

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Д. А. Жданко, В. Е. Тарасенко, Т. А. Непарко

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего
образования по специальностям магистратуры «Техническое
обеспечение производства сельскохозяйственной продукции»,
«Технический сервис в агропромышленном комплексе»,
«Техническое обеспечение хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции»*

Минск
БГАТУ
2022

УДК 629.3-7
ББК 39.33-08
Ж42

Рецензенты:

кафедра сельскохозяйственных машин УО «Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»

(кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой *О. В. Гордеенко*);
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автомобили»
Белорусского национального технического университета *Ю. Д. Карпиевич*

Жданко, Д. А.

Ж42

Прогнозирование остаточного ресурса мобильных энергетических
средств : учебное пособие / Д. А. Жданко, В. Е. Тарасенко, Т. А. Непарко. –
Минск : БГАТУ, 2022. – 280 с.

ISBN 978-985-25-0145-3.

Изложена история развития, рассмотрены современные методы и средства
диагностирования выходных, функциональных и ресурсных параметров машин,
научное обоснование нормативов и организации технического диагностирования.

Предназначено для магистрантов, руководителей и специалистов технического
сервиса машин, работников научно-исследовательских учреждений,
преподавателей аграрных вузов, информационно-консультационных служб. Может
быть использовано в процессе подготовки и переподготовки инженерно-
технических работников.

**УДК 629.3-7
ББК 39.33-08**

ISBN 978-985-25-0145-3

© БГАТУ, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. КОНЦЕПЦИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ. ОЦЕНКА УРОВНЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА МАШИН	7
1.1. Основные принципы и задачи технического диагностирования	7
1.2. Виды диагностирования и параметры технического состояния машин	19
1.3. Управление техническим состоянием машин по результатам диагностирования	26
1.4. Оценка уровня технического сервиса машин	44
2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ МАШИННО- ТРАКТОРНОГО ПАРКА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	48
2.1. Система технического обслуживания и ремонта машин	48
2.2. Обоснование периодичности ТО и допускаемые значения параметров машин	55
2.3. Совершенствование нормативно- технической документации в Республике Беларусь	58
3. ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ	66
3.1. Развитие диагностирования технического состояния машин на основе бортовых электронных средств	66
3.2. Портативные микропроцессорные диагностические средства	89
3.3. Многоканальная интегрированная система виброакустической и тепловой диагностики дизельных двигателей	102
3.4. Технологические приемы эксплуатационного контроля моторных масел и их реализация для ТО и ремонта ДВС	108

3.5. Этапы разработки методов и средств технической диагностики	136
3.6. Требования к разработке средств диагностирования	140
3.7. Стенды диагностического контроля выходных параметров тракторов	147
3.8. Средства контроля топливно-энергетических показателей автотракторных дизелей	163
3.9. Методы и средства диагностирования цилиндро-поршневой группы автотракторных ДВС	184
3.10. Методы и средства диагностирования топливной аппаратуры дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин	208
3.11. Методы и средства диагностирования и испытания гидрооборудования тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин	227
4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА	246
4.1. Задачи, сущность прогнозирования технического состояния и показателей надежности машин	246
4.2. Прогнозирование по среднему статистическому изменению параметра и по реализации изменения параметра	247
4.3. Прогнозирование остаточного ресурса агрегатов машин при известной наработке от начала эксплуатации	249
4.4. Прогнозирование остаточного ресурса агрегатов машин при неизвестной наработке от начала эксплуатации	252
4.5. Прогнозирование остаточного ресурса агрегатов с учетом случайного характера изменения параметра	254
4.6. Методика определения остаточного ресурса деталей, обеспечения долговечности, безотказности и экономичности работы дизельных двигателей	256
4.7. Примеры расчета остаточного ресурса	265
4.8. Рекомендации по использованию остаточного ресурса	267
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	269

ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники происходит изменение ее технического состояния от начала использования до утилизации. Производители техники во всем мире не в силах гарантировать отсутствие неисправностей машин даже при нормальных условиях эксплуатации, но особенно ускоряется появление неисправностей при нарушении правил технической эксплуатации и предписаний изготовителя, интенсивной эксплуатации без необходимого контроля или за пределами установленного ресурса, несвоевременном и некачественном техническом обслуживании и ремонте, ошибках в применении эксплуатационных материалов и др.

