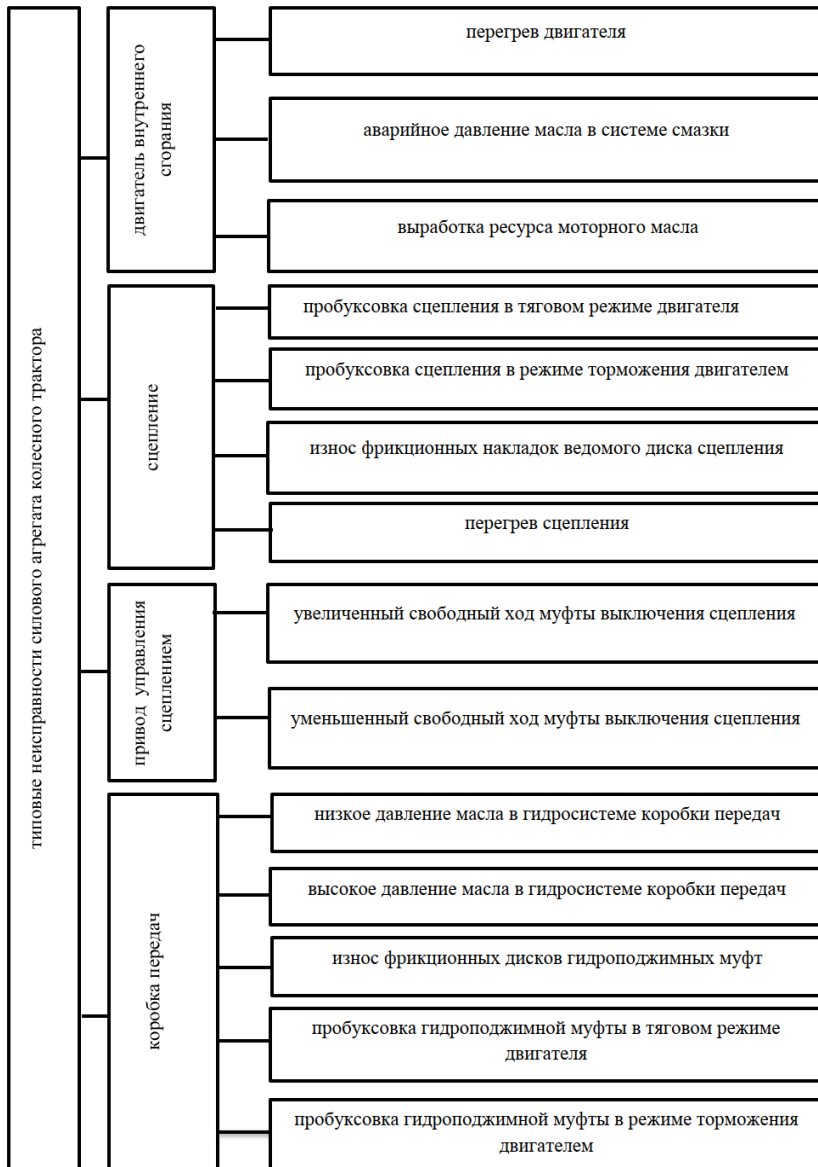


Рис. 2.5. Классификация типовых неисправностей исследуемого силового агрегата

Среди неисправностей привода управления сцеплением (рисунок 2.4) можно выделить следующие [57]:

- увеличенный свободный ход муфты выключения сцепления;
- уменьшенный свободный ход муфты выключения сцепления.

При анализе неисправностей коробки передач (рисунок 2.3) они были классифицированы следующим образом [57]:

- 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.

Предварительное изучение литературных источников о распределении неисправностей силовых агрегатов показывает, что чаще всего в эксплуатации колесного трактора встречаются неисправности, классификация которых приведена на рисунке 2.5. Эти неисправности относятся к группе прогнозируемых.

Внезапность возникновения большинства неисправностей, неспособность водителя своевременно предотвратить их последствия, сложность поиска неисправностей убедительно свидетельствуют о необходимости разработки эффективных методов, алгоритмов и технических средств диагностирования силовых агрегатов, без чего их использование на колесных тракторах не представляется возможным.

## **Выводы**

В заключение можно сказать, что, несмотря на множественный характер причин неисправностей исследуемого силового агрегата, все они могут быть классифицированы следующим образом:

- неисправности, исключающие дальнейшую эксплуатацию колесного трактора;
- неисправности, снижающие безопасность эксплуатации колесного трактора;
- неисправности, ухудшающие эффективность управления силовым агрегатом колесного трактора.



### ГЛАВА 3

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ БОРТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВОГО АГРЕГАТА

Бортовое диагностирование технического состояния колесного трактора – один из важных элементов его технического обслуживания, ремонта и выявления неисправностей.

Бортовое диагностирование колесного трактора позволяет определять техническое состояние агрегатов, механизмов и систем трактора без их разборки, прогнозировать сроки службы узлов, фактически управлять их техническим состоянием, назначая соответствующие ремонтно-обслуживающие воздействия и выполняя их в процессе технического обслуживания и ремонта. Это снижает время простоя трактора, обеспечивает значительную экономию средств на его обслуживание и ремонт.

Выполнение только действительно обоснованных операций по обслуживанию, регулированию и ремонту, сокращает расход запасных частей и топливо-смазочных материалов.

Так, своевременное обнаружение и устранение значительных неисправностей в системах питания двигателя, агрегатов трансмиссии улучшает на 10–15 % топливно-экономические показатели и эксплуатационную мощность двигателя, на 20–30 % улучшает экологические показатели, повышает безопасность эксплуатации колесных тракторов.

Бортовое диагностирование оказывает значительное влияние на интенсивность использования техники через ее коэффициент готовности. Предупреждение отказов, оперативное их устранение резко снижают простои колесных тракторов по техническим причинам, увеличивают их производительность и качество выполнения технологических операций, что положительно сказывается на сроках выполнения работ, способствует получению дополнительной прибыли.

Общая структурная схема микропроцессорной системы бортового диагностирования технического состояния силового агрегата показана на рисунке 3.1. Она является составной частью (модулем) комплексной управляющей, диагностической и информационной системы колесных тракторов [6]. Такой концептуальный подход к

общей структуре комплексной системы позволит при ее проектировании использовать модульный принцип построения системы, что не является предметом рассмотрения в данной работе.

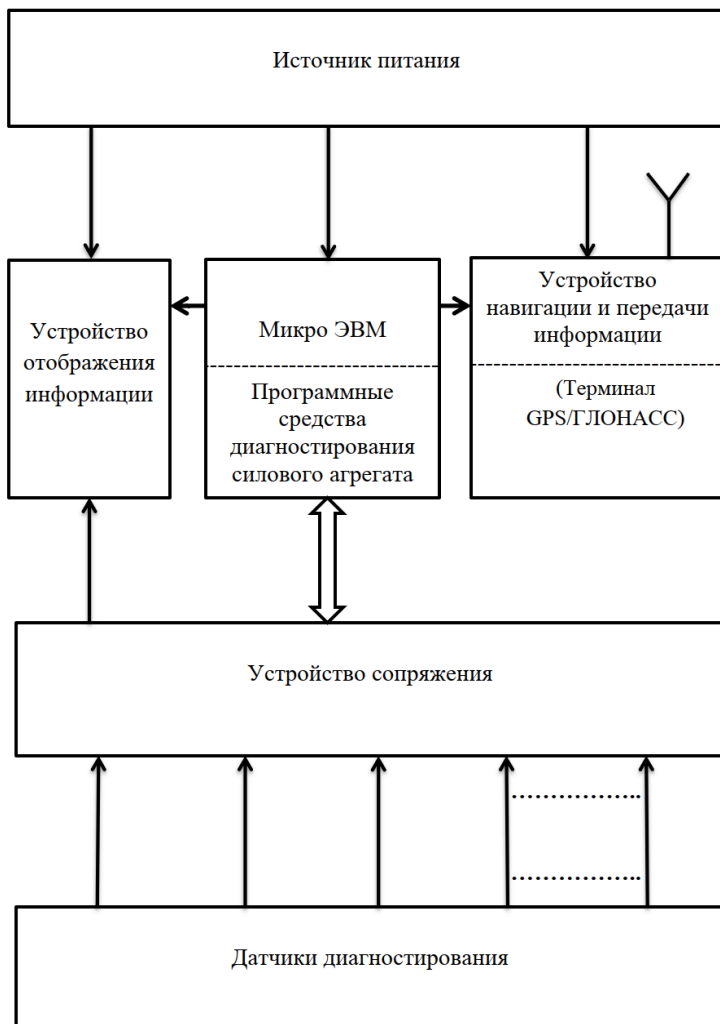


Рис. 3.1. Структурная схема микропроцессорной системы бортового диагностирования технического состояния силового агрегата

Ядром системы (рисунок 3.1) является микроЭВМ. В ее состав входят:

- центральный процессор, осуществляющий выборку команд и обработку данных;
- память, в которой хранятся программы и данные;
- ввод-вывод, управляющий приемом данных от датчиков диагностирования.

Эти составляющие микроЭВМ соединены между собой набором линий передачи информации, называемых шинами.

Центральный процессор состоит из арифметико-логического устройства, используемого для выполнения арифметических и логических операций с данными, регистров для временного хранения данных и блока управления.

Память обычно состоит из двух устройств – постоянного запоминающего устройства и оперативного запоминающего устройства.

Постоянно запоминающее устройство предназначено только для считывания из него информации, т. е. записанные в постоянно запоминающем устройстве данные изменить невозможно. Оно способно хранить информацию даже при отключении питания, поэтому его используют для хранения программ и фиксированных данных.

Оперативно запоминающее устройство служит как для считывания, так и для записи данных по любому указанному адресу. Однако, при отключении питания хранящаяся в оперативном запоминающем устройстве информация разрушается, поэтому оперативно запоминающее устройство используют для временного хранения данных.

Вводом-выводом называется схема, управляющая приемом-передачей данных от датчиков диагностирования по командам центрального процессора.

Источник питания преобразует напряжение аккумуляторной батареи в напряжение +5 В, необходимое для работы микроЭВМ.

Для связи микроЭВМ с объектом диагностирования применяют устройство сопряжения, предназначенное для предварительной фильтрации входных информационных сигналов и приведение их в стандартную для микроЭВМ форму.

Устройство отображения информации (дисплей) служит для индицирования наличия типовых неисправностей силового агрегата.

Получение необходимой информации для определения технического состояния силового агрегата производится при помощи датчиков диагностирования.

Терминал GPS/ГЛОНАСС – это устройство навигации и передачи информации на основе применения современных технологий спутникового мониторинга транспорта.

Практика показывает, что считывание информационных сигналов должно проводиться с частотой не менее 2 кГц, в противном случае диагностические параметры претерпевают значительные изменения, а это может привести к постановке ошибочного диагноза системой диагностирования [58].

Процедура бортового диагностирования технического состояния силового агрегата заключается в следующем.

В ходе диагностирования микропроцессорная система реализует некоторый алгоритм (рисунок 3.2), представляющий собой опрос датчиков диагностирования и сравнение полученных значений информационных сигналов с константами технически исправного силового агрегата, занесенными в память микроЭВМ, а также правил последовательности выполнения и анализа этих проверок. Если в результате обработки полученной информации  $K$ -й элемент оказывается неисправным, то признаку неисправности ПН ( $m$ ) присваивается необходимое значение и формируется соответствующее диагностическое сообщение.

### **3.1 Разработка методов бортового диагностирования технического состояния двигателя внутреннего сгорания**

Требования к повышению безопасности колесных тракторов посредством предупреждения отказов и устранения последствий этих отказов, радикальному уменьшению времени поиска неисправностей, обуславливают необходимость применения в процессе бортового диагностирования двигателей внутреннего сгорания информационных технологий. Это позволит повысить показатели безопасности колесных тракторов, снизить продолжительность работ, трудовые и материальные затраты при техническом обслуживании и ремонте.

Диагностирование температурного режима двигателя начинается с проверки выражения

$$T_{\text{дв}} = T_{\text{дв.ном}} , \quad (3.1)$$

где  $T_{\text{дв}}$  – текущее значение информационного сигнала температуры охлаждающей жидкости двигателя;

$T_{\text{дв.ном}}$  – значение информационного сигнала соответствующего номинальной температуре охлаждающей жидкости двигателя.

Если выражение (3.1) не выполняется, то проводится локализация неисправности, предусматривающая следующую проверку:

$$T_{\text{дв}} > T_{\text{дв.ном}} , \quad (3.2)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Перегрев двигателя».

Диагностирование уровня давления масла в системе смазки двигателя начинается с проверки выражения

$$P_{\text{дв}} = P_{\text{дв.ном}} , \quad (3.3)$$

где  $P_{\text{дв}}$  – текущее значение информационного сигнала давления масла в системе смазки двигателя;

$P_{\text{дв.ном}}$  – значение информационного сигнала соответствующего номинальному давлению масла в системе смазки двигателя.

Если выражение (3.3) не выполняется, то проводится локализация неисправности, предусматривающая следующую проверку:

$$P_{\text{дв}} < P_{\text{дв.ном}} , \quad (3.4)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Аварийное давление масла в системе смазки».

При разработке метода бортового диагностирования степени выработки ресурса моторного масла исходили из нижеследующего.

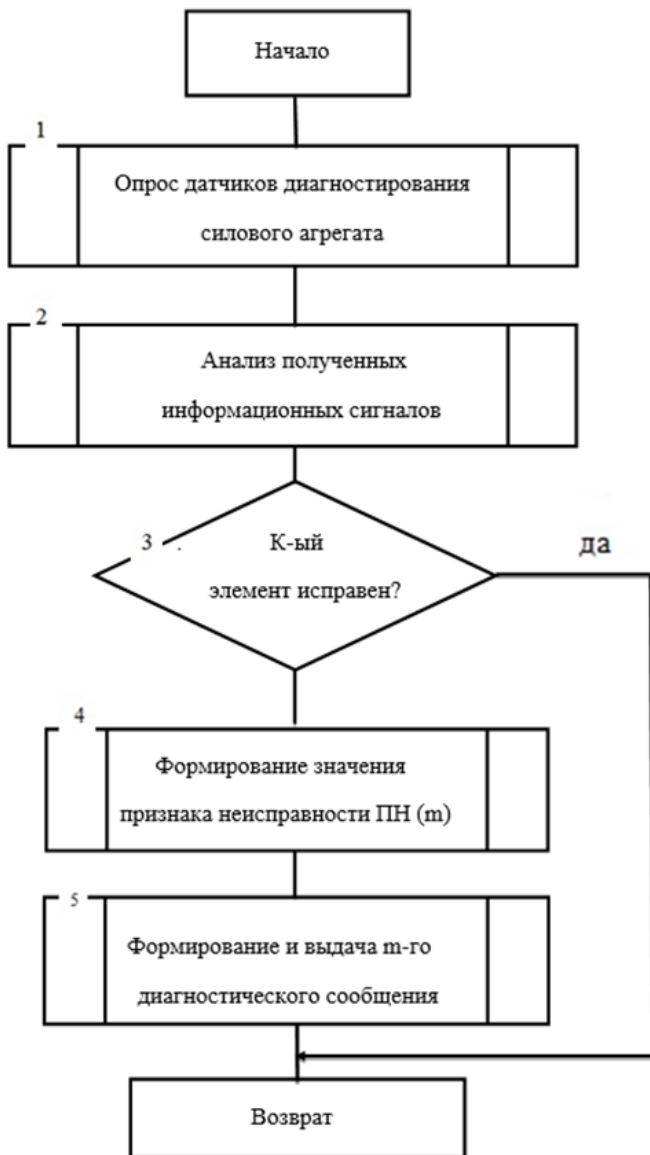


Рис. 3.2. Укрупненная блок-схема алгоритма бортового диагностирования технического состояния силового агрегата

Качество масла ухудшается в результате накопления в нем продуктов неполного сгорания топлива, что обусловлено техническим состоянием двигателя. Это приводит к снижению вязкости, ухудшению смазывающей способности, нарушениям режима жидкого трения.

Срок службы моторных масел до замены определяется не только наработкой трактора, но и временем, в течение которого совершена эта работа. При малой годовой наработке трактора ускоряются коррозионные процессы, ухудшаются защитные свойства, ускоряется старение масла. Поэтому в любом случае необходима замена масла не реже одного раза в год.

Рассмотрим подробнее этот аспект диагностики.

Обычно изготовитель двигателя в руководстве по эксплуатации устанавливает наработку двигателя в часах, после чего масло должно быть заменено свежим. При этом изготовители двигателей исходят из средних статистических данных по выработке ресурса масла в различных условиях эксплуатации и при техническом состоянии двигателя, близком к предельному (перед постановкой в ремонт). При фиксированной наработке до смены масла в новых двигателях и двигателях, работающих в более благоприятных условиях, смена масла происходит преждевременно, с невыработанным полностью ресурсом. В то же время, в некоторых двигателях (чаще из-за неполадок в системах охлаждения и топливоподачи) масло становится неработоспособным до того как оно должно быть заменено по инструкции.

Лабораторные и эксплуатационные испытания подтверждают, что между суммарным объемом израсходованного двигателем топлива и уровнем загрязнения, при котором он в состоянии продолжать нормально работать, существует положительное соотношение. Масло имеет ограничения на количество загрязнений, которое оно может поглотить без нарушения своих свойств. Соотношение между суммарным объемом израсходованного двигателем топлива и загрязнением масла является критерием для выбора интервала замены масла.

Рассмотрим новый метод бортового диагностирования степени выработки ресурса моторного масла. Предлагаемый метод отличается от традиционного, основанного на часах работы двигателя [67, 70, 71].

Степень выработки ресурса моторного масла определяется по следующей формуле:

$$\Delta = \left( \frac{\sum_{p=1}^n V_p}{V_0} + m_1 \cdot \kappa_1 + m_2 \cdot \kappa_2 \right) \cdot 100 \%, \quad (3.5)$$

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, соответствующий предельной выработке ресурса моторного масла;

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

$\kappa_1$ ,  $\kappa_2$  – коэффициенты выработки ресурса моторного масла при пуске двигателя не прогретого (до +40 °С) и прогретого (свыше +40 °С) соответственно.

Суммарный объем израсходованного двигателем топлива, соответствующий предельной выработке ресурса моторного масла, можно рассчитать:

$$V_0 = \frac{G \cdot t}{\rho}, \quad (3.6)$$

где  $G$  – часовой расход топлива;

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

$\rho$  – плотность топлива.

Часовой расход топлива определяется по формуле:



$$G = \frac{g_e \cdot N_e}{10^3}, \quad (3.7)$$

где  $g_e$  – эффективный удельный расход топлива;

$N_e$  – номинальная мощность.

Величина эффективного удельного расхода топлива и эффективной мощности оговариваются в техническом паспорте двигателя.

Из формулы (3.5) видно, что степень выработки ресурса моторного масла можно определить после каждой остановки двигателя.

Таким образом, использование суммарного объема израсходованного топлива двигателем при определении степени выработки ресурса моторного масла позволит оперативно, в любой период эксплуатации колесного трактора определять остаточный ресурс моторного масла, а также прогнозировать время его замены.

### **3.2 Разработка методов бортового диагностирования технического состояния сцепления**

Суть бортового диагностирования сцепления заключаются в следующем.

При полностью включенном сцеплении начинается проверка системы уравнений вида

$$\left. \begin{aligned} R_{cy}(\alpha) &= R_{cy}(\alpha_0) \\ \omega_{дв} &= \omega_{cy} \end{aligned} \right\}, \quad (3.8)$$

где  $R_{cy}(\alpha)$  – угловое перемещение рычага вилки выключения сцепления;

$R_{cy}(\alpha_0)$  – положения рычага вилки выключения сцепления при полностью включенном сцеплении;

$\omega_{дв}, \omega_{cy}$  – текущие угловые скорости коленчатого вала двигателя и ведомого диска сцепления соответственно.

Если какое-либо из условий выражения (3.8) не выполняется, то проводится локализация неисправностей, предусматривающая следующие проверки:

$$\left. \begin{array}{l} R_{сц}(\alpha) = R_{сц}(\alpha_0) \\ \omega_{об} > \omega_{сц} \end{array} \right\}, \quad (3.9)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Пробуксовка сцепления в тяговом режиме двигателя»;

$$\left. \begin{array}{l} R_{сц}(\alpha) = R_{сц}(\alpha_0) \\ \omega_{об} < \omega_{сц} \end{array} \right\}, \quad (3.10)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Пробуксовка сцепления в режиме торможения двигателем».

Рассмотрим новый метод бортового диагностирования степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных накладок ведомого диска сцепления [59, 60].

Предлагаемый метод диагностирования, защищенный при участии автора двумя патентами на изобретение [83, 84], отличается от традиционных, основанных на непосредственном измерении толщины накладок при частичной разборке узла.

Процессы трения и износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления носят ярко выраженный нестационарный характер. Это означает, что для оценки и надежности и долговечности пар трения недостаточно располагать только отдельными, даже весьма важными показателями, такими как нагрузка на фрикционном контакте и скорость скольжения. Здесь необходимы обобщающие, комплексные показатели, одним из которых является работа трения [61, 62].

Измеритель крутящего момента двигателя внутреннего сгорания содержит гидравлические цилиндры 1, перепускные клапаны 2, обратный клапан 4, шток-поршни 6, рабочее тело в виде жидкости 7, трубопроводы 8, датчик давления 5. Двигатель внутреннего сгорания (рисунок 3.3), входящий в состав устройства прогнозирования степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных накладок ведомого диска сцепления колесных и гусеничных машин,

состоит из блок-картера 3, к которому крепятся рычаги 10. Двигатель внутреннего сгорания установлен на опоре 9 и имеет возможность поворачиваться на некоторый угол относительно коробки передач, закрепленной неподвижно на раме.

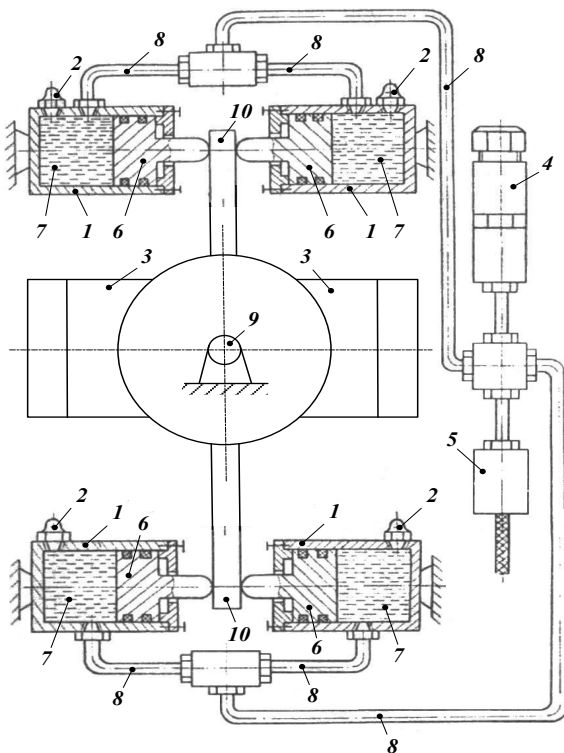


Рис. 3.3. Измеритель крутящего момента двигателя внутреннего сгорания (патент № 10355; 21037)

1 – гидравлические цилиндры; 2 – перепускные клапаны; 3 – блок-картера;  
4 – обратный клапан; 5 – датчик давления; 6 – шток-поршни; 7 – рабочее тело  
в виде жидкости; 8 – трубопроводы; 9 – опора; 10 – рычаги

Работает измеритель крутящего момента двигателя внутреннего сгорания следующим образом. Он включается во время запуска двигателя внутреннего сгорания и работает от бортовой электросети колесной машины.

В процессе работы двигателя внутреннего сгорания бортовой компьютер постоянно считывает и запоминает значения информационных сигналов от измерителя крутящего момента двигателя внутреннего сгорания, в котором имеются датчик давления и значения информационных сигналов от датчиков угловой скорости коленчатого вала двигателя и ведомого диска сцепления. При включенной передаче крутящий момент передается трансмиссии, а двигатель внутреннего сгорания стремится повернуться на некоторый угол относительно коробки передач, закрепленной неподвижно на раме. Рычаги 10 выполнены за одно целое с блок-картером двигателя внутреннего сгорания и передают усилия на шток-поршни 6 двух гидроцилиндров 1. Крутящий момент двигателя внутреннего сгорания измеряется путем регистрации реактивного момента, воздействующего на блок-картер 3. Реактивный момент, возникающий на блок-картере двигателя внутреннего сгорания, через рычаги 10 воспринимается двумя гидравлическими цилиндрами 1, закрепленными неподвижно относительно рамы и гидравлически связанных между собой датчиком давления. В замкнутой гидравлической системе возникает избыточное давление, пропорциональное крутящему моменту двигателя внутреннего сгорания. Избыточное давление рабочего тела в виде жидкости 7 с помощью датчика давления 5 преобразуется в информационный сигнал.

Значения информационных сигналов от измерителя крутящего момента двигателя внутреннего сгорания, в котором установлен датчик давления, а также значения информационных сигналов от датчиков угловой скорости коленчатого вала двигателя и ведомого диска сцепления поступают в бортовой компьютер. После этого он определяет работу трения фрикционных накладок ведомого диска сцепления путем интегрирования по времени произведения значений информационных сигналов от измерителя крутящего момента двигателя внутреннего сгорания на разность значений информационных сигналов от датчиков угловой скорости коленчатого вала двигателя и ведомого диска сцепления взятых по модулю.

В случае полного включения сцепления разность значений информационных сигналов от датчиков угловой скорости коленчатого вала двигателя и ведомого диска сцепления, взятых по модулю, равна нулю. Тогда работа трения фрикционных накладок ведомого диска сцепления отсутствует.

Полученные значения работы трения фрикционных накладок ведомого диска сцепления после каждого его включения и выключения прибавляются к сумме полученной при предыдущих включениях и выключениях сцепления.

Общая сумма значений работы трения фрикционных накладок ведомого диска сцепления делится на наперед заданное числовое значение работы трения фрикционных накладок ведомого диска сцепления, соответствующее предельно допустимому износу его фрикционных накладок. Затем это соотношение умножают на 100 % и тем самым определяют процент износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления.

Все это можно записать следующим образом:

$$L = \int_0^t M_k \left( \omega_{об} - \omega_{сц} \right) dt ; \quad (3.11)$$

$$\Delta = \frac{\sum_{p=1}^n L_p}{L_0} \cdot 100 \% , \quad (3.12)$$

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;

$\omega_{об}$ ,  $\omega_{сц}$  – текущие угловые скорости коленчатого вала двигателя и ведомого диска сцепления соответственно;

$\Delta$  – степень износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления;

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

$L_0$  – числовое значение работы трения, соответствующее предельно допустимому износу фрикционных накладок ведомого диска сцепления (определяется экспериментально).

При этом предполагается, что износ фрикционных накладок ведомого диска сцепления зависит линейно от работы трения. Из выражения (3.12) видно, что степень износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления можно определить после каждого включения и выключения.

В результате проведенных исследований разработана и внедрена на ОАО «Минский тракторный завод» программа и методика испытаний «Бортовое диагностирование степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных накладок ведомого диска муфты сцепления тракторов «БЕЛАРУС» (рег. № = 16299/Б от 10.09.2014 г.).

Настоящая программа и методика испытаний устанавливает объем и метод бортового диагностирования технического состояния ведомого диска сцепления тракторов «Беларус» в части оценки степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных накладок, используя при этом работу трения как интегральный показатель.

Диагностирование температурного режима сцепления начинается с проверки выражения

$$T_{сц} = T_{сц.ном} , \quad (3.13)$$

где  $T_{сц}$  – текущее значение информационного сигнала температурного режима сцепления;

$T_{сц.ном}$  – значение информационного сигнала, соответствующего номинальному температурному режиму сцепления.

Если выражение (3.13) не выполняется, то проводится локализация неисправности, предусматривающая следующую проверку

$$T_{сц} > T_{сц.ном} , \quad (3.14)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Перегрев сцепления».

### 3.3 Разработка методов бортового диагностирования технического состояния привода управления сцеплением

В основу методов диагностирования привода положен характер изменения положения рычага вилки выключения сцепления в процессе управлением сцеплением.

Для получения информации о положении рычага вилки выключения сцепления используется датчик углового перемещения.

Применение датчика позволяет повысить общий уровень контролепригодности привода управления сцеплением.

При определении положения рычага вилки выключения сцепления целесообразно пользоваться не абсолютным, а относительным значением информационного сигнала. Это связано с тем, что в процессе износа накладок ведомого диска сцепления постоянно изменяется начальное положение подвижной части датчика углового перемещения, а следовательно, и значение информационного сигнала на его выходе. В результате изменения начальной настройки датчика используемые в методике пороговые значения положения рычага вилки выключения сцепления могут стать причиной постановки системой ошибочного диагноза.

Поэтому было введено понятие коэффициента полноты выключения сцепления, позволяющего избежать вышеназванного недостатка.

Под коэффициентом полноты выключения сцепления понимается выражение:

$$K_{cy}(\alpha) = \left| \frac{R_{cy}(t) - R_{cy}(\alpha_0)}{R_{cy}(\alpha_{вс}) - R_{cy}(\alpha_0)} \right|; \quad (3.15)$$

$$0 \leq K_{cy}(\alpha) \leq 1.$$

где  $R_{cy}(t)$  – мгновенное положение рычага вилки выключения сцепления;

$R_{cy}(\alpha_0)$  – положение рычага вилки выключения сцепления при полностью включенном сцеплении;

$R_{cy}(\alpha_{вс})$  – положение рычага вилки выключения сцепления при полностью выключенном сцеплении.

Методы диагностирования привода управления сцеплением разрабатывались применительно к режиму трогания колесного трактора с места с переключением передач, позволяющий проводить проверку привода при его управлении водителем.

В качестве примера рассмотрим функциональное диагностирование привода управления сцеплением при трогании трактора с места.

Особенность данного метода заключается в том, что он предусматривает подачу на объект диагностирования рабочих воздействий.

Диагностирование привода управления сцеплением начинается с проверки системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} K_{cy}(\alpha) &= 0 \\ \dot{K}_{cy}(\alpha) &= 0 \\ R_{cy.min} &\leq R_{cy}(\alpha) \leq R_{cy.max} \end{aligned} \right\}; \quad (3.16)$$

где  $\dot{K}_{cy}(\alpha)$  – скорость изменения коэффициента полноты выключения сцепления;

$R_{cy.min}, R_{cy.max}$  – соответственно нижний и верхний пределы диапазона измерения датчика положения рычага сцепления;

$R_{cy}(\alpha)$  – угловое перемещение рычага вилки выключения сцепления.

Если какое-либо из условий выражения (3.16) не выполняется, то проводится локализация неисправности, предусматривающая следующие проверки:

$$\left. \begin{aligned} K_{cy}(\alpha) &< K_{cy.min} \\ \dot{K}_{cy}(\alpha) &= 0 \\ R_{cy}(\alpha) &< R_{cy.min} \end{aligned} \right\}; \quad (3.17)$$



выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Сигнал от датчика положения рычага вилки выключения сцепления меньше допустимого нижнего предела диапазона измерения»;

$$\left. \begin{aligned} K_{cy}(\alpha) &> K_{cy.\max} \\ \dot{K}_{cy}(\alpha) &= 0 \\ R_{cy}(\alpha) &> R_{cy.\max} \end{aligned} \right\}; \quad (3.18)$$

выполнение которой свидетельствуют о неисправности типа «Сигнал от датчика положения рычага вилки выключения сцепления больше допустимого верхнего предела диапазона измерения».

Выполнение вышеописанных проверок проводится до тех пор, пока водитель не нажмет педаль управления сцеплением и не произойдет трогание рычага вилки выключения сцепления с места. В этом случае состояние привода управления сцеплением может быть описано системой

$$\left. \begin{aligned} 0 < K_{cy}(\alpha) < K_{cy}(\alpha_{cx}) \\ \dot{K}_{cy}(\alpha) &> 0 \\ R_{cy.\min} < R_{cy}(\alpha) < R_{cy.\max} \end{aligned} \right\}; \quad (3.19)$$

которая после завершения выборки свободного хода и зазоров в сопряжениях привода преобразуется в вид

$$\left. \begin{aligned} 0 < K_{cy}(\alpha) < 1 \\ \dot{K}_{cy}(\alpha) &= 0 \\ R_{cy.\min} < R_{cy}(\alpha) < R_{cy.\max} \end{aligned} \right\}; \quad (3.20)$$

где  $K_{cy}(\alpha_{cx})$  – коэффициент полноты выключения сцепления при выбранной величине свободного хода муфты выключения сцепления.

На данном этапе диагностирования проводится контроль свободного хода муфты выключения сцепления, для чего предусмотрена проверка:

$$\left. \begin{aligned} K_{cy}(\alpha_{cx.min}) &\leq K_{cy}(\alpha) \leq K_{cy}(\alpha_{cx.max}) \\ \dot{K}_{cy}(\alpha) &= 0 \\ R_{cy.min} &< R_{cy}(\alpha) < R_{cy.max} \end{aligned} \right\}; \quad (3.21)$$

где  $K_{cy}(\alpha_{cx.min})$ ,  $K_{cy}(\alpha_{cx.max})$  – соответственно коэффициенты полноты выключения сцепления при минимально и максимально допустимой величине свободного хода муфты выключения сцепления.

Если условие (3.21) не выполняется, то проводится локализация неисправности, которая сводится к проведению следующих проверок:

$$\left. \begin{aligned} K_{cy}(\alpha) &> K_{cy}(\alpha_{cx.max}) \\ \dot{K}_{cy}(\alpha) &= 0 \\ R_{cy.min} &< R_{cy}(\alpha) < R_{cy.max} \end{aligned} \right\}; \quad (3.22)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Увеличенный свободный ход муфты выключения сцепления»;

$$\left. \begin{aligned} K_{cy}(\alpha) &< K_{cy}(\alpha_{cx.min}) \\ \dot{K}_{cy}(\alpha) &= 0 \\ R_{cy.min} &< R_{cy}(\alpha) < R_{cy.max} \end{aligned} \right\}; \quad (3.23)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Уменьшенный свободный ход муфты выключения сцепления».

Отличительной особенностью разработанных методов является то, что они позволяют без каких-либо специальных внешних технических средств выявлять наиболее распространенные неисправности привода управления сцеплением.

### 3.4 Разработка методов бортового диагностирования технического состояния коробки передач

Суть бортового диагностирования технического состояния коробки передач заключается в следующем.

Диагностирование уровня давления масла в гидросистеме коробки передач начинается с проверки выражения

$$P_{кп} = P_{кп.ном} , \quad (3.24)$$

где  $P_{кп}$  – текущее значение информационного сигнала давления масла в гидросистеме коробки передач;

$P_{кп.ном}$  – значение информационного сигнала, соответствующего номинальному давлению масла в гидросистеме коробки передач.

Если выражение (3.24) не выполняется, то производится локализация неисправности, предусматривающая следующие проверки:

$$P_{кп} < P_{кп.ном} , \quad (3.25)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Низкое давление масла в гидросистеме коробки передач»;

$$P_{кп} > P_{кп.ном} , \quad (3.26)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Высокое давление масла в гидросистеме коробки передач».

Рассмотрим новый метод бортового диагностирования технического состояния гидроподжимных муфт коробки передач в части оценки степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков, используя при этом работу трения как интегральный показатель [66, 69, 70, 71, 73, 77, 80, 82]. Предположительно износ фрикционных дисков пропорционален работе трения.

Предлагаемый метод бортового диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач отличается от традиционных, основанных на непосредственном измерении толщины пакета фрикционных дисков при частичной разборке узла [36, 63].

Система бортового диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач начинает свою работу при включении бортовой сети колесного трактора.

Значения информационных сигналов от датчика момента трения фрикционных дисков гидроподжимной муфты, а также значения информационных сигналов от датчиков угловой скорости ведущих и ведомых фрикционных дисков гидроподжимной муфты коробки передач поступают в бортовой компьютер.

После этого он определяет работу трения фрикционных дисков каждой гидроподжимной муфты путем интегрирования по времени произведения значений информационных сигналов от датчика момента трения фрикционных дисков на разность значений информационных сигналов от датчиков угловой скорости ведущих и ведомых фрикционных дисков гидроподжимной муфты коробки передач, взятых по модулю.

Полученные значения работы трения фрикционных дисков для каждой гидроподжимной муфты и после каждого ее включения и выключения прибавляются к сумме, полученной при предыдущих включениях и выключениях муфты. Общая сумма значений работы трения фрикционных дисков гидроподжимной муфты делится на наперед заданное числовое значение работы трения фрикционных дисков гидроподжимной муфты, соответствующее предельно допустимому износу ее фрикционных дисков. Затем это соотношение умножают на 100 % и определяют процент износа фрикционных дисков каждой гидроподжимной муфты коробки передач колесного трактора.