Для обеспечения работоспособности сельскохозяйственной техники необходимы наиболее эффективные способы управления техническим состоянием и надежностью машин. Особую роль играет планово-предупредительная система (ППС) технического обслуживания (ТО) и ремонта с применением средств контроля. В этом случае регламентный контроль технического состояния машин по установленной периодичности (ГОСТ 20793–2009) определяет порядок и содержание конкретных работ по их ТО и ремонту в соответствии с техническим состоянием машин.

Практика применения ППС ТО и ремонта показала эффективность сочетания регламентного контроля с обслуживанием по фактическому состоянию машин. Это позволяет обеспечить оптимальное управление надежностью машин при условии применения системы их диагностирования. На основании данной системы, измеряя и анализируя параметры состояния машин, получают рекомендации по управлению их техническим состоянием.

Результатом технического диагностирования являются рекомендации по объему и характеру работ ТО, текущего ремонта, по необходимости капитального ремонта составных частей машин.

Практика их технической эксплуатации во многих отраслях стран ближнего и дальнего зарубежья, а также исследования, выполненные ГОСНИТИ, НИИАТ, НАТИ, другими научно-исследовательскими организациями и учреждениями образования, показали, что сочетание ППС ТО и ремонта машин с регламентным контролем их технического состояния, выполнением работ по фактической потребности позволяет повысить в АПК безотказность тракторов

и другой самоходной сельскохозяйственной техники на 25–40 %, их экономичность – на 10–15 %, увеличить полный ресурс вдвое, в 1,5–2 раза снизить затраты на устранение отказов и неисправностей, повысить производительность, уменьшить потери и недобор урожая.

На основе обобщения накопленного мирового и отечественного опыта в области применения методов и средств диагностики технического состояния сельскохозяйственной техники ставится задача обосновать и раскрыть предпосылки для создания эффективной системы управления ее надежностью в АПК Республики Беларусь.

В работе использованы результаты исследований, проводимых в России (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Беларуси (БГАТУ, НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства и др.), труды отечественных и зарубежных ученых.

Издание рассчитано на широкий круг читателей и будет полезно лицам, принимающим управленческие решения по данной проблеме, специалистам технического сервиса, организующим и проводящим ТО и ремонт машин и оборудования, а также студентам и аспирантам аграрно-технических вузов.

1. КОНЦЕПЦИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ. ОЦЕНКА УРОВНЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА МАШИН

1.1. Основные принципы и задачи технического диагностирования

Диагностика – отрасль науки, изучающая и устанавливающая признаки состояния системы, а также методы, принципы и средства, при помощи которых дается заключение о характере дефектов системы без ее разборки и производится прогнозирование ресурса системы.

Техническая диагностика машин – система методов и средств, применяемых при определении технического состояния машины без ее разборки. При помощи технической диагностики можно определять состояние отдельных деталей и сборочных единиц машин, осуществлять поиск дефектов, вызвавших остановку или ненормальную работу машины.

На основе полученных при диагностировании данных о характере разрушения деталей и сборочных единиц машины в зависимости от времени ее работы техническая диагностика позволяет прогнозировать техническое состояние машины на последующий срок работы.

Совокупность средств диагностирования объекта и исполнителей, действующих по установленным алгоритмам, называется *системой диагностирования*.

Техническое диагностирование – процесс определения технического состояния объекта с определенной точностью. Результатом диагностирования является заключение о техническом состоянии объекта с указанием при необходимости места, вида и причины дефекта.

Диагностирование проводят, как при ТО, так и при ремонте.