Все это можно записать следующим образом:

$$L = \int_0^t M \left| (\omega_g - \omega_e) \right| dt; \quad (3.27)$$

$$\Delta = \frac{\sum_{p=1}^n L_p}{L_0} \cdot 100 \%, \quad (3.28)$$

где  $L$  – текущие значения работ трения фрикционных дисков гидроподжимной муфты;

$L_p$  – значение работы трения  $L$  при  $p$ -м включении и выключении гидropоджимной муфты;

$\omega_g, \omega_e$  – текущие значения угловых скоростей ведущих и ведомых дисков гидropоджимной муфты коробки передач соответственно;

$t$  – время трения фрикционных дисков гидropоджимной муфты;

$M$  – момент трения фрикционных дисков гидropоджимной муфты;

$\Delta$  – степень износа фрикционных дисков гидropоджимной муфты;

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

$L_0$  – числовое значение работы трения, соответствующее предельно допустимому износу фрикционных дисков гидropоджимной муфты (определяется экспериментально).

При достижении гидropоджимной муфтой значения работы трения, соответствующего предельно допустимому износу фрикционных дисков, на устройстве отображения информации (дисплее) появляется сигнал о замене данной муфты.

Из выражения (3.28) видно, что степень износа фрикционных дисков гидropоджимной муфты можно определить после каждого включения и выключения.

В результате проведенных исследований разработана и внедрена на ОАО «Минский тракторный завод» программа и методика испытаний «Бортовое диагностирование степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков гидropоджимных муфт коробок передач тракторов «БЕЛАРУС» (рег. № 16392/Б от 20.01.2015 г.).

Настоящая программа и методика испытаний устанавливает объем и метод бортового диагностирования технического состояния гидropоджимных муфт коробок передач тракторов «БЕЛАРУС» в части оценки степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков, используя при этом работу трения как интегральный показатель.

Рассмотрим еще один новый метод бортового диагностирования технического состояния гидropоджимных муфт коробки передач в

части оценки степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков, используя при этом уровень информационного сигнала линейного перемещения поршня [68].

Степень износа фрикционных дисков гидроподжимной муфты коробки передач определяется по аналогии с предыдущим методом по следующей зависимости:

$$\Delta = \frac{S}{S_0} \cdot 100 \%, \quad (3.29)$$

где  $S$  – текущее значение информационного сигнала линейного перемещения поршня;

$S_0$  – значение информационного сигнала линейного перемещения поршня, соответствующее предельно допустимому износу фрикционных дисков гидроподжимной муфты.

При достижении гидроподжимной муфтой значения информационного сигнала линейного перемещения поршня, соответствующего предельно допустимому износу фрикционных дисков, на устройстве отображения информации (дисплее) появляется сигнал о замене данной муфты.

Из выражения (3.29) видно, что степень износа фрикционных дисков гидроподжимной муфты можно определить после каждого включения и выключения.

В результате проведенных исследований разработана и внедрена на ОАО «Минский тракторный завод» программа и методика испытаний «Бортовое диагностирование степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач тракторов «Беларус» (рег. № 16389/Б от 15.01.2015 г.).

Настоящая программа и методика испытаний устанавливает объем и метод бортового диагностирования технического состояния гидроподжимных муфт коробок передач тракторов «БЕЛАРУС» в части оценки степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков, используя при этом уровень информационного сигнала линейного перемещения поршня.

Диагностирование пробуксовки гидроподжимных муфт коробки передач начинается с проверки системы уравнений вида:

$$\left. \begin{aligned} P_{кп} &= P_{кп.ном} \\ \omega_g &= \omega_e \end{aligned} \right\}; \quad (3.30)$$

Если какое-либо из условий выражения (3.30) не выполняется, то проводится локализация неисправности, предусматривающая следующие проверки:

$$\left. \begin{aligned} P_{кп} &< P_{кп.ном} \\ \omega_g &> \omega_e \end{aligned} \right\}; \quad (3.31)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Пробуксовка гидropоджимной муфты в тяговом режиме двигателя»;

$$\left. \begin{aligned} P_{кп} &< P_{кп.ном} \\ \omega_g &< \omega_e \end{aligned} \right\}; \quad (3.32)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Пробуксовка гидropоджимной муфты в режиме торможения двигателем».

## Выводы

1. Разработаны принципы построения и функционирования микропроцессорной системы бортового диагностирования технического состояния силового агрегата [70].

2. Разработаны методы бортового диагностирования технического состояния двигателей внутреннего сгорания. Метод определения степени выработки ресурса моторного масла по относительным показателям и суммарному объему израсходованного топлива на различных режимах, отличающийся от аналога, основанного на часах работы двигателя, обеспечит более объективную оценку так как учитывает фактические условия эксплуатации колесного трактора в каждом цикле «пуск – работа – останов двигателя» [67, 70, 72, 74, 80, 81].

3. Разработаны методы бортового диагностирования технического состояния сцепления. Метод определения степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления на основе информации о работе трения как интегральном показателе, отличающийся от аналога, основанного на непосредственном измерении толщины накладок, позволит оперативно, в реальных условиях эксплуатации контролируемого объекта рассчитать их остаточный ресурс и спрогнозировать время замены [70, 75, 83, 84].

4. Разработаны методы оценки технического состояния привода управления сцеплением, которые могут быть рекомендованы для реализации в электронных устройствах бортового диагностирования и дистанционного мониторинга колесного трактора.

5. Разработаны методы бортового диагностирования технического состояния гидромеханической коробки передач. Методы определения степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач на основе информации о работе трения как интегральном показателе и о уровне информационного сигнала линейного перемещения поршня, позволят оперативно, в любой период эксплуатации контролируемого объекта, определять 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 объекта, а с другой, необоснованные материальные и трудовые затраты при его преждевременном обслуживании [66, 68, 69, 70, 71, 73, 77, 80, 82].



## **ГЛАВА 4**

### **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИЛОВОГО АГРЕГАТА**

#### **4.1 Методика проведения стендовых испытаний ведомого диска сцепления**

##### **4.1.1 Объект испытаний**

Объектом испытаний являлся диск ведомый 70-1601130 с накладками сцепления 70-1601138-02 из материала «Фритекс-501» производства ОАО «Фритекс» (г. Ярославль) – два образца.

##### **4.1.2 Цель испытаний**

Проверка качества серийных накладок, используемых в производстве тракторов «БЕЛАРУС» серий 500/800/900/1000/1200/1500.

Экспериментальное определение на стенде числового значения работы трения фрикционных накладок ведомого диска сцепления, соответствующего их предельно допустимому износу, и применение в дальнейшем работы трения в качестве интегрального показателя степени износа фрикционных накладок при бортовом диагностировании технического состояния муфты сцепления тракторов «БЕЛАРУС».

##### **4.1.3 Методика испытаний**

Испытания проводились на инерционно-тормозном стенде С 146, схема которого приведена на рисунке 4.1, в цехе испытаний ОАО «Минский тракторный завод» по программе и методике испытаний № 16299/Б от 10.09.2014 г.

Ведомые диски с испытуемыми накладками поочередно устанавливались в однодисковую муфту сцепления.

Контртела (маховик и нажимной диск) в ходе испытаний не менялись.

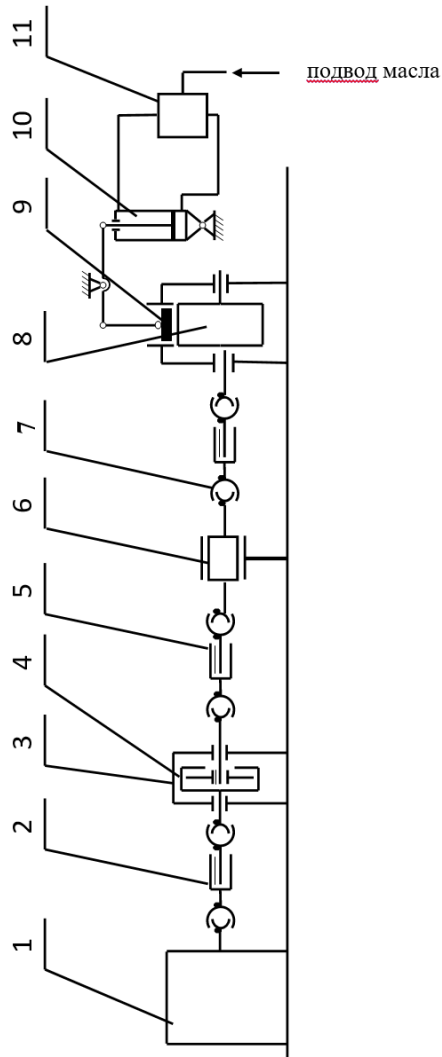


Рис. 4.1. Схема стенда для испытаний муфт сцепления тракторов «БЕЛАРУС»

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/м<sup>2</sup>; 9 – тормоз остановочный инерционных масс; 10 – цилиндр механизма управления тормозом остановочным инерционных масс; 11 – распределитель

Качество накладок определялось по следующим показателям:

- фрикционным свойствам;
- линейному износу испытываемого материала.

Фрикционные свойства накладок оценивались по статическому моменту срыва муфты сцепления, в которой в качестве фрикционных элементов ведомого диска использовались опытные накладки.

Перед установкой муфты сцепления на стенд определялось суммарное усилие пружин в диске сцепления в положении, соответствующем установке диска сцепления на маховик с ведомым диском толщиной 10 мм.

Объем испытаний каждого комплекта накладок оговаривался заданием на испытания и составлял 10 000 циклов включений.

Измерительная аппаратура, применявшаяся при испытаниях:

- суммарное усилие пружин в диске сцепления замерялось с помощью динамометра сжатия ДОСМ 3-1 (диапазон от 0 до 10 000 Н, класс точности 0,3 %);

- усилие  $P$ , прикладываемое к рычагу при определении статического момента срыва муфты сцепления, регистрировалось с помощью динамометра растяжения ДПУ-0,2-2 (диапазон от 0 до 2000 Н, погрешность 2 %);

- частота вращения вала приводного электродвигателя регистрировалась с помощью инкрементального углового энкодера E6C2-CWZ1X 1024 P/R (погрешность 0,5 %);

- крутящий момент на выходном валу муфты сцепления регистрировался с помощью датчика Т1-2 (диапазон измерения 0...10 000 Н · м, погрешность 1 %);

- толщина ведомого диска (при определении линейного износа материала накладок) замерялась микрометром МК-25-1 ГОСТ 6507-90 (погрешность измерения  $\pm 2$  мкм).

Управление работой стенда, сбор и обработка информации, построение графиков осуществлялось с автоматизированного рабочего места испытателя, программируемым контроллером С12 фирмы «OMRON» (Япония).

После окончания испытаний производилась разборка муфты сцепления для обмера толщины ведомого диска сцепления и оценки состояния фрикционных накладок.

#### 4.1.4 Результаты испытаний

Суммарное усилие пружин в диске сцепления в положении, соответствующем установке диска сцепления на маховик с ведомым диском толщиной 10 мм, в начале испытаний было в пределах 8900...9000 Н.

Результаты испытаний дисков приведены в таблице 4.1 и в протоколе испытаний № 16298/Б от 10.09.2014 г.

Первый образец ведомого диска отработал в объеме 10 000 циклов включений. Средний темп износа накладок в заданном интервале наработки (10 000 циклов) составил (0,50 мм) / (1000 ц).

Второй образец ведомого диска отработал в объеме 10 000 циклов включений. Средний темп износа накладок в заданном интервале наработки (10 000 циклов) составил (0,42 мм) / (1000 ц).

Для получения более полной информации о фрикционных свойствах материала «Фритекс» (характеру изменения динамического момента трения) в начале и в конце испытаний были проведены записи процессов включения муфты сцепления, приведенные на рисунках 4.2, 4.4, 4.6 и 4.8 при непрогретой и прогретой муфты сцепления (температура измерялась на корпусе муфты сцепления).

Обозначения, используемые на графиках:

–  $n_{вх.в.}$ ,  $n_{вых.в}$  – частоты вращения вала приводного электродвигателя и выходного вала муфты сцепления (вала инерционных масс) соответственно;

–  $T$  – вращающий момент на выходном (ведомом) валу муфты сцепления.

Интервал опроса параметров при записи процесса включения муфты сцепления составлял 0,01 с.

Из приведенных графиков видно, что динамический момент трения на выходном валу муфты сцепления был в пределах 450...880 Н · м.

По результатам обработки графиков включения муфты сцепления, приведенных на рисунках 4.2, 4.4, 4.6 и 4.8 построены графики изменения во времени цикловой работы и мощности трения (рисунки 4.3, 4.5, 4.7 и 4.9), из которых видно, что при включении муфты сцепления на стенде на заданных режимах нагружения поглощалась работа трения в пределах 149...150 кДж.

Таблица 4.1. – Результаты испытаний ведомых дисков 70-1601130 с накладками производства ОАО «Фритекс» на стенде С-146

<b>Количество включений муфты сцепления</b>	<b>Диапазон момента срыва муфты сцепления (прогр./непрогр.)</b>	<b>Средняя величина износа</b>	<b>Средний темп износа в интервале наработки</b>
<b>циклы</b>	<b>Н·м</b>	<b>мм</b>	<b>мм/1000 ц.</b>
<b>Образец № 1</b>			
2000	475...505/580...590	1,39	0,69
3901	445...460/480...500	2,05	0,33
5975	550...570/500...520	2,84	0,39
8000	450...500/530...545	3,82	0,48
10000	475...490/540...560	5,08	0,63
Средний темп износа во всем диапазоне наработки – (0,50 мм) / (1000 ц.)			
<b>Образец № 2</b>			
2000	695...705/735...765	0,73	0,36
4012	630...650/690...700	1,15	0,20
5901	635...645/630...645	1,93	0,41
8008	630...640/635...650	3,04	0,52
10000	500...530/550...560	4,27	0,62
Средний темп износа во всем диапазоне наработки – (0,42 мм) / (1000 ц.)			

Суммарное значение работы трения за период испытаний (за 10 000 циклов включений муфты сцепления) как для образца № 1, так и для образца № 2

$$L = 150 \cdot 10\,000 = 1\,500\,000 \text{ кДж.}$$

По результатам испытаний, приведенных в таблице 4.1 средний износ фрикционных накладок ведомого диска муфты сцепления образца № 1 за 10 000 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.

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 составляет [64]:

– для фрикционных накладок образца № 1

$$L_1 = L / H_1 = 1\,500\,000 / 5,08 = 295\,275 \text{ кДж/мм};$$

– для фрикционных накладок образца № 2

$$L_2 = L / H_2 = 1\,500\,000 / 4,27 = 351\,288 \text{ кДж/мм}.$$

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 составит [64]:

– для фрикционных накладок образца № 1

$$L_{01} = L_1 \cdot H_{\max} = 295\,275 \cdot 4 = 1\,181\,102 \text{ кДж};$$

– для фрикционных накладок образца № 2

$$L_{02} = L_2 \cdot H_{\max} = 351\,288 \cdot 4 = 1\,405\,152 \text{ кДж}.$$

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

$$L_0 = (L_{01} + L_{02}) / 2 = (1\,181\,102 + 1\,405\,152) / 2 = 1\,293\,127 \text{ кДж.}$$

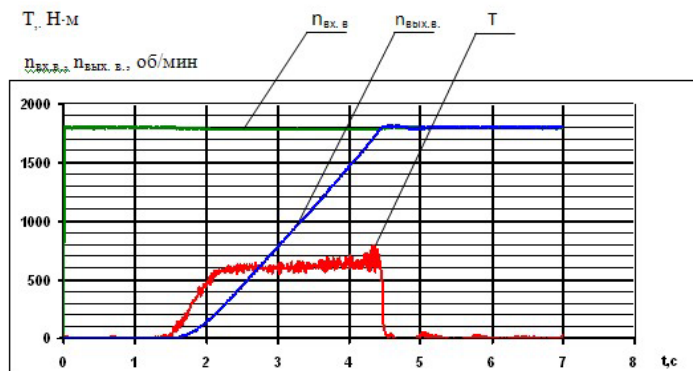


Рис. 4.2. Процесс включения прогретой муфты сцепления с образцом № 1 ведомого диска с накладками производства ОАО «Фритекс» при наработке 450 циклов (температура корпуса муфты сцепления  $\approx 20$  °С)

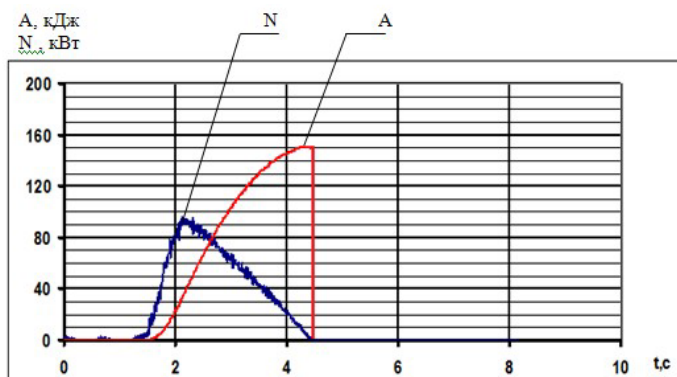


Рис. 4.3. Графики изменения цикловой работы ( $A$ ) и мощности ( $N$ ) трения при включении прогретой муфты сцепления с образцом № 1 ведомого диска с накладками производства ОАО «Фритекс» при наработке 450 циклов (температура корпуса муфты сцепления  $\approx 20$  °С)

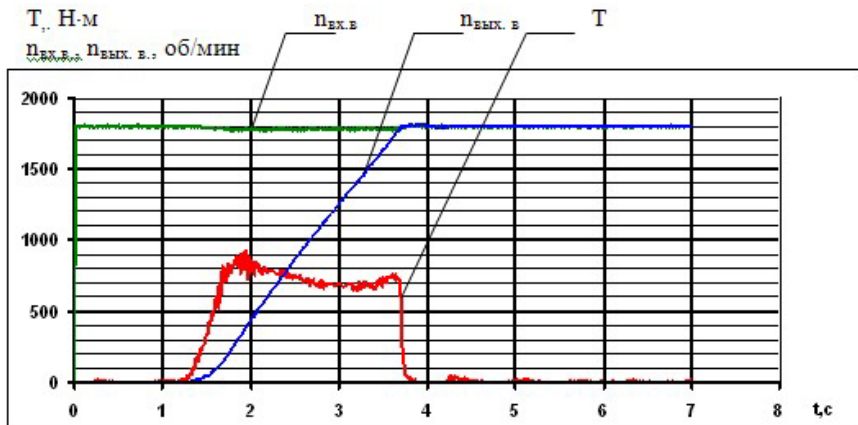


Рис. 4.4. Процесс включения прогретой муфты сцепления с образцом № 1 ведомого диска с накладками производства ОАО «Фритекс» при наработке 567 циклов (температура корпуса муфты сцепления  $\approx 65^\circ\text{C}$ )