При проведении ТО задачи диагностирования заключаются в том, чтобы установить потребность в особых операциях ТО, проведении капитального или текущего ремонта машины или ее сборочных единиц; повысить качество функционирования агрегатов и систем машины; установить перечень работ, которые необходимо выполнить при очередном ТО, а при необходимости – и остаточный ресурс некоторых агрегатов машины. При ремонте машин задачи диагностирования сводятся к выявлению узлов, агрегатов, подлежащих восстановлению, а также оценке качества ремонтных работ и показателей работоспособности машины.

Виды технического диагностирования классифицируют по назначению, периодичности, месту проведения и уровню специализации. В зависимости от производственных возможностей парка машин диагностирование проводят силами эксплуатационного предприятия или на специализированных предприятиях технического сервиса.

Диагностируемый объект можно рассматривать в двух аспектах: с точки зрения структуры и способа функционирования. Каждый из аспектов имеет особенности, описываемые своей системой понятий.

Структура системы – определенная взаимосвязь, взаиморасположение составных частей (элементов), характеризующих устройство и конструкцию системы.

Под *способом функционирования* понимают механизмы взаимодействия составных частей объекта контроля.

Параметр – качественная мера, характеризующая свойство системы, элемента или явления, в частности, процесса. *Значение параметра* – количественная мера параметра.

Основное понятие технической диагностики, связанное со структурным аспектом, – *состояние объекта*.

Свойства структуры объекта в некоторый момент времени могут быть охарактеризованы совокупностью структурных параметров: $x_1', x_2', \dots x_n'$.

Структурный параметр – качественная мера, характеризующая свойство структуры системы или ее элемента (геометрическая форма, размеры, шероховатость поверхности элементов и др.). Структурные параметры – переменные величины. При изготовлении объекта они зависят от различных технических факторов, а в период эксплуатации – от степени износа и разрушения деталей.

Чтобы повысить степень объективности оценки, на совокупность параметров структуры накладывается *условие минимальности*.

Совокупность параметров $x_1, \dots x_n$ минимальна, если ни одна из этих величин не может функционально выражаться через значения других параметров, входящих в эту совокупность. Каждый параметр минимальной совокупности может изменяться независимо от других параметров.

Помимо условия минимальности совокупность параметров, описывающих структуру объекта, также должна удовлетворять *условию полноты*.

Совокупность параметров x_i полна, если знание их величины позволяет принимать однозначные решения о необходимом ремонте и обслуживании объекта.

Набор параметров x_i и их число, используемое для описания структуры объекта, будут меняться в зависимости от целевой установки при использовании диагностической информации. Так, при заводском контроле выпускаемых машин их структура будет характеризоваться набором параметров (размеры, форма, шероховатость поверхности и др.), который отличается от набора параметров при диагностике этих устройств в условиях эксплуатации (показатели функционирования, работоспособности, остаточного ресурса).

Различают прямые и косвенные диагностические параметры. Рассмотрим объект, состояние которого определяется независимыми величинами x_1, x_2, \dots, x_n . Состояние объекта в некоторый момент времени известно, если определены значения каждой из n величин x_i . Эта задача решена и в том случае, если x_i выражены любыми другими величинами s_1, s_2, \dots, s_m , которые известны.

В целом, прямой и косвенный процессы определения неизвестных параметров состояния и называют диагностированием. Оно сводится к измерению доступных параметров диагностического сигнала s_1, s_2, \dots, s_m и к вычислению параметров состояния с помощью известных соотношений, которые устанавливаются во время тарировки системы диагностики. Тарировка заключается в изменении в определенном порядке состояния элементов объекта и в регистрации параметров сигнала s_j .

Таким образом, для описания состояния объекта имеем две системы параметров: x_1, x_2, \dots, x_n и s_1, s_2, \dots, s_m .

Чтобы диагностическая задача была разрешимой, необходимо взаимно однозначное соответствие между обеими группами параметров. Практически это значит, что каждому возможному состоянию объекта должен соответствовать свой диагностический сигнал, а каждому сигналу – единственное состояние.

Определение зависимости сигнала от изменения параметров состояния объекта $s_j = s_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$ или эквивалентной ей зависимости параметров состояния от величины параметров сигнала составляет важнейший и наиболее трудоемкий этап разработки системы диагностирования.

В настоящее время наметилась тенденция снижения объемов ремонтно-обслуживающих работ сельскохозяйственной техники за счет замены отказавших составных частей машин на новые. При этом возрастает потребность в диагностировании агрегатов и узлов с целью определения их остаточного ресурса. Это обуславливает необходимость применения таких средств диагностирования, которые наряду с обеспечением оперативного и качественного диагнозов позволяют осуществлять постоянный мониторинг за техническим состоянием машины, т. е. управлять ее техническим состоянием. Последнее возможно за счет применения новейших бортовых систем контроля состояния агрегатов нового поколения и обеспечивающих:

- непрерывный контроль технического состояния, в т. ч. на переходных режимах работы;
- своевременное выявление опасных дефектов с оценкой остаточного ресурса;
- сбор данных для углубленного диагностирования и долгосрочного прогноза состояния во время проведения периодических ТО;
- работа систем в необслуживаемом автоматическом режиме.

Первые две задачи – общие, их решение расширяет возможности и повышает достоверность диагностирования объектов в любой области техники, позволяя развивать системы аварийной сигнализации до систем оперативного диагностирования.

Методы диагностирования машин можно разделить на субъективные и объективные.

Субъективные методы позволяют оценить техническое состояние контролируемого объекта: визуальным осмотром (места подтекания топлива, масла и технических жидкостей (их качество определяют по пятну на фильтровальной бумаге); наличие трещин на металлоконструкции; деформация шин и остаточная деформация металлоконструкции; заметная на глаз усадка штока силового цилиндра при нейтральной позиции рукоятки золотника распределителя, вспенивание жидкости, цвет выхлопных газов и т. д.); ослушиванием (характер шумов, стуков и вибрации); на ощупь – по степени нагрева механизмов и трубопроводов; по характерному запаху.

Достоинство субъективных методов – низкая трудоемкость и практическое отсутствие средств измерения. Однако результаты диагностирования этими методами дают только качественную оценку технического состояния объекта и зависят от опыта и квалификации диагноста, не выявляют причину сложных неисправностей.

Объективные методы контроля работоспособности объекта основаны на использовании измерительных приборов, стендов и другого оборудования, позволяющих количественно определять параметры технического состояния, которые изменяются в процессе эксплуатации машины. При диагностировании машин используются средства самых различных принципов и назначения, что приводит к большому разнообразию применяемых методов. Наибольшее предпочтение отдается методам, определяющим непосредственно структурные параметры объектов.

В настоящее время известен ряд объективных методов и средств диагностирования работоспособности машин в целом, ее систем и сборочных единиц: статопараметрический, амплитудно-фазовых характеристик, временной, силовой, переходных характеристик, виброакустический, тепловой, анализа состояния жидкостей, радиационный, электрический, нефелометрический, а также непосредственное измерение показателей отдельных деталей.

Статопараметрический метод основан на измерении давления и подачи или расхода рабочей жидкости и позволяет оценить объемный коэффициент полезного действия (КПД). Он позволяет косвенно оценить структурные параметры узлов, агрегатов и целесообразность дальнейшей эксплуатации, однако для подключения датчиков к сборочным единицам необходимо разъединять трубопроводы и рукава, производить другие подработы узлов и агрегатов. Метод широко используется в Беларуси и за рубежом.

Метод амплитудно-фазовых характеристик реализуется с использованием встроенных или накладных датчиков и базируется на анализе волновых процессов изменения давления в напорных жидкостных магистралях при нагружении рабочего органа и соответственно в сливной – при дросселировании рабочей жидкости. Метод широко используется для общей оценки работоспособности объекта с высокой степенью жесткости в нагнетательной магистрали и локализации неисправности.