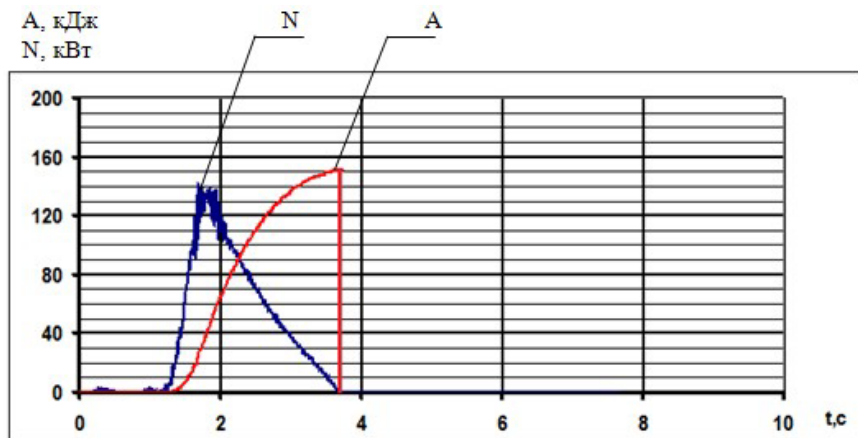


Рис. 4.5. Графики изменения цикловой работы ( $A$ ) и мощности ( $N$ ) трения при включении прогретой муфты сцепления с образцом № 1 ведомого диска с накладками производства ОАО «Фритекс» при наработке 567 циклов (температура корпуса муфты сцепления  $\approx 65^\circ\text{C}$ )



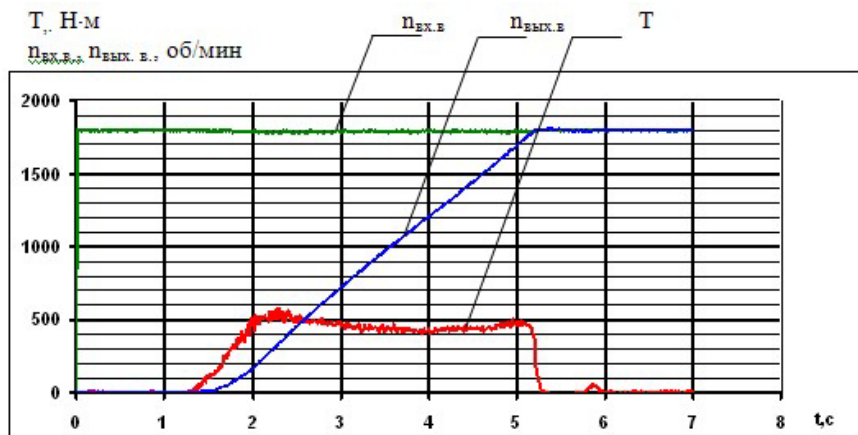


Рис. 4.6. Процесс включения прогретой муфты сцепления с образцом № 1 ведомого диска с накладками производства ОАО «Фритекс» при наработке 9272 циклов (температура корпуса муфты сцепления  $\approx 20^\circ\text{C}$ )

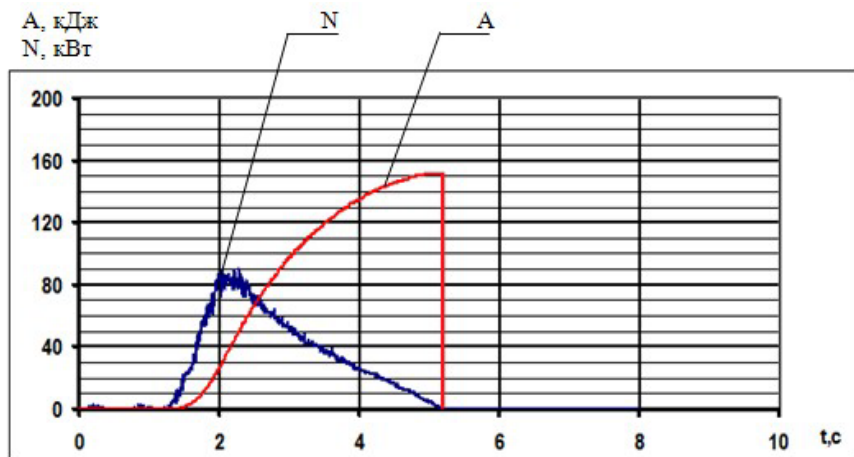


Рис. 4.7. Графики изменения цикловой работы ( $A$ ) и мощности ( $N$ ) трения при включении прогретой муфты сцепления с образцом № 1 ведомого диска с накладками производства ОАО «Фритекс» при наработке 9272 циклов (температура корпуса муфты сцепления  $\approx 20^\circ\text{C}$ )

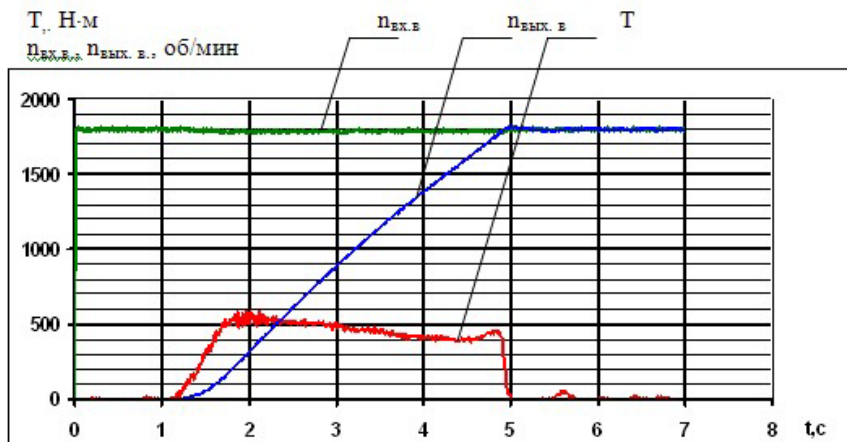


Рис. 4.8. Процесс включения прогретой муфты сцепления с образцом № 1 ведомого диска с накладками производства ОАО «Фритекс» при наработке 9477 циклов (температура корпуса муфты сцепления  $\approx 65^\circ\text{C}$ )

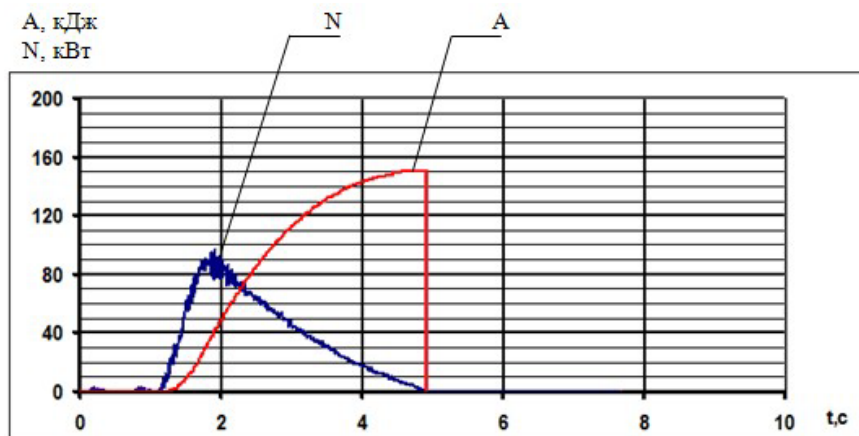


Рис. 4.9. Графики изменения цикловой работы ( $A$ ) и мощности ( $N$ ) трения при включении прогретой муфты сцепления с образцом № 1 ведомого диска с накладками производства ОАО «Фритекс» при наработке 9477 циклов (температура корпуса муфты сцепления  $\approx 65^\circ\text{C}$ )

## **4.2 Методика проведения стендовых испытаний фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач**

### **4.2.1 Объект испытаний**

Объектом испытаний являлась коробка передач с гидроподжимными муфтами. Конструкция коробки передач приведена на рисунке 4.10.

### **4.2.2 Цель испытаний**

Целью испытаний являлась экспериментальное определение на стенде числового значения работы трения фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, соответствующего их предельно допустимому износу, и применение в дальнейшем работы трения в качестве интегрального показателя степени износа фрикционных дисков при бортовом диагностировании технического состояния гидроподжимных муфт коробок передач тракторов.

### **4.2.3 Методика испытаний**

Стендовые испытания проводились в лаборатории КИБ шасси корпуса ускоренных испытаний на стенде с поглощением мощности по программе и методике испытаний № 16392/Б от 20.01.2015 г. Схема стенда приведена на рисунке 4.11.

В качестве привода использовалась балансирная машина 1DS 1036 мощностью 236 кВт. В качестве нагружателя использовался гидротормоз HS-50 с поглощаемой мощностью 250 кВт.

Коробка передач была заправлена маслом М10Г<sub>2</sub> ГОСТ 8581-78.

Измерительная аппаратура, применявшаяся при испытаниях:

– крутящий момент на валу балансирной машины регистрировался с помощью весовой головки ZDI (диапазон измерения от 0 до 1000 Н·м, погрешность измерения  $\pm 25$  Н·м);

– частота вращения вала балансирующей машины регистрировалась с помощью цифрового прибора ХР 1206 А (диапазон измерения от 0 до 4000 об/мин, погрешность измерения  $\pm 20$  об/мин.);

– давление масла в системе управления фрикционами коробки передач замерялось манометром МТП-100 ГОСТ 2405-80, (класс точности 2,5, пределы измерения от 0 до 2,5 МПа);

– давление масла в системе смазки замерялось манометром МТП-160 ГОСТ 2405-80 (класс точности 1,5, пределы измерения от 0 до 1,6 МПа);

– температура рабочих жидкостей в испытуемой и стендовых трансмиссиях замерялась при помощи дистанционного термометра, состоящего из милливольтметра Ш 4501 ГОСТ 9736-91 (пределы измерения от 0 до плюс 300 °С, класс точности 1,5) и хромель-копелевой термопары.

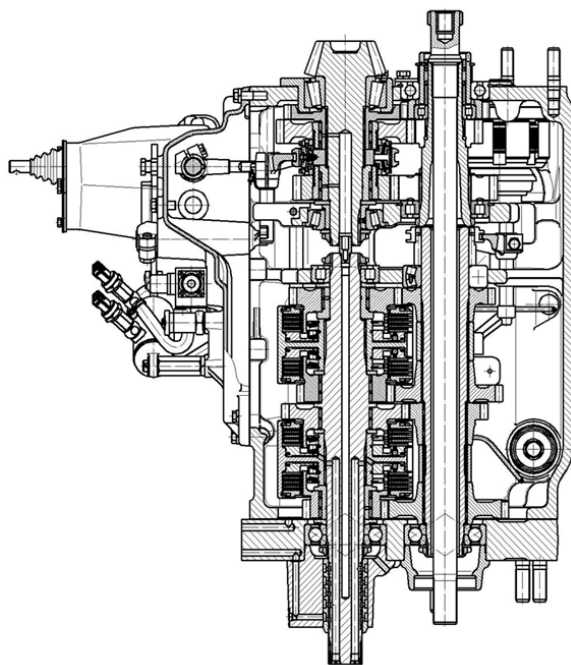


Рис. 4.10. Конструкция коробки передач

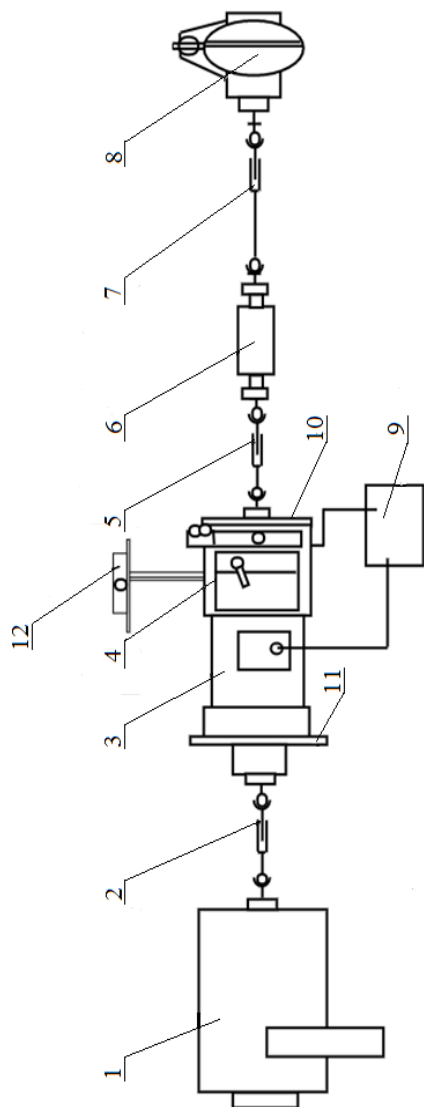


Рис. 4.11. Схема стенда для испытаний коробки передач  
 1 – машина балансирующая; 2, 5, 7 – валы карданные; 3 – корпус муфты сцепления;  
 4 – коробка передач; 6 – датчик вращающего момента; 8 – нагрузочный  
 (тормоз гидравлический); 9 – бак системы охлаждения;  
 10, 11 – стойки задняя и передняя; 12 – пульт управления

При проведении записей процессов переключения передач использовалась следующая аппаратура:

- давления в каналах управления муфтами фрикционных регистрировалось с помощью датчиков давления Р9-НВМ (диапазон измерения 0...5 МПа, класс точности 0,5);

- частоты вращения ведущих и ведомых частей стэнда регистрировались датчиками импульсов ДКП-11;

- крутящий момент на выходном валу коробки передач регистрировался с помощью датчика Т2-5 (номинальный измеряемый крутящий момент 5 кН·м, класс точности 0,2);

- крутящий момент на валу балансирной машины регистрировался с помощью весовой головки ZDI (диапазон измерения от 0 до 1000 Н·м, погрешность измерения  $\pm 25$  Н·м).

При записи параметров использовались усилитель KWS 521 А и контроллер-регистратор в комплекте с персональным компьютером.

Интервал опроса параметров при записи процессов составлял 0,02 с.

Переключение передач осуществлялось пультом управления ПУ-3М, в котором было установлено время задержки для перекрытия передач при переключениях 0,3 с.

Объем испытаний оговаривался заданием на испытания и составлял 30 000 циклов включений.

Испытания представляли собой периодическое переключение в коробке передач с высшей передачи на низшую и обратно на следующих режимах:

- частота вращения вала балансирной машины на установившемся режиме –  $(2100 \pm 20)$  мин<sup>-1</sup>;

- длительность одного цикла –  $(30 \pm 2)$  с;

- длительность фазы цикла, соответствующей работе стэнда на включенной в коробке передач низшей передаче –  $(15 \pm 1)$  с;

- длительность фазы цикла, соответствующей работе стэнда на включенной в коробке передач высшей передаче –  $(15 \pm 1)$  с;

- вращающий момент на валу балансирной машины при включенной в коробке передач высшей (в каждой из схем нагружения) передаче на установившемся режиме – 660...680 Н·м;

- вращающий момент на валу балансирной машины при включенной в коробке передач низшей (в каждой из схем нагружения) передаче на установившемся режиме – 550...600 Н·м;

– давления масла в системе управления фрикционными в коробке передач ( $1,3 \pm 0,5$ ) МПа;

– температура масла в коробке передач не превышала плюс 90 °С.

Статический момент срыва муфты сцепления находился в пределах 1500...1800 Н·м.

После окончания испытаний производилась разборка коробки передач для обмера толщины фрикционных дисков и оценки их состояния.

#### 4.2.4 Результаты испытаний

Коробка передач отработала полный объем испытаний без замечаний, сохранив после испытаний свою работоспособность.

В процессе испытаний были проведены записи осциллограмм (рисунки 4.12–4.17) процессов переключения передач в коробке передач.

Обозначения, используемые на осциллограммах:

–  $p_1, p_2, p_3, p_4$  – давления в каналах управления гидроподжимными муфтами (на выходе из распределителя);

–  $T_{\text{вых. в.}}, T_{\text{б.м.}}$  – вращающий момент на выходном валу коробки передач и на валу балансирной машины соответственно;

–  $n_{\text{т}}, n_{\text{б.м.}}$  – частоты вращения вала тормоза (выходного вала коробки передач) и вала балансирной машины соответственно.

При включении гидроподжимных муфт на стенде на заданных режимах нагружения поглощалась работа трения в пределах 149...150 кДж.

Суммарное значение работы трения за период испытаний (за 30 000 циклов включений) для каждой из четырех гидроподжимных муфт

$$L = 150 \cdot 30\ 000 = 4\ 500\ 000 \text{ кДж.}$$

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 4.2 средний износ ведомых дисков гидродожимных 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.