Временной метод основан на измерении параметров движения объекта или его рабочего органа в условиях нормированных режимов нагружения. Используется при оценке работоспособности гидротрибопровода в целом. Так, время подъема ковша погрузчика от минимального до максимального значений при номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания

(ДВС) характеризует работоспособность гидравлической системы привода рабочего оборудования, а продолжительность перемещения управляемых колес из одного крайнего положения в другое – работоспособность гидропривода рулевого управления. К достоинствам метода относится возможность использования простых средств измерения, не требующих установки датчиков, но добиться нужной точности затруднительно из-за необходимости повторения требуемого режима контроля.

Силовой метод основан на определении диагностических параметров через усилия на рабочем органе, двигателе или тяговом крюке. Работоспособность объекта в целом оценивается в режимах, приближенных к реальным, но для реализации метода требуются специальные нагрузочные средства.

Метод переходных характеристик базируется на анализе явлений, протекающих при неустановившихся режимах работы объекта. Этот метод широко используется для проверки герметичности пневмо- и гидросистем. Создают тестовое давление, и при отключении подачи воздуха или рабочей жидкости оценивают работоспособность соответствующих элементов по времени падения давления в диагностируемой части системы.

Перспективен этот метод при оценке технического состояния гидропривода на основании характера волновых процессов, протекающих в системе при перекрытии потока рабочей жидкости. Метод обладает высокой информативностью и может быть реализован с помощью накладных и встроенных датчиков, однако расшифровка волновых диаграмм весьма сложна и требует специального оборудования.

Виброакустический метод основан на анализе параметров вибрации и шума. Работа механической сборочной единицы может сопровождаться виброударными процессами и (или) акустическим шумом. Например, в сопряжениях плунжерных пар топливных насосов высокого давления, форсунок, клапанов газораспределительного механизма и гидропривода, подшипников кривошипно-шатунного механизма в процессе эксплуатации нарушаются запроектированные кинематические связи между деталями, вследствие чего характер вибрации и шума изменяется, и они существенно усиливаются. Это свойство используется при диагностировании объекта по изменению амплитуд, форме, фазе, длительности и коэффициенту вариации вибросигналов.

Сигналы, исходящие от работающих механизмов, носят импульсный характер, а их амплитуда достаточно точно характеризует состояние кинематической пары. Большое значение имеет правильный выбор амплитудно-частотных характеристик и чувствительности первичных преобразователей. Пьезоэлектрические датчики с учетом применения компьютерных технологий дают хорошие результаты. Этот метод перспективен, обладает высокой информативностью, однако отделить полезные сигналы от помех, создаваемых различными сопряжениями контролируемой системы, затруднительно.

Тепловой метод основан на оценке распределения температуры на поверхностях сборочных единиц, а также разности температур рабочей жидкости на входе и выходе. Характерные точки контроля выбирают исходя из конструктивных особенностей элементов и расположения в них областей генерации тепла. Метод универсален и может быть реализован при помощи накладных, встроенных и дистанционных датчиков. Однако измерение разности температур поверхности элемента с приемлемой для практики точностью, трудоемкостью и продолжительностью возможно лишь при использовании специальных высокочувствительных датчиков со стабильной линейной характеристикой. Для сокращения продолжительности и повышения точности измерения накладные и встроенные датчики должны иметь как можно меньшую площадь и массу, что позволяет не исказить тепловое поле объектов контроля.

Метод анализа состояния ТСМ и рабочей жидкости основан на определении их свойств и состава вредных примесей. В связи с низкой трудоемкостью, высокой информативностью и возможностью вести обработку взятых проб в лабораторных условиях метод перспективен, но имеются трудности в выявлении неисправных элементов. При работе любой сборочной единицы происходит изнашивание поверхностей сопрягаемых деталей, его интенсивность оценивается количеством частиц металла. Зная химический состав трущихся деталей, можно проследить за динамикой потери их работоспособности.