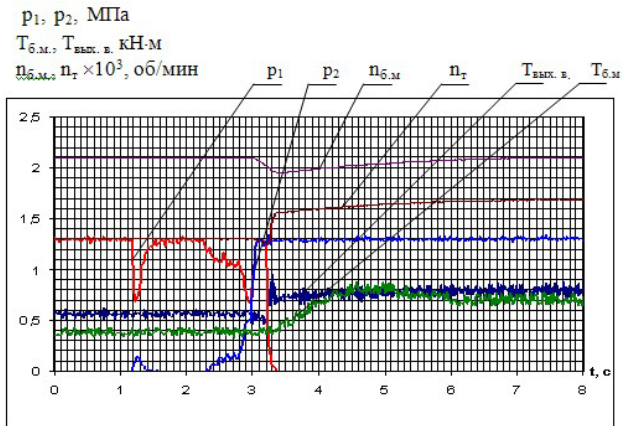


Рис. 4.12. Процесс переключения передач по схеме 1→2

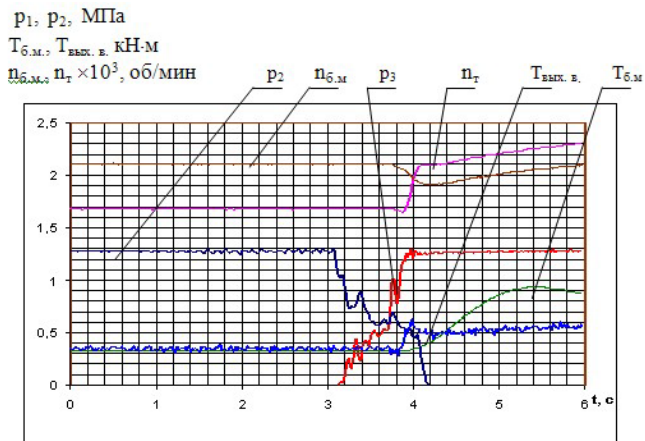


Рис. 4.13. Процесс переключения передач по схеме 2→3



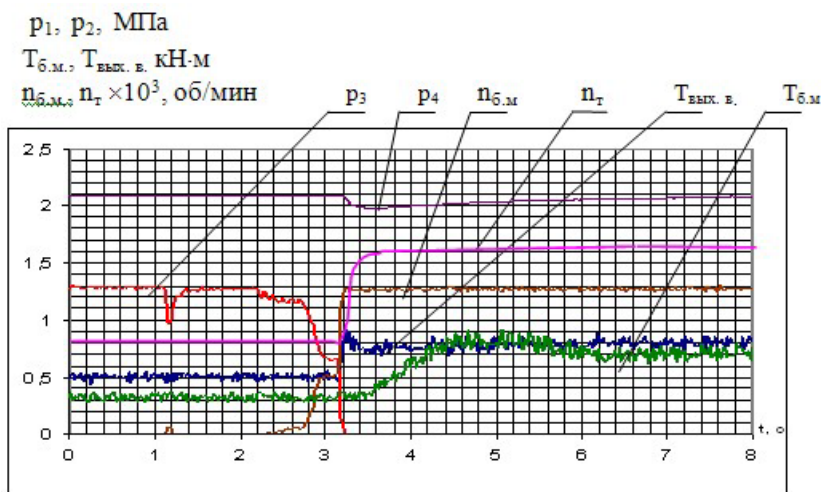


Рис. 4.14. Процесс переключения передач по схеме 3→4

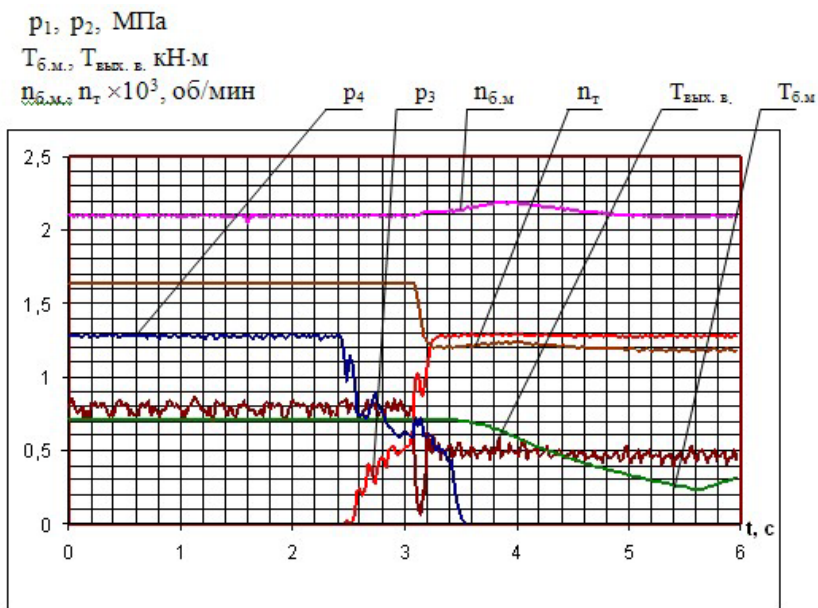


Рис. 4.15. Процесс переключения передач по схеме 4→3

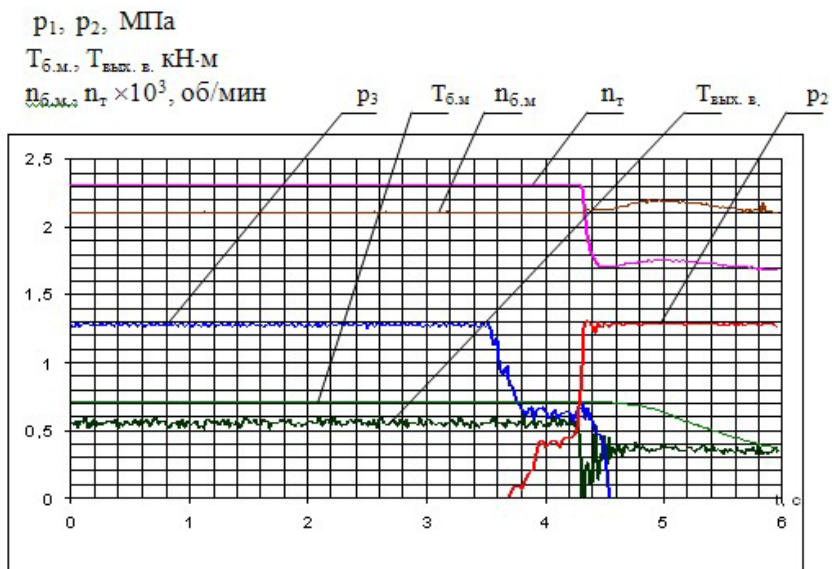


Рис. 4.16. Процесс переключения передач по схеме 3→2

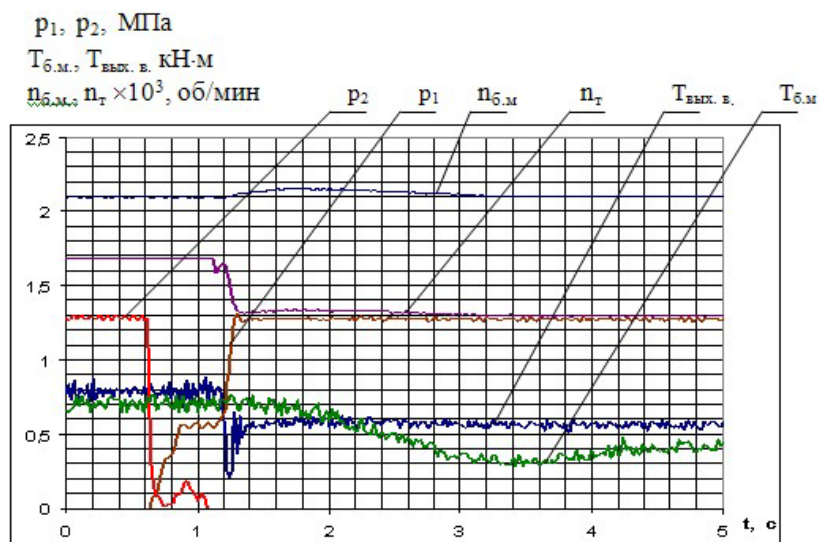


Рис. 4.17. Процесс переключения передач по схеме 2→1

Таблица 4.2. – 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

$$L_1 = L / H_1 = 4\,500\,000 / 0,05 = 90\,000\,000 \text{ кДж/мм};$$

– вторая передача

$$L_2 = L / H_2 = 4\,500\,000 / 0,16 = 28\,125\,000 \text{ кДж/мм};$$

– третья передача

$$L_3 = L / H_3 = 4\,500\,000 / 0,21 = 21\,428\,571 \text{ кДж/мм};$$

– четвертая передача

$$L_4 = L / H_4 = 4\,500\,000 / 0,25 = 18\,000\,000 \text{ кДж/мм}.$$

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

$$L_{01} = L_1 \cdot H_{\max} = 90\,000\,000 \cdot 1,15 = 103\,500\,000 \text{ кДж}$$

– вторая передача

$$L_{02} = L_2 \cdot H_{\max} = 28\,125\,000 \cdot 1,15 = 32\,343\,750 \text{ кДж};$$

– третья передача

$$L_{03} = L_3 \cdot H_{\max} = 21\,428\,571 \cdot 1,15 = 24\,642\,857 \text{ кДж};$$

– четвертая передача

$$L_{04} = L_4 \cdot H_{\max} = 18\,000\,000 \cdot 1,15 = 20\,700\,000 \text{ кДж}.$$

По результатам расчета экономической эффективности от внедрения диагностирования степени износа гидроподжимных муфт коробки передач доказано, что разработка бортовых систем диагностирования степени износа гидроподжимных муфт коробки передач экономически целесообразны.

### **4.3 Мониторинг степени выработки ресурса моторного масла**

#### **4.3.1 Объект испытаний**

Объектом испытаний являлся учебный трактор Беларус-925М (рисунок 4.18) с двигателем Д-245.5S2, принадлежащий учреждению образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», и установленной на нем телематической системой контроля расхода топлива и режимов работы силового агрегата фирмы «Технотон».

На рисунках 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 показано месторасположение компонентов телематической системы на тракторе.



Рис. 4.18. Общий вид объекта испытаний



Рис. 4.19. Месторасположение датчика уровня топлива DUT-E на тракторе



Рис. 4.20. Месторасположение расходомера топлива DFM-100CK на тракторе



Рис. 4.21. Месторасположение терминала послерейсового контроля СКРТ 31 на тракторе



Рис. 4.22. Месторасположение антенны терминала СКРТ 45 обеспечивающего передачу параметров в режиме реального времени

### 4.3.2 Цель испытаний

Целью испытаний являлась проверка возможности определения степени выработки ресурса моторного масла по относительным показателям и суммарному объему израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя Д-245.5S2.

### 4.3.3 Методика испытаний

Испытания проводились на учебном тракторе Беларус-925М с установленной на нем телематической системой контроля расхода топлива и режимов работы силового агрегата, структурно-функциональная схема работы и схема соединений компонентов которой показаны на рисунках 4.23 и 4.24.

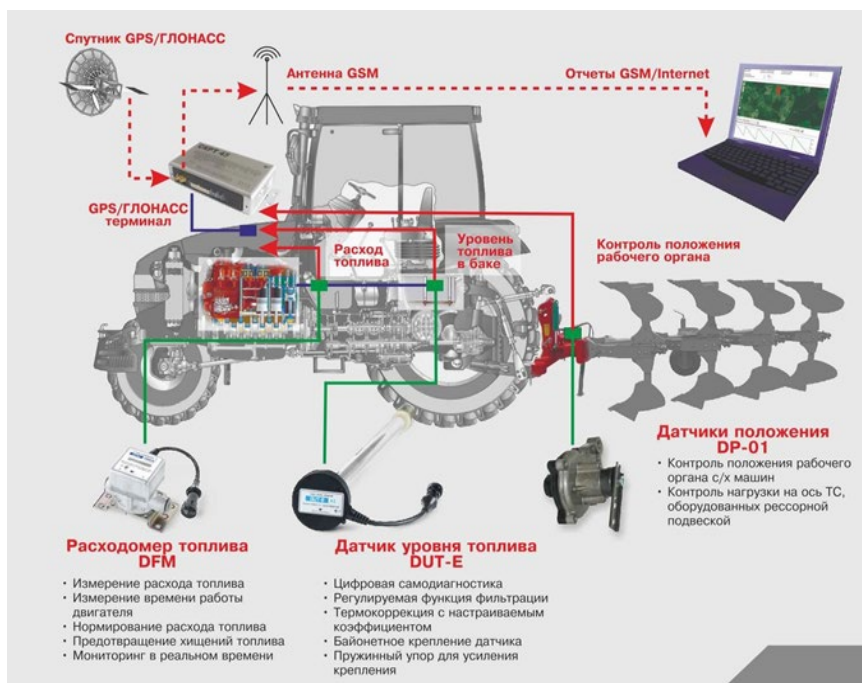


Рис. 4.23. Структурно-функциональная схема телематической системы контроля расхода топлива и режимов работы силового агрегата трактора Беларус-925М



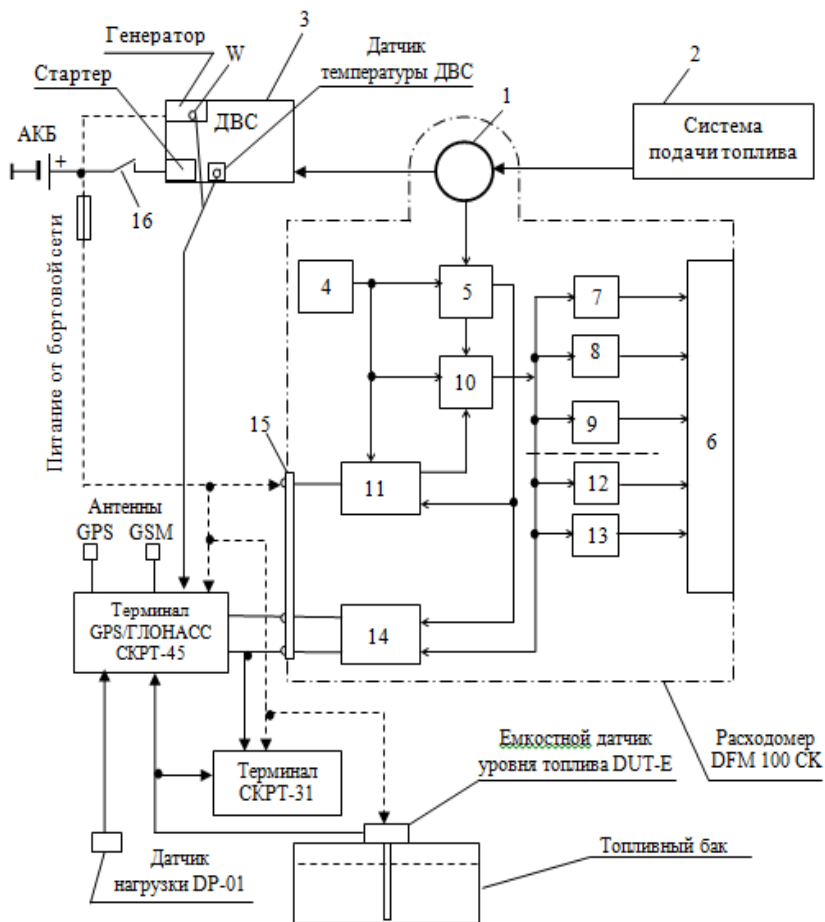


Рис. 4.24. Функциональная схема соединений компонентов телематической системы для проведения исследований

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

#### **4.3.3.1 Принцип работы телематической системы и порядок проведения испытаний**

Согласно рисунка 4.24 информация об уровне и запасе топлива в топливном баке поступает на соответствующие входы Терминалов СКРТ-31 и СКРТ-45 от емкостного датчика DUT-E, а о количестве пусков двигателя, времени его работы и расходе топлива при работе в режимах пуска, холостого хода, номинальной работы и перегрузки – с соответствующих счетчиков 12, 13 и 7, 8, 9 расходомера DFM 100СК [64].

Информация о температуре и оборотах коленчатого вала ДВС поступает на соответствующие входы Терминала GPS/ГЛОНАСС СКРТ-45 от штатного датчика температуры охлаждающей жидкости ДВС и клеммы W генератора.

Координаты местоположения и текущее время, по которым определяются скорость, маршрут и время работы исследуемого объекта в режиме движения, определяются по сигналам «видимых» навигационных спутников группировки GPS/ГЛОНАСС принимаемых антенной GPS, подключенной к Терминалу СКРТ-45.

Беспроводная передача телематической информации в виде сформированных Терминалом СКРТ-45 GPRS-отчетов на удаленную точку доступа (Сервер телематических услуг и/или персональный компьютер) потребителя/оператора-исследователя производится через вторую антенну и сеть GSM. Накопленная информация за квартал или любой произвольно выбранный период (час, день, неделю и т. д.) может быть считана с Сервера телематических услуг зарегистрированным пользователем по специальному паролю через Интернет.

Телематическая система контроля расхода топлива и режимов работы силового агрегата начинала свою работу при включении бортовой сети трактора и пуске двигателя.

Датчик уровня топлива DUT-E определял и передавал терминалам СКРТ-31 и GPS/ГЛОНАСС СКРТ-45 информацию о запасе, повышении или снижении уровня топлива в баке. Погрешность измерения не более 1 %.

Расходомер топлива DFM-100СК измерял, регистрировал, отображал на ЖК-индикаторе и передавал параметры расхода топлива и времени работы дизельного двигателя на различных

режимах терминалам СКРТ-31 и GPS/ГЛОНАСС СКРТ-45. Погрешность измерения не более 1 %.

Терминал СКРТ31 находился на панели приборов трактора и отображал текущую информацию на встроенном дисплее СКРТ31 для визуального контроля оператором-исследователем и/или водителем и одновременно регистрировал текущие параметры времени работы и расхода топлива в различных режимах для послерейсового контроля и анализа.

Терминал GPS/ГЛОНАСС СКРТ45 обеспечивал регистрацию текущих параметров в режиме реального времени с привязкой к координатам местоположения, определяемых спутниковой системой и передачу информации в виде телематических отчетов через сеть GSM на Сервер телематических услуг и далее, через Интернет, на персональный компьютер оператора-исследователя.

Обработка информации и формирование необходимых отчетов на Сервере телематических услуг производились с использованием специального Серверного ПО ORF-MONITOR 2.

Отображение информации на экране монитора персонального компьютера оператора-исследователя и вывод ее на печать производились в виде сводных таблиц и графиков изменения текущих и зарегистрированных параметров в координатах времени за цикл «пуск – работа – останов двигателя» при различных режимах работы или за любой заданный или произвольно выбранный период времени.

В качестве исходных данных для проведения экспериментальных исследований были приняты регламентированный производителем срок замены моторного масла [65] через 250 ч 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.

#### **4.3.4 Результаты испытаний**

Как показывают результаты проведенных исследований (рисунки 4.25, 4.26, 4.27, 4.28), при пуске и работе не прогретого двигателя (рисунок 4.28) трактора Беларусь 925М наблюдается повышенный часовой расход топлива. Это объясняется повышенной вязкостью моторного масла при низкой температуре и, соответственно, необходимостью повышенного расхода энергии сгораемого топлива на преодоление сил трения в плохо смазываемых деталях кривошипно-шатунного механизма и цилиндропоршневой группы. Таким образом, каждый цикл пуска, особенно не прогретого двигателя, сопровождается повышенным износом сопрягаемых деталей из-за плохих условий смазки и, как следствие, более интенсивным снижением качественных характеристик и срока службы моторного масла из-за попадания в него продуктов износа и сгорания.

В результате проведенных испытаний трактора Беларусь-952 находящегося в реальных условиях эксплуатации (рисунки 4.29–4.39), 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».

Из этого следует, что оценку выработки ресурса моторного масла в процессе эксплуатации более целесообразно производить не по времени работы, а по комплексному показателю, учитывающему суммарный расход топлива (характеризующий температурные условия и режимы работы контролируемого объекта) и количество циклов пуска двигателя (рисунок 4.40).

Проанализировав сводные отчеты (рисунки 4.30–4.39) 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 °С) 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 °С), а прогретого (свыше +40 °С) –  $m_2 = 465 - 93 = 372$  пуска.

Проанализировав графики (рисунок 4.27) 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.

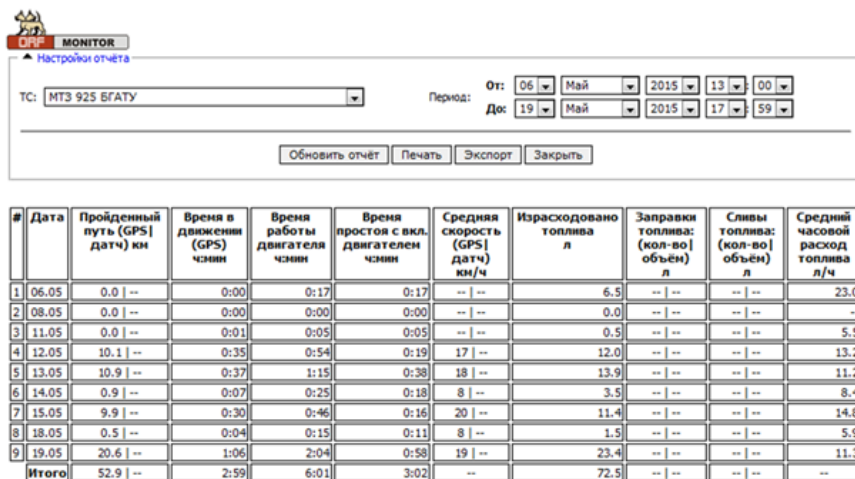


Рис. 4.25. Сводный отчет телематической системы по режимам работы трактора Беларус-925М в начальный период проведения исследований

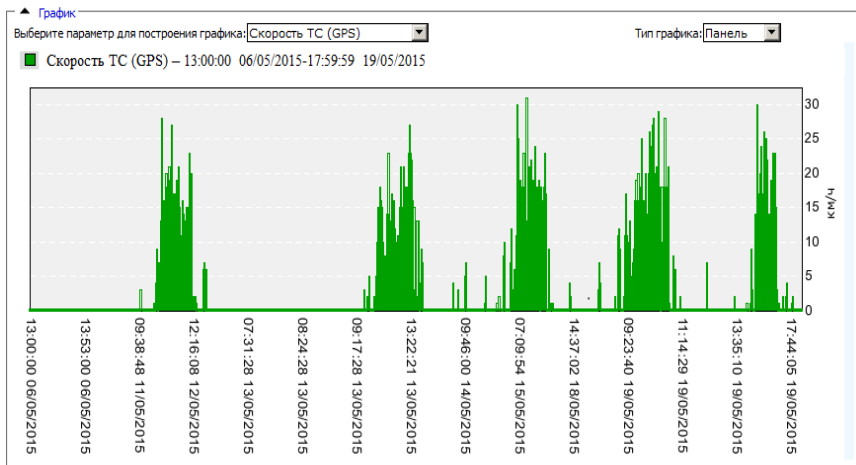
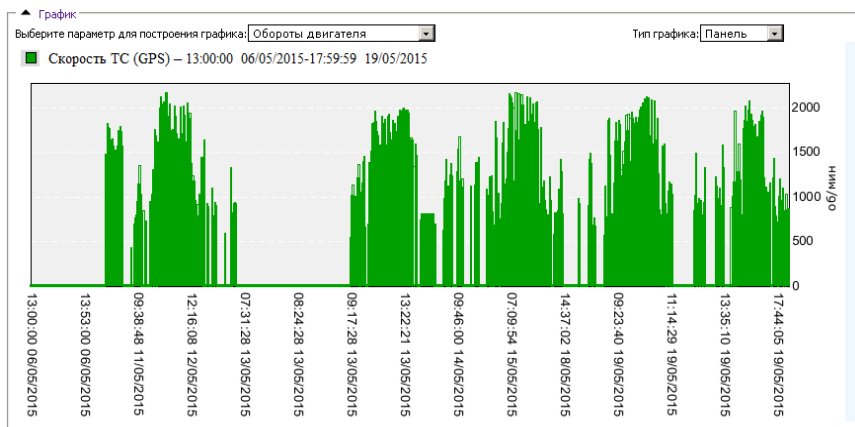
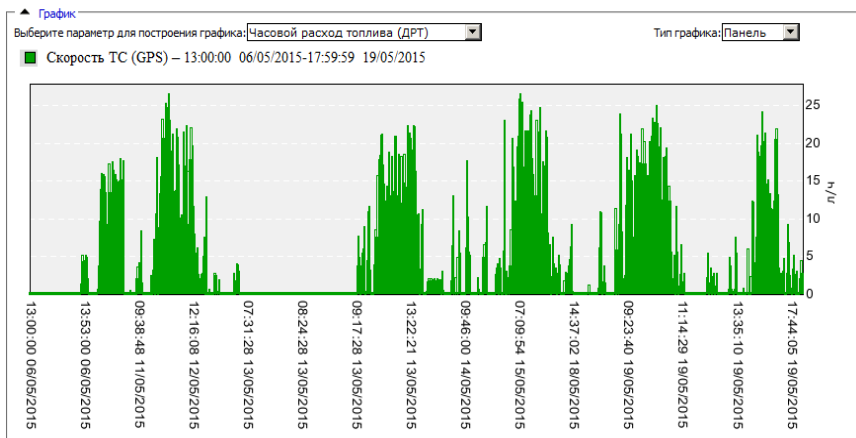


Рис. 4.26. График скорости движения трактора Беларус-925М за указанный начальный период проведения исследований



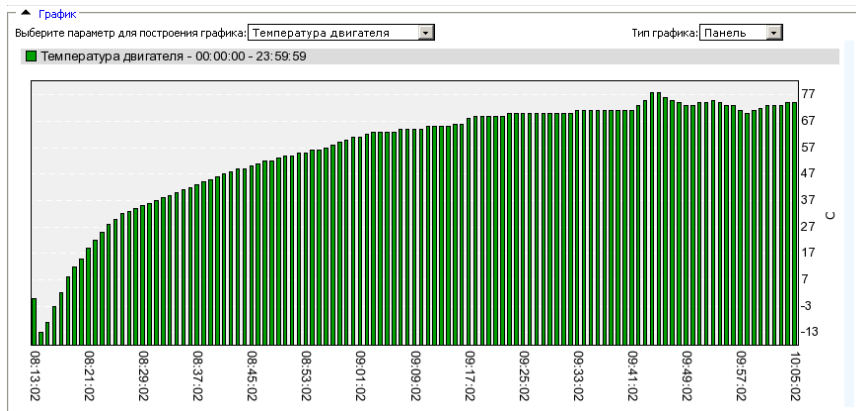
*a*

Рис. 4.27. Зарегистрированные параметры трактора Беларус-925М в виде графиков  
 а – изменения оборотов коленчатого вала двигателя в координатах времени;  
 б – соответствующего изменения среднего часового расхода топлива



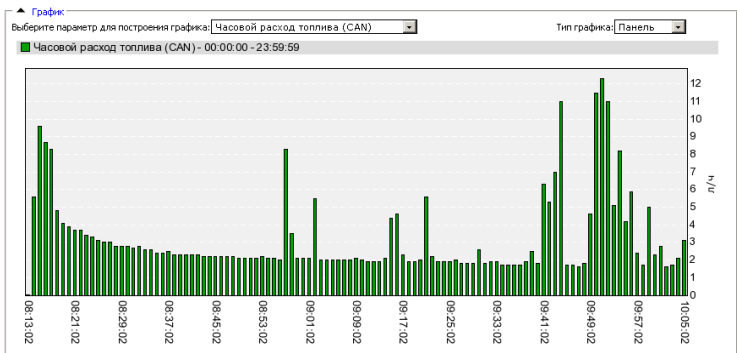
б

Окончание рис. 4.27

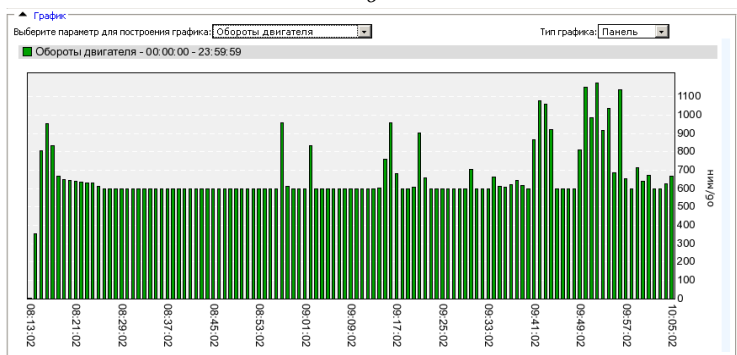


а

Рис. 4.28. Зависимость часового расхода топлива (б) от температуры (а) и оборотов коленчатого вала (в) двигателя трактора Беларус-925М за цикл «пуск – прогрев – работа – останов» при отрицательной температуре наружного воздуха



б



в

Окончание рис. 4.28

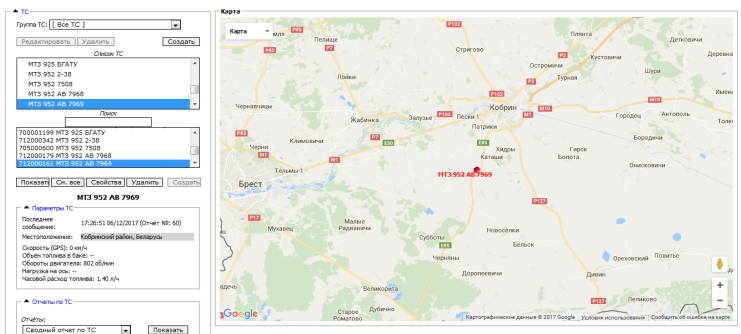


Рис. 4.29. Местоположение подконтрольного трактора Беларус-952 в реальных условиях эксплуатации



Настройки отчета

ТС: МТЗ 952 АВ 7969

Период: От: 10 Август 2017 08 00 До: 25 Август 2017 14 40

Обновить отчет | Печать | Экспорт | Закрыть

#	Дата	Пройденный путь (GPS датч) км	Время в движении (GPS) ч:мин	Время работы двигателя ч:мин	Время простоя с вкл. двигателя ч:мин	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	--   --	--   --	2.9
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
<b>Итого</b>		697.9   --	47:58	86:07	38:09	--	441.5	--   --	--   --	--

Рис. 4.30. Сводный отчет режимов работы подконтрольного трактора Беларус-952 за период между забором первой пробы и забором второй пробы моторного масла

Примечание: Исходные значения щелочного и кислотного числа свежего масла – 7,0 и 2,0 соответственно, залитого в двигатель при его замене. Нарботка двигателя – 00 ч 00 мин. Первая проба. Нарботка двигателя – 86 ч 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 4.40).

Настройки отчета

ТС: МТЗ 952 АВ 7969

Период: От: 25 Август 2017 14 40 До: 04 Сентябрь 2017 10 30

Обновить отчет | Печать | Экспорт | Закрыть

#	Дата	Пройденный путь (GPS датч) км	Время в движении (GPS) ч:мин	Время работы двигателя ч:мин	Время простоя с вкл. двигателя ч:мин	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	25.08	14.0   --	0:49	1:06	0:17	17   --	5.7	--   --	--   --	5.2
2	26.08	74.2   --	5:20	8:46	3:26	14   --	47.2	--   --	--   --	5.4
3	27.08	85.3   --	5:51	10:20	4:29	15   --	53.0	--   --	--   --	5.1
4	28.08	64.8   --	4:38	8:29	3:51	14   --	40.9	--   --	--   --	4.8
5	29.08	100.4   --	6:51	10:20	3:30	15   --	55.9	--   --	--   --	5.4
6	30.08	77.4   --	5:50	9:28	3:38	13   --	49.6	--   --	--   --	5.2
7	31.08	76.7   --	5:20	9:55	4:35	14   --	48.6	--   --	--   --	4.9
8	01.09	82.6   --	5:46	10:50	5:04	14   --	51.5	--   --	--   --	4.7
9	02.09	96.1   --	7:02	10:53	3:51	14   --	56.2	--   --	--   --	5.2
10	03.09	61.0   --	4:22	7:18	2:56	14   --	38.6	--   --	--   --	5.3
11	04.09	39.1   --	2:27	4:35	1:08	16   --	21.2	--   --	--   --	5.9
<b>Итого</b>		771.6   --	54:15	91:01	36:46	--	468.3	--   --	--   --	--

Рис. 4.31. Сводный отчет режимов работы подконтрольного трактора Беларус-952 за период между забором второй и третьей проб моторного масла

Примечание: Нарботка двигателя – 177 ч 08 мин. За это время израсходовано топлива 909,8 л. Третья проба масла. Значения щелочного и кислотного числа после указанной наработки – 5,9 и 2,3 соответственно (рисунок 4.40).

MONITOR  
Настройки отчёта

ТС: МТЗ 952 АВ 7969      Период: От: 04 Сентябрь 2017 10 30 До: 17 Сентябрь 2017 18 10

Обновить отчёт    Печать    Экспорт    Закрыть

#	Дата	Пройденный путь (GPS[датч] км)	Время в движении (GPS) ч:мин	Время работы двигателя ч:мин	Время простоя с вкл. двигателем ч:мин	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	08.09	0.0   --	0:00	0:15	0:15	--   --	0.5	--   --	--   --	1.9
2	09.09	17.3   --	0:58	1:43	0:45	18   --	8.6	--   --	--   --	5.0
3	10.09	83.8   --	6:49	10:45	3:56	12   --	59.1	--   --	--   --	5.5
4	11.09	69.6   --	5:43	9:22	3:39	12   --	49.0	--   --	--   --	5.2
5	12.09	71.9   --	5:24	9:45	4:21	13   --	51.7	--   --	--   --	5.3
6	13.09	71.5   --	5:35	9:41	4:06	13   --	54.2	--   --	--   --	5.6
7	14.09	86.7   --	6:24	9:53	3:29	14   --	53.8	--   --	--   --	5.4
8	15.09	73.8   --	5:14	8:35	3:21	14   --	49.2	--   --	--   --	5.7
9	16.09	76.7   --	5:15	9:42	4:27	15   --	49.1	--   --	--   --	5.1
10	17.09	62.1   --	4:18	8:22	4:05	14   --	43.9	--   --	--   --	5.2
<b>Итого</b>		613.3   --	45:39	78:04	32:24	--	419.2	--   --	--   --	--

Рис. 4.32. Сводный отчет режимов работы подконтрольного трактора Беларус-952 за период между забором третьей и четвертой проб моторного масла

Примечание: Нарботка двигателя – 255 ч 12 мин. За это время израсходовано топлива 1329 л. Четвертая проба масла. Значения щелочного и кислотного числа после указанной наработки – 5,5 и 2,4 соответственно (рисунок 4.40).

▲ Настройки отчёта

ТС: МТЗ 952 АВ 7969

Период: От: 10 Август 2017 08 00  
 До: 17 Сентябрь 2017 18 10

Обновить отчёт Печать Экспорт Закрыть

#	Дата	Пройденный путь (GPS датч) км	Время в движении (GPS) ч:мин	Время работы двигателя ч:мин	Время простоя с вкл. двигателя ч:мин	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	81.2   --	5:50	9:09	3:19	14   --	49.7	--   --	--   --	5.4
16	26.08	74.2   --	5:20	8:46	3:26	14   --	47.2	--   --	--   --	5.4
17	27.08	85.3   --	5:51	10:20	4:29	15   --	53.0	--   --	--   --	5.1
18	28.08	64.8   --	4:38	8:29	3:51	14   --	40.9	--   --	--   --	4.8
19	29.08	100.4   --	6:51	10:20	3:30	15   --	55.9	--   --	--   --	5.4
20	30.08	77.4   --	5:50	9:28	3:38	13   --	49.6	--   --	--   --	5.2
21	31.08	76.7   --	5:20	9:55	4:35	14   --	48.6	--   --	--   --	4.9
22	01.09	82.6   --	5:46	10:50	5:04	14   --	51.5	--   --	--   --	4.7
23	02.09	96.1   --	7:02	10:53	3:51	14   --	56.2	--   --	--   --	5.2
24	03.09	61.0   --	4:22	7:18	2:56	14   --	38.6	--   --	--   --	5.3
25	04.09	39.1   --	2:27	3:35	1:08	16   --	21.2	--   --	--   --	5.9
26	08.09	0.0   --	0:00	0:15	0:15	--   --	0.5	--   --	--   --	1.9
27	09.09	17.3   --	0:58	1:43	0:45	18   --	8.6	--   --	--   --	5.0
28	10.09	83.8   --	6:49	10:45	3:56	12   --	59.1	--   --	--   --	5.5
29	11.09	69.6   --	5:43	9:22	3:39	12   --	49.0	--   --	--   --	5.2
30	12.09	71.9   --	5:24	9:45	4:21	13   --	51.7	--   --	--   --	5.3
31	13.09	71.5   --	5:35	9:41	4:06	13   --	54.2	--   --	--   --	5.6
32	14.09	86.7   --	6:24	9:53	3:29	14   --	53.8	--   --	--   --	5.4
33	15.09	73.8   --	5:14	8:35	3:21	14   --	49.2	--   --	--   --	5.7
34	16.09	76.7   --	5:15	9:42	4:27	15   --	49.1	--   --	--   --	5.1
35	17.09	62.1   --	4:18	8:22	4:05	14   --	43.9	--   --	--   --	5.2
Итого	2082.9   --	147:52	255:11	107:19	--	--	1329.0	--   --	--   --	--

Рис. 4.33. Сводный отчет режимов работы подконтрольного трактора Беларус-952 за период между свежее залитым маслом (первая проба) и забором четвертой пробы моторного масла

Примечание: Нароботка двигателя – 255 ч 12 мин. За это время израсходовано топлива 1329 л. Четвертая проба масла. Значения щелочного и кислотного числа после указанной наработки – 5,5 и 2,4 соответственно (рисунки 4.40).