Радиационный метод основан на изменении интенсивности излучения, проходящего через объект диагностирования, и предполагает наличие источника ионизирующего излучения и детектора, регистрирующего диагностируемую информацию. Метод позволяет получать достоверную информацию об изнашивании отдельных деталей при вводе в них радиационных вставок, однако требует специализированного оборудования.

Электрический метод заключается в непосредственном измерении электрических параметров (напряжения, силы тока, сопротивления, электрической мощности). Метод используется при оценке работоспособности электрических приводов и бортового электрооборудования машин.

При *нефелометрическом методе* сравнивают интенсивность двух световых потоков: рассеянного эталонной жидкостью, не содержащей загрязнений, и жидкостью того же типа, взятой из емкости работающего объекта. Интенсивность рассеянного света пропорциональна концентрации загрязняющих жидкость частиц и зависит от их оптических свойств, углов падения и рассеивания света. Имеются также приборы, позволяющие анализировать рабочие жидкости непосредственно в потоке. Действие этих приборов основано на определении с помощью фотоэлектрического датчика числа и размеров частиц, проходящих вместе с жидкостью через калиброванную щель, которая имеет по бокам прозрачные окна. При проходе каждой частицы загрязнений происходит частичное затемнение фотодиода, в результате на выходе схемы образуются импульсы, амплитуда и частота которых соответствуют размеру и количеству проходящих частиц.

Приведенные методы можно объединить в группы по контролируемым параметрам, первичным преобразователям, способам нарушения объектов диагностирования и т. д.

Диагностирование машин, проводимое с использованием внешних и встроенных средств контроля, позволяет определять техническое состояние агрегатов, механизмов и систем машины без их разборки, прогнозировать сроки службы узлов, фактически управлять их техническим состоянием, назначая соответствующие предупредительные работы и выполняя их в процессе ТО и ремонта. Это снижает время простоя машин, обеспечивает значительную экономию средств на их обслуживание и ремонт. Выполнение только действительно необходимых операций по ремонту и регулированию сокращает расход запасных частей и горюче-смазочных материалов. Так, своевременное обнаружение и устранение значительных неисправностей в системах питания или зажигания двигателя, агрегатов трансмиссии или ходовой части улучшает на 5–10 % топливно-экономические показатели, увеличивает мощность двигателя, в 2–3 раза улучшает экологические показатели, повышает безопасность эксплуатации машин.

Результаты диагностирования могут быть использованы для решения следующих задач: определения и устранения причин, вызывающих отказы и разрушение сборочных единиц или аварийные износы деталей; предсказания процессов изнашивания деталей и установления вероятного времени наступления отказа машины на основе их анализа; разработки планов-графиков ТО и ремонта машин.

Техническое диагностирование обеспечивает возможность интенсивного использования техники. Предупреждение отказов, оперативное их устранение резко снижают простои машин по техническим причинам, увеличивают их производительность и качество выполнения сельскохозяйственных операций, что положительно сказывается на сроках выполнения работ, способствует получению дополнительной прибыли сельскими товаропроизводителями.

Диагностирование машин и оборудования применяется практически при всех видах ТО и ремонта. Кроме традиционных работ (периодические ТО, текущий и капитальный ремонты, хранение машин) в последнее время диагностирование нашло применение при досборке машин в процессе предпродажного обслуживания, сертификации сервисных работ, техосмотре, оценке стоимости при приобретении и продаже подержанных машин и агрегатов.

Основные задачи технического диагностирования:

- проверка исправности (работоспособности) машин или их составных частей;
- поиск дефектов с установленной глубиной поиска;
- сбор исходных данных для прогнозирования остаточного ресурса составных частей;
- выдача рекомендаций по результатам диагностирования о виде, объеме, месте и сроке ремонтно-обслуживающих работ.

Техническое диагностирование можно выполнять основными методами: статистическим, граничных испытаний, инструментальным и органолептическим по качественным признакам.

При *статистическом методе* моменты отказа прогнозируют на основе обработки результатов достаточно полной и математически обоснованной информации об отказах, как элементов, так и самих машин.