MONITOR  
 ▲ Настройки отчёта

ТС: МТЗ 952 АВ 7969

Период: От: 17 | Сентябрь | 2017 | 18 | 10 |  
 До: 27 | Сентябрь | 2017 | 14 | 15 |

Обновить отчёт | Печать | Экспорт | Закрыть

#	Дата	Пройденный путь (GPS датч) км	Время в движении (GPS) ч:мин	Время работы двигателя ч:мин	Время простоя с вкл. двигателем ч:мин	Средняя скорость (GPS датч) км/ч	Израсходовано топлива л	Заправки топлива: (кол-во объём) л	Сливы топлива: (кол-во объём) л	Средний часовой расход топлива л/ч
1	18.09	96.3   --	6:59	10:53	3:55	14   --	65.1	--   --	--   --	6.0
2	19.09	68.3   --	5:14	8:38	3:24	13   --	46.5	--   --	--   --	5.4
3	20.09	62.0   --	4:16	9:15	4:59	15   --	47.1	--   --	--   --	5.1
4	21.09	66.3   --	4:57	9:45	4:48	13   --	50.9	--   --	--   --	5.2
5	22.09	85.6   --	6:16	11:20	5:04	14   --	57.6	--   --	--   --	5.1
6	23.09	86.3   --	6:10	10:10	3:59	14   --	53.0	--   --	--   --	5.2
7	24.09	61.6   --	4:52	8:03	3:10	13   --	40.3	--   --	--   --	5.0
8	25.09	16.9   --	0:56	1:17	0:21	18   --	6.2	--   --	--   --	4.8
9	26.09	62.3   --	4:34	9:34	5:00	14   --	43.5	--   --	--   --	4.6
10	27.09	31.3   --	3:02	6:42	3:40	10   --	32.3	--   --	--   --	4.8
<b>Итого</b>		636.8   --	47:15	85:36	38:22	--	442.6	--   --	--   --	--

Рис. 4.34. Сводный отчет режимов работы подконтрольного трактора Беларус-952 за период между забором четвертой и пятой проб моторного масла

Примечание: Нароботка двигателя – 340 ч 48 мин. За это время израсходовано топлива 1771,6 л. Пятая проба масла. Значения щелочного и кислотного числа после указанной наработки – 5,1 и 2,5 соответственно (рисунок 4.40).

MONITOR  
 ▲ Настройки отчёта

ТС: МТЗ 952 АВ 7969

Период: От: 27 | Сентябрь | 2017 | 14 | 15 |  
 До: 06 | Октябрь | 2017 | 10 | 20 |

Обновить отчёт | Печать | Экспорт | Закрыть

#	Дата	Пройденный путь (GPS датч) км	Время в движении (GPS) ч:мин	Время работы двигателя ч:мин	Время простоя с вкл. двигателем ч:мин	Средняя скорость (GPS датч) км/ч	Израсходовано топлива л	Заправки топлива: (кол-во объём) л	Сливы топлива: (кол-во объём) л	Средний часовой расход топлива л/ч
1	27.09	20.0   --	1:27	2:27	1:00	14   --	11.7	--   --	--   --	4.8
2	28.09	84.3   --	6:42	10:56	4:14	13   --	55.4	--   --	--   --	5.1
3	29.09	87.5   --	6:49	11:10	4:22	13   --	57.4	--   --	--   --	5.1
4	30.09	75.2   --	5:16	10:18	5:02	14   --	52.1	--   --	--   --	5.1
5	01.10	73.2   --	5:11	9:42	4:30	14   --	51.3	--   --	--   --	5.3
6	02.10	86.0   --	6:22	10:44	4:22	13   --	55.0	--   --	--   --	5.1
7	03.10	65.9   --	5:06	8:45	3:39	13   --	43.9	--   --	--   --	5.0
8	04.10	84.8   --	5:40	10:40	5:00	15   --	54.4	--   --	--   --	5.1
9	05.10	72.5   --	4:50	9:44	4:54	15   --	49.9	--   --	--   --	5.1
10	06.10	21.0   --	2:19	5:24	3:04	9   --	25.6	--   --	--   --	4.8
<b>Итого</b>		670.3   --	49:42	89:48	40:07	--	456.8	--   --	--   --	--

Рис. 4.35. Сводный отчет режимов работы подконтрольного трактора Беларус-952 за период между забором пятой и шестой проб моторного масла

Примечание: Нарботка двигателя – 430 ч 36 мин. За это время израсходовано топлива 2228,4 л. Шестая проба масла. Значения щелочного и кислотного числа после указанной наработки – 4,5 и 2,6 соответственно (рисунок 4.40).

**MONITOR**  
 ▲ Настройки отчёта

ТС: МТЗ 952 АВ 7969      Период: От: 06 Октябрь 2017 10:20 До: 17 Октябрь 2017 14:00

Обновить отчёт | Печать | Экспорт | Закрыть

#	Дата	Пройденный путь (GPS датч) км	Время в движении (GPS) ч:мин	Время работы двигателя ч:мин	Время простоя с вкл. двигателем ч:мин	Средняя скорость (GPS датч) км/ч	Израсходовано топлива л	Заправки топлива: (кол-во объём) л	Сливы топлива: (кол-во объём) л	Средний часовой расход топлива л/ч
1	06.10	41.6   --	2:47	4:04	1:17	15   --	21.8	--   --	--   --	5.4
2	07.10	70.1   --	5:51	9:42	3:50	12   --	48.8	--   --	--   --	5.0
3	08.10	63.6   --	4:56	9:30	4:34	13   --	47.4	--   --	--   --	5.0
4	09.10	48.7   --	3:53	8:58	5:05	13   --	43.3	--   --	--   --	4.8
5	10.10	59.9   --	4:55	9:47	4:52	12   --	45.6	--   --	--   --	4.7
6	11.10	57.7   --	4:32	8:33	4:01	13   --	43.6	--   --	--   --	5.1
7	12.10	69.2   --	5:36	10:48	5:12	12   --	49.3	--   --	--   --	4.6
8	13.10	63.3   --	5:07	8:38	3:31	12   --	45.0	--   --	--   --	5.2
9	14.10	10.5   --	0:48	1:36	0:49	13   --	6.4	--   --	--   --	4.0
10	16.10	58.4   --	4:36	8:22	3:46	13   --	42.2	--   --	--   --	5.0
11	17.10	19.0   --	2:06	5:15	3:10	9   --	22.4	--   --	--   --	4.3
<b>Итого</b>	562.0   --	45:06	85:14	40:08	--	416.0	--   --	--   --	--	

Рис. 4.36. Сводный отчет режимов работы подконтрольного трактора Беларус-952 за период между забором шестой и седьмой проб моторного масла

Примечание: Нарботка двигателя – 515 ч 50 мин. За это время израсходовано топлива 2644,4 л. Седьмая проба масла. Значения щелочного и кислотного числа после указанной наработки – 4,2 и 2,7 соответственно (рисунок 4.40).

**MONITOR**  
 Настройки отчета

ТС: МТЗ 952 АВ 7969

Период: От: 17 Сентябрь 2017 18 10  
 До: 17 Октябрь 2017 14 00

Обновить отчет Печать Экспорт Закрыть

#	Дата	Пройденный путь (GPS датч) км	Время в движении (GPS) ч:мин	Время работы двигателя ч:мин	Время простоя с вкл. двигателем ч:мин	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	18.09	96.3   --	6:59	10:53	3:55	14   --	65.1	--   --	--   --	6.0
2	19.09	68.3   --	5:14	8:38	3:24	13   --	46.5	--   --	--   --	5.4
3	20.09	62.0   --	4:16	9:15	4:59	15   --	47.1	--   --	--   --	5.1
4	21.09	66.3   --	4:57	9:45	4:48	13   --	50.9	--   --	--   --	5.2
5	22.09	85.6   --	6:16	11:20	5:04	14   --	57.6	--   --	--   --	5.1
6	23.09	86.3   --	6:10	10:10	3:59	14   --	53.0	--   --	--   --	5.2
7	24.09	61.6   --	4:52	8:03	3:10	13   --	40.3	--   --	--   --	5.0
8	25.09	16.9   --	0:56	1:17	0:21	18   --	6.2	--   --	--   --	4.8
9	26.09	62.3   --	4:34	9:34	5:00	14   --	43.5	--   --	--   --	4.6
10	27.09	51.3   --	4:29	9:09	4:40	11   --	44.0	--   --	--   --	4.8
11	28.09	84.3   --	6:42	10:56	4:14	13   --	55.4	--   --	--   --	5.1
12	29.09	87.5   --	6:49	11:10	4:22	13   --	57.4	--   --	--   --	5.1
13	30.09	75.2   --	5:16	10:18	5:02	14   --	52.1	--   --	--   --	5.1
14	01.10	73.2   --	5:11	9:42	4:30	14   --	51.3	--   --	--   --	5.3
15	02.10	86.0   --	6:22	10:44	4:22	13   --	55.0	--   --	--   --	5.1
16	03.10	65.9   --	5:06	8:45	3:39	13   --	43.9	--   --	--   --	5.0
17	04.10	84.8   --	5:40	10:40	5:00	15   --	54.4	--   --	--   --	5.1
18	05.10	72.5   --	4:50	9:44	4:54	15   --	49.9	--   --	--   --	5.1
19	06.10	62.6   --	5:06	9:27	4:21	12   --	47.5	--   --	--   --	5.0
20	07.10	70.1   --	5:51	9:42	3:50	12   --	48.8	--   --	--   --	5.0
21	08.10	63.6   --	4:56	9:30	4:34	13   --	47.4	--   --	--   --	5.0
22	09.10	48.7   --	3:53	8:58	5:05	13   --	43.3	--   --	--   --	4.8
23	10.10	59.9   --	4:55	9:47	4:52	12   --	45.6	--   --	--   --	4.7
24	11.10	57.7   --	4:32	8:33	4:01	13   --	43.6	--   --	--   --	5.1
25	12.10	69.2   --	5:36	10:48	5:12	12   --	49.3	--   --	--   --	4.6
26	13.10	63.3   --	5:07	8:38	3:31	12   --	45.0	--   --	--   --	5.2
27	14.10	10.5   --	0:48	1:36	0:49	13   --	6.4	--   --	--   --	4.0
28	16.10	58.4   --	4:36	8:22	3:46	13   --	42.2	--   --	--   --	5.0
29	17.10	19.0   --	2:06	5:15	3:10	9   --	22.4	--   --	--   --	4.3
Итого		1869.2   --	142:02	260:38	118:36	--	1315.4	--   --	--   --	--

Рис. 4.37. Сводный отчет режимов работы подконтрольного трактора Беларус-952 за период между забором четвертой и седьмой проб моторного масла

Примечание: Нароботка двигателя – 515 ч 50 мин. За это время израсходовано топлива 2644,4 л. Седьмая проба масла. Значения щелочного и кислотного числа после указанной наработки – 4,2 и 2,7 соответственно (рисунок 4.40).

**MONITOR**  
 ▲ Настройки отчёта

ТС: МТЗ 952 АВ 7969

Период: От: 17 Октябрь 2017 14 00  
 До: 11 Ноябрь 2017 08 15

Обновить отчет Печать Экспорт Закрыть

#	Дата	Пройденный путь (GPS) датч км	Время в движении (GPS) ч:мин	Время работы двигателя ч:мин	Время простоя с вкл. двигателя ч:мин	Средняя скорость (GPS) датч км/ч	Израсходовано топлива л	Заправки топлива: (кол-во   объём) л	Сливы топлива: (кол-во   объём) л	Средний часовой расход топлива л/ч
1	17.10	27.4   --	1:38	2:24	0:46	17   --	12.9	--   --	--   --	5.4
2	18.10	55.0   --	4:06	8:14	4:08	13   --	38.3	--   --	--   --	4.7
3	19.10	67.2   --	4:04	7:52	3:47	16   --	38.7	--   --	--   --	4.9
4	21.10	0.1   --	0:01	0:02	0:01	--   --	0.2	--   --	--   --	--
5	22.10	44.6   --	3:27	8:10	4:43	13   --	39.1	--   --	--   --	4.8
6	23.10	62.3   --	4:38	10:00	5:23	13   --	47.1	--   --	--   --	4.7
7	24.10	0.2   --	0:03	0:09	0:07	--   --	0.6	--   --	--   --	4.3
8	26.10	0.3   --	0:03	0:24	0:19	4   --	1.3	--   --	--   --	3.2
9	27.10	0.2   --	0:04	0:20	0:16	3   --	1.1	--   --	--   --	3.2
10	30.10	0.5   --	0:07	0:37	0:30	4   --	2.2	--   --	--   --	3.6
11	02.11	0.4   --	0:04	0:20	0:16	6   --	1.1	--   --	--   --	3.3
12	04.11	57.5   --	4:28	8:55	4:26	13   --	43.8	--   --	--   --	4.9
13	05.11	58.7   --	4:24	11:39	7:16	13   --	48.7	--   --	--   --	4.2
14	08.11	60.3   --	4:29	11:45	7:16	13   --	50.4	--   --	--   --	4.3
15	09.11	55.3   --	4:00	11:37	7:38	14   --	46.4	--   --	--   --	4.0
16	10.11	0.1   --	0:01	0:04	0:03	--   --	0.4	--   --	--   --	5.9
17	11.11	8.1   --	0:49	1:47	0:58	10   --	8.5	--   --	--   --	5.3
<b>Итого</b>	<b>498.1   --</b>	<b>36:27</b>	<b>84:20</b>	<b>47:53</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>381.9</b>	<b>--   --</b>	<b>--   --</b>	<b>--</b>

Рис. 4.38. Сводный отчет режимов работы подконтрольного трактора Беларус-952 за период между забором седьмой и восьмой проб моторного масла

Примечание: Нароботка двигателя – 600 ч 10 мин. За это время израсходовано топлива 3026, 3 л. Восьмая проба масла. Значения щелочного и кислотного числа после указанной наработки – 3,6 и 2,8 соответственно (рисунок 4.40).

**MONITOR**  
 ▲ Настройки отчёта

ТС: МТЗ 952 АВ 7969

Период: От: 11 Ноябрь 2017 08 15  
 До: 04 Декабрь 2017 10 20

Обновить отчет Печать Экспорт Закрыть

#	Дата	Пройденный путь (GPS) датч км	Время в движении (GPS) ч:мин	Время работы двигателя ч:мин	Время простоя с вкл. двигателя ч:мин	Средняя скорость (GPS) датч км/ч	Израсходовано топлива л	Заправки топлива: (кол-во   объём) л	Сливы топлива: (кол-во   объём) л	Средний часовой расход топлива л/ч
1	11.11	47.0   --	3:10	5:57	2:47	15   --	31.7	--   --	--   --	5.3
2	12.11	59.6   --	4:16	8:43	4:27	14   --	44.4	--   --	--   --	5.1
3	13.11	0.0   --	0:00	0:00	0:00	--   --	0.0	--   --	--   --	--
4	15.11	56.7   --	4:11	8:23	4:12	14   --	44.4	--   --	--   --	5.3
5	16.11	60.6   --	4:29	9:05	4:36	14   --	44.4	--   --	--   --	4.9
6	18.11	42.7   --	3:15	7:56	4:41	13   --	36.1	--   --	--   --	4.6
7	19.11	54.9   --	4:08	10:46	6:38	13   --	45.2	--   --	--   --	4.2
8	20.11	57.2   --	4:07	9:58	5:51	14   --	43.0	--   --	--   --	4.3
9	24.11	0.0   --	0:00	0:00	0:00	--   --	0.0	--   --	--   --	--
10	30.11	0.0   --	0:00	0:01	0:01	--   --	0.0	--   --	--   --	--
11	02.12	46.4   --	3:51	8:58	5:07	12   --	41.4	--   --	--   --	4.6
12	03.12	64.5   --	4:29	11:55	7:26	14   --	47.7	--   --	--   --	4.0
13	04.12	14.6   --	1:38	4:09	2:31	9   --	20.4	--   --	--   --	4.9
<b>Итого</b>	<b>504.3   --</b>	<b>37:34</b>	<b>85:51</b>	<b>48:17</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>398.7</b>	<b>--   --</b>	<b>--   --</b>	<b>--</b>

Рис. 4.39. Сводный отчет режимов работы подконтрольного трактора Беларус-952 за период между забором восьмой и девятой проб моторного масла

Примечание: Нароботка двигателя – 686 ч 01 мин. За это время израсходовано топлива 3425 л. Девятая проба масла. Значения щелочного и кислотного числа после указанной наработки – 2,4 и 3,2 соответственно. То есть резкое падение щелочного числа за последний период работы 85 ч 51 мин двигателя со значения 3,6 до 2,4 и возрастание кислотного числа со значения 2,8 до 3,2 (рисунок 4.40) – признак снижения качественных свойств работающего моторного масла.

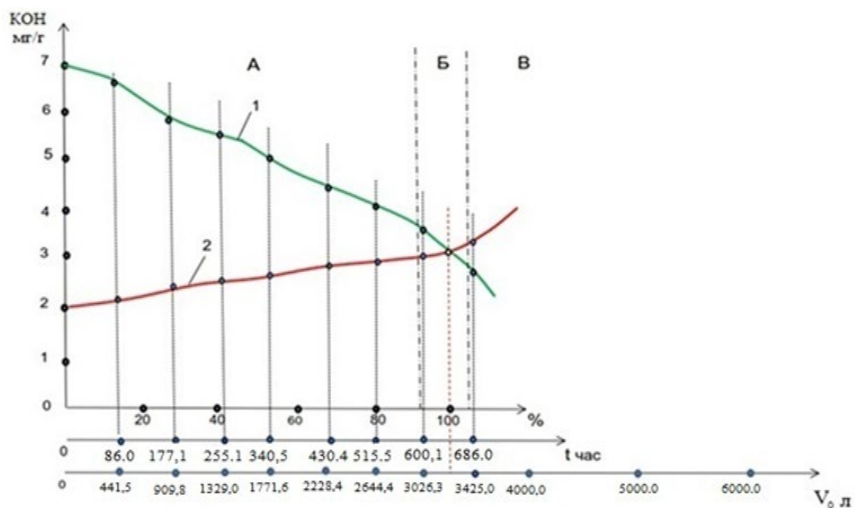


Рис. 4.40. Динамика изменения показателей работающего моторного масла марки М14Г<sub>2</sub>

1 – щелочное число; 2 – кислотное число; А – эффективная работа масла; Б – диапазон замены масла; В – интенсивное старение масла

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:



$$V_0 = \frac{G \cdot t}{\rho} = \frac{19,44 \cdot 250}{0,84} = 5785,7 \text{ л} , \quad (4.1)$$

где  $G$  – часовой расход топлива, кг/ч;

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

$\rho$  – плотность топлива, г/см<sup>3</sup>.

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

$$G = \frac{g_e \cdot N_e}{10^3} = \frac{240 \cdot 81}{1000} = 19,44 \text{ кг/ч} \quad (4.2)$$

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, учитывающему суммарный расход топлива (характеризующий температурные условия и режимы работы контролируемого объекта) и количество циклов пуска двигателя

$$\Delta = \left( \frac{\sum_{p=1}^n V_p}{V_0} + m_1 \cdot \kappa_1 + m_2 \cdot \kappa_2 \right) \cdot 100 \% = \quad (4.3)$$

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

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 4.1);

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

$\kappa_1$ ,  $\kappa_2$  – коэффициенты выработки ресурса моторного масла при пуске двигателя не прогретого (до  $+40$  °С) и прогретого (свыше  $+40$  °С) соответственно.

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 4.40).

## Выводы

В результате проведенных стендовых испытаний ведомого диска сцепления, экспериментальным путем определено пороговое значение работы трения фрикционных накладок ( $L_0 = 1\,293\,127$  кДж), соответствующее их предельно допустимому износу, позволяющее прогнозировать выработку ресурса фрикционных накладок ведомого диска сцепления используя при этом работу трения как интегральный показатель.

В результате проведенных стендовых испытаний гидроподжимных муфт коробки передач, экспериментальным путем определены пороговые значения работ трения фрикционных дисков для каждой передачи (первая передача –  $L_{01} = 103\,500\,000$  кДж; вторая передача –  $L_{02} = 32\,343\,750$  кДж; третья передача –  $L_{03} = 24\,642\,857$  кДж; четвертая передача –  $L_{04} = 20\,700\,000$  кДж), соответствующие их предельно допустимым износам, позволяющие прогнозировать выработку ресурса фрикционных дисков

гидроподжимных муфт коробки передач используя при этом интегральный показатель работы трения.

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.

В результате проведенных экспериментальных исследований колесного трактора, находящегося в реальных условиях эксплуатации, определены коэффициенты выработки ресурса моторного масла марки М14Г2:

$k_1 = 0,001$  – при пуске двигателя не прогретого (до  $+40$  °С);

$k_2 = 0,0009$  – при пуске двигателя прогретого (свыше  $+40$  °С).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты

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 [67, 70, 76, 79].

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 [70, 75, 83, 84].

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 преждевремен-

ном обслуживании [66, 67, 69, 70, 71, 73, 77, 80, 82]. 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 ( $L_0 = 1\,293\,127$  кДж), соответствующее их предельно допустимому износу, позволяющее прогнозировать выработку ресурса фрикционных накладок ведомого диска сцепления используя при этом работу трения как интегральный показатель [70].

5. В результате проведенных стендовых испытаний гидроподжимных муфт коробки передач, экспериментальным путем определены пороговые значения работ трения фрикционных дисков для каждой передачи (первая передача –  $L_{01} = 103\,500\,000$  кДж; вторая передача –  $L_{02} = 32\,343\,750$  кДж; третья передача –  $L_{03} = 24\,642\,857$  кДж; четвертая передача –  $L_{04} = 20\,700\,000$  кДж), соответствующие их предельно допустимым износам, позволяющие прогнозировать выработку ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач используя при этом интегральный показатель работы трения [66, 69, 77, 80].

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 [67, 76, 79].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технические средства диагностирования : справочник / В. В. Клюев [и др.] ; под общ. ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 1989. – 672 с.
2. Каба, И. В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей / И. В. Каба. – М. : Транспорт, 1980. – 247 с.
3. Волков, А. А. О методах идентификации и диагностики в сложных системах / А. А. Волков, Л. Н. Дроботенко // Вопросы технической диагностики. – Таганрог. – 2013. – № 10. – С. 155–156.
4. Павлов, Б. В. Кибернетические методы технического диагноза / Б. В. Павлов. – М. : Машиностроение, 1986. – 151 с.
5. Мороз, С. М. Математическая модель объекта бортового контроля и диагностики автомобилей / С. М. Мороз. – Тр. МАДИ, 1976. – Вып. 115. – С. 79–81.
6. Карпиевич, Ю. Д. Теоретические основы создания систем бортового диагностирования тормозов автомобилей : дис. ... д-ра техн. наук / Ю. Д. Карпиевич. – Минск, 2004. – 310 л.
7. Ротенберг, Р. В. Основы надежности системы водитель – автомобиль – дорога – среда / Р. В. Ротенберг [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 216 с.
8. Авдонькин, Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей : учебник для вузов / Ф. Н. Авдонькин. – М. : Транспорт, 1985. – 215 с.
9. Говорущенко, Н. Я. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов / Н. Я. Говорущенко. – Харьков : Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. – 312 с.
10. Таранцев, Б. И. Встроенные системы контроля и диагностирования современных автомобилей : обзор / Б. И. Таранцев. – Рига : ЛатНИИНТИ, 1982. – 52 с.
11. Автомобильная промышленность США. – М. : Машиностроение, 1976–2010.
12. Автомобильный транспорт. – М. : Машиностроение, 1976–1986.
13. Конструкции зарубежных грузовых автомобилей выпуска 1980–2010 / Ежегодный обзор. – М. : НИИ Навтопром.
14. Nutzfahrzeug-Automatikgetriebe mit Selbstkontrolle // Kraft-hand. – 2009. – Vol. 58. – № 23. – P. 1914–1916.

15. On-board condition monitoring / E. Zuckmantel, C. Jones, D. Chew, J. Lawton // *Automotive Engineer.* – 2005. – Vol. 10. – P. 36–41.
16. Olcon, A. G. Beyond Simple Measurements: On-board Monitor for Vehicle Prognosis / A. G. Olcon, S. C. Hadden // *Instrumentation in the Aerospace Industry Advances in test. Measurement.* – 2010. – Vol. 26. – № 1. – P. 271–280.
17. Soliman, G. I. Vehicle Management Systems / G. I. Soliman // *ISATA – 2010 : International Symposium on Automotive Technology and Automation.* – 2010. – P. 119–149.
18. Богдан, Н. В. Применение микропроцессорной техники в автотракторостроении / Н. В. Богдан. – Минск : Ураджай, 1987. – 56 с.
19. Бортовые системы диагностирования легковых автомобилей. – М. : ЦНИИТЭИавтопром, 1998. – 32 с. – (Обзорная информация).
20. Микропроцессоры : в 3-х кн. Архитектура и проектирование микроЭВМ. Организация вычислительных процессов : учебник для вузов / П. В. Сестеров, В. Ф. Шаньгин, В. Л. Горбунов ; под ред. Л. Н. Преснухина. Кн. 1. – Минск : Высш. шк., 1987. – 279 с. – 414 с.
21. Напрасник, М. В. Микропроцессоры и микроЭВМ : учеб. пособие для техн. / М. В. Напрасник. – М. : Высш. шк., 1989. – 192 с.
22. Смолов, В. Б. Специализированные ЦВМ : учебник для вузов / В. Б. Смолов, В. В. Барашенков, В. Д. Байков ; под ред. В. Б. Смолова. – Минск : Высш. шк., 1981. – 279 с.
23. Bleckman, H. Traction control system with Teves ABS Mark II / H. Bleckman // *SAE Technical Paper Series*, № 860506. – 9 p.
24. Furno, V. E. Embedded diagnostics and prognostics for future Vehicles / V. E. Furno, H. L. Resnick // *SAE Technical Paper Series.* – 1987. – № 870397. – P. 1–7.
25. Mizutani, S. Automotive Electronics in Japan – The Next Five Years / S. Mizutani, T. Ohtake // *SAE Technical Paper Series.* – 2008. – № 840055. – P. 1–10.
26. Stahl, R. Das Auto ist erst auf dem heißen Weg ins Elektronikzeitalter / R. Stahl // *Auto Motor Zubehör.* – 2009. – Vol. 74. – № 1–2. – P. 55–58.
27. Delvin, S. S. Some Considerations in Planning Vehicle Electronic Information and Control System / S. S. Delvin // *ISATA – 2000: Proceedings of International Symposium on Automotive Technology and Automation USE*, 2010. – P. 339–350.

28. Mandel, I. TRW' Truck Information and Control System is Expandable and Versatile / I. Mandel // Fleet Equipment, 2010. – Vol. 10. – № 6. – P. 54–55.

29. Датчик износа тормозных накладок автомобиля : пат. 14468. Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № а 20100228 ; заявл. 18.02.10 ; опубл. 30.08.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 4. – 2 с.

30. Измеритель тормозного момента колеса транспортного средства и способ определения процента износа тормозной накладки колеса транспортного средства : пат. 19820 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/02/ В 60Т 17/22 / Ю. Д. Карпиевич, В. Е. Тарасенко, Н. Н. Романюк ; заявитель и патентообладатель Белорусский государственный аграрный технический университет. – № а 20121385 ; заявл. 10.03.12 ; опубл. 30.06.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 1. – 2 с.

31. Устройство прогнозирования степени износа и величины остаточного ресурса тормозных накладок каждого колеса транспортных или тяговых машин: пат. 9122 Респ. Беларусь, МПК В 60Т 17/22/ G 01 М 17/00 / Ю. Д. Карпиевич, В. Е. Тарасенко, Н. Н. Романюк; заявитель и патентообладатель Белорусский государственный аграрный технический университет. – № и 20120857 ; заявл. 10.03.12 ; опубл. 01.03.13 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 2. – 2 с.

32. Цифровой датчик износа тормозной накладки автомобиля: пат. 18142 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, О. В. Понталев, А. Ф. Скадорва ; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № а 20100229 ; заявл. 18.02.10 ; опубл. 30.08.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 2. – 2 с.

33. Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 2003. – 290 с.

34. Говорущенко, Н. Я. Диагностика автомобилей сегодня и завтра / Н. Я. Говорущенко. – Харьков : Вища школа, 1976. – 48 с.

35. Карпиевич, Ю. Д. Разработка методов бортового диагностирования технического состояния тормозных систем автомобилей с гидравлическим приводом : дис. ... к-та техн. наук / Ю. Д. Карпиевич. – Минск, 1993. – 143 л.



36. Электромагнитный датчик износа фрикционных накладок гидророподжимной муфты : пат. 6607 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. Ф. Скадорва, А. А. Рудашко, О. В. Понталев, В. А. Коробкин, Ю. А. Андрияненко ; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № u 20100160 ; заявл. 18.02.10 ; опубл. 29.06.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 5. – 3 с.

37. Компараторный индикатор контроля диэлектрической про- ницаемости масла в автотракторных двигателях : пат. 7732 Респ. Беларусь, МПК F 01 M 11/10 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, О. В. Понталев, А. Ф. Скадорва ; заявитель и патентообладатель Бе- лорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № а 20091518 ; заявл. 27.10.09 ; опубл. 30.06.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 5. – 3 с.

38. Система контроля состояния моторного масла в автотракторном дизеле: пат. 16647 Респ. Беларусь, МПК F 01 M 11/10/ G 01 N 27/22 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, Н. Д. Полховский ; заявитель и па- тентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № а 20091206 ; заявл. 07.08.09 ; опубл. 30.04.11 // Афі- цыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 5. – 3 с.

39. Система контроля за рабочим состоянием дизельного двига- теля: пат. 9953 Респ. Беларусь, МПК F 06 D 66/00 / А. Н. Карташе- вич, О. В. Понталев, М. А. Недосеко ; заявитель и патентооблада- тель Белорусская государственная сельскохозяйственная акаде- мия. – № u 20130043 ; заявл. 13.06.12 ; опубл. 04.01.13 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 4. – 3 с.

40. Способ определения времени работы двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления: пат. 012556 Евразий- ское патентное ведомство, МПК G 07 C 5/10 / А. Р. Куплунский ; заявитель и патентообладатель Совместное белорусско-российское предприятие ЗАО «Технотон». – № 200800058 ; заявл. 23.11.07 ; опубл. 30.10.09.

41. Компараторный индикатор старения масла в автотракторном двигателе: пат. 18158 Респ. Беларусь, МПК F 01 M 11/10 / А. Н. Карта- шевич, А. А. Рудашко, О. В. Понталев, А. Ф. Скадорва ; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйствен- ная академия. – № а 20100230 ; заявл. 18.02.10 ; опубл. 30.10.11 // Афі- цыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 3. – 2 с.

42. Дискретно-цифровой индикатор уровня жидкости: пат. 14782 Респ. Беларусь, МПК G 01 F 23/30 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, А. Ф. Скадорва ; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № а 20081301 ; заявл. 16.10.08 ; опубл. 30.06.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 4. – 2 с.

43. Krizhevsky, A. Training Deep and Recurrent Networks with Hessian – free Optimization / A. Krizhevsky, I. Sutskever. – 2012. – P. 1–26.

44. Yao, Y. On Early Stopping in gradient Descent Learning / Y. Yao, L. Rosasco, A. Caponnetto. – 2015. – P. 1–26.

45. Schmidhuber, J. Deep Learning in neural networks: An overview, Neural Networks / J. Schmidhuber. – 2015. – Vol. 61. – P. 85–117.

46. Гуревич, А. М. Тракторы и автомобили : пособие / А. М. Гуревич, Е. М. Сорокин. – М. : Колос, 1978. – № 4. – 479 с.

47. Пал, В. И. Методы и средства автоматизации логического процесса постановки диагноза автомобиля / В. И. Пал. – М. : ГОСНИТИ, 1971. – С. 1–32.

48. Мирошников, Л. В. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях / Л. В. Мирошников, А. П. Болдин, В. И. Пал. – М. : Транспорт, 1977. – 263 с.

49. Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.

50. Udluft, S. Solving partially observable reinforcement learning problems with recurrent neural networks / S. Udluft, A. M. Schäfer. – Work. Proc. Eur. Cont. Mach. Learn. – 2015. – P. 71–81.

51. Funahashi, K. Approximation of dynamical systems by continuous time recurrent neural networks / K. Funahashi, Y. Nakamura. – Neural Networks. – 2015. Vol. 6. – № 6. – P. 801–806.

52. Gers, F. A. Learning to forget: continual prediction with LSTM / F. A. Gers, J. Schmidhuber, F. Cummins. – Neural Comput. – 2000. – Vol. 12. – № 10. – P. 2451–2471.

53. Pascanu, R. On the difficulty of training Recurrent Neural Networks / R. Pascanu, T. Mikolov, Y. Bengio. – Int. Conf. Mach. Learn. – 2013. – Vol. 28. – № 3. – P. 1310–1318.

54. Основы технической диагностики : в 2 кн. : Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства : учебник для вузов ; под ред. П. П. Пархоменко. – М. : Энергоиздат, 1981. Кн. 2. – 320 с.

55. Основы технической диагностики: в 2 кн. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза : учебник для вузов ; под ред. П. П. Пархоменко. – М. : Энергия, 1979. Кн. 1. – 464 с.

56. Трактор БЕЛАРУС. Руководство по эксплуатации: справочник. – Минск, 2009. – 269 с.

57. Конструкция тракторов и автомобилей : пособие / И. Н. Шило, А. И. Бобровник, В. Е. Тарасенко, В. Г. Левков. – Минск : БГАТУ, 2012. – 816 с.

58. Гольденберг, Л. М. Цифровая обработка сигналов : справочник / Л. М. Гольденберг. – М. : Радио и связь, 1985. – 312 с.

59. Карпиевич, Ю. Д. Микропроцессорная система бортового диагностирования степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления / Ю. Д. Карпиевич // Вестник БНТУ. – 2007. – № 6. – С. 76–78.

60. Работа трения как интегральный показатель степени износа фрикционных накладок ведомого диска сцепления колесных и гусеничных машин / Ю. Д. Карпиевич, Ю. М. Жуковский, А. В. Захаров, Н. Г. Мальцев // Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск : БГАТУ, 2013. – Ч. 2. – С. 125–128.

61. Лукин, П. П. Конструирование и расчет автомобиля : учебник для студентов по специальности «Автомобили и тракторы» / П. П. Лукин, Г. А. Гаспарянц, В. Ф. Родионов. – М. : Машиностроение, 1984. – 376 с.

62. Сцепление транспортных и тяговых машин / И. Б. Барский, С. Г. Борисов, В. А. Галягин; под общ. ред. Ф. Р. Геккера. – М. : Машиностроение, 1989. – 344 с.

63. Скадорва, А. Ф. Бортовая система контроля износа фрикционной муфты коробки передач тракторов : дис. ... к-та техн. наук / А. Ф. Скадорва. – Горки, 2015. – 163 л.

64. Мальцев, Н. Г. Современные методы контроля расхода топлива и их применение для мониторинга режимов работы автотракторной техники / Н. Г. Мальцев, Ю. Д. Карпиевич // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной ведущим ученым БГАТУ, создателям научной школы по автотракторостроению Д. А. Чудакову и В. А. Скотникову. – Минск : БГАТУ, 2013. – С. 35–39.

65. Тракторы. Устройство. Техническое обслуживание. Ремонт. «БЕЛАРУС» серия 1000-2000 : учебное пособие / А. А. Пуховой, И. Н. Шило. – Астана: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2012 – 779 с.

66. 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.

67. 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.

68. 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.

69. 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.

70. 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.

71. 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.

72. 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.

73. 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. / Беларус. госуд. агр. техн. ун-т [и др.] ; редкол. : Ю. Д. Карпиевич [и др.]. – Минск, 2013. – С. 66–70.

74. 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. / Беларус. нац. техн. ун-т; редкол. : Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2016. – Т. 2. – С. 24–25.

75. Карпиевич, Ю. Д. Анализ нагруженности муфты сцепления при наличии поводкового 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. / Беларус. госуд. агр. техн. ун-т [и др.] ; редкол. : Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск, 2016. – С. 190–192.

76. 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. / Беларус. госуд. агр. техн. ун-т [и др.] ; редкол. : В. П. Чеботарев [и др.]. – Минск, 2017. – С. 296–298.

77. 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.

78. 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. / Беларус. нац. техн. ун-т ; редкол. : С. В. Харитончик, А. М. Маляревич, А. С. Калиниченко. – Минск, 2018. – Т. 2. – С. 12.

79. 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.

80. Бортовое диагностирование степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач тракторов «Беларус» / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко, Т. М. Чумак, 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.

81. 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.

82. 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.

83. 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.

84. 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.

Научное издание

**КАРПИЕВИЧ** Юрий Дмитриевич  
**БОНДАРЕНКО** Ирина Иосифовна

**БОРТОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВОГО  
АГРЕГАТА ТРАКТОРА**

В авторской редакции

Подписано в печать 15.07.2022. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Цифровая печать.  
Усл. печ. л. 7,38. Уч.-изд. л. 5,77. Тираж 100. Заказ 424.

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.