Точность прогнозирования момента отказа для отдельно взятой машины невелика, но для большой группы машин она достаточна, что позволяет закладывать ее в основу составления графиков ППР.

Метод граничных испытаний, основанный на определении прогнозирующих параметров машины или ее элементов в условиях, ускоренных (ужесточенных) испытаний, позволяет с достаточной точностью и быстротой устанавливать слабые элементы и типовые дефекты, тем самым существенно дополняя данные статистического метода.

Инструментальный метод, базирующийся на применении диагностирующей аппаратуры, обеспечивает необходимую корректировку данных, полученных первыми двумя методами, за счет установления реального технического состояния машины и его изменения в конкретных условиях эксплуатации. Из применяемых при методе многочисленных способов общего диагностирования применяют механический и акустический способы, с помощью которых возможна приблизительная оценка технического состояния машины.

Диагностирование подразделяют на регламентное и заявочное. *Регламентное* проводят при периодическом ТО и перед плановым ремонтом, *заявочное* – при появлении признаков неисправностей перед текущим ремонтом.

Цель регламентного диагностирования – определение технического состояния, остаточного ресурса соединений, узлов и агрегатов, их потребности в регулировании, замене или ремонте. Цель заявочного – выявление и устранение неисправностей, предупреждение отказов и устранение их последствий.

В зависимости от количества диагностируемых машин рекомендуется использовать следующие средства диагностирования:

- до 20 машин – переносной комплект (участок диагностирования может отсутствовать);
- 20–80 – стационарный комплект, состоящий преимущественно из механических средств диагностирования;
- 80–120 – стационарный комплект, состоящий из механических и электронных приборов;
- 120–400 – стационарный комплект с преимущественно электронными средствами диагностирования;
- 400–800 – стационарный комплект с автоматизированной системой диагностирования.

Классификация диагностических комплектов в зависимости от числа диагностируемых машин обусловлена их пропускной способностью. При плановом диагностировании машин с помощью в основном механических средств удельная трудоемкость проверки их

технического состояния без ежесменного технического обслуживания (ЕТО) составляет 40–60 % от трудоемкости ТО. Применение электронных средств диагностирования уменьшает трудоемкость в 2–2,5 раза, автоматизированных систем диагностирования – в 5 раз. Такое же сокращение трудоемкости наблюдается и при заявочном диагностировании (поиске неисправностей).

В последнее время возможно более интенсивное применение приборов для контроля экологических параметров отработавших газов (ОГ) дизелей и бензиновых ДВС, что связано с ужесточением требований к уменьшению концентрации токсичных веществ в ОГ ДВС.

Чтобы снизить трудоемкость диагностирования, проверку технического состояния машины выполняют в соответствии с диагностической картой. Форма карты предварительно печатается или вызывается на экран компьютера и в дальнейшем служит основным документом для проведения ремонтно-обслуживающих работ.

Поэлементные операции регламентного и заявочного диагностирования выполняют согласно технологическим картам, в которых приводятся сведения о детальной последовательности и периодичности выполнения контрольно-диагностических операций, применяемых при этом диагностических приборах, датчиках, приспособлениях, технических требованиях по выполнению операций, значениях диагностических параметров (номинальном, допусковом, предельном), а также режимных параметров машины при контроле ее состояния, в следующей последовательности:

1. Проведение мастером-диагностом опроса оператора о работе механизмов и систем машины при ее подготовке к диагностированию, внешнего осмотра машины, анализа документов о работе машины в прошлом. Слесарь-диагност в это время занимается подготовкой машины к диагностированию, очисткой мест присоединения приборов переходных устройств с датчиками, проверкой креплений, которые могут повлиять на результаты диагностирования, при необходимости – дозаправкой машины охлаждающей жидкостью, маслом, прогревом механизмов и систем машины, устранением мелких неисправностей. После этого слесарь-диагност устанавливает приборы и переходные устройства с датчиками на машину для проверки ее обобщенных, а затем частных параметров состояния, измеряет диагностические параметры машины (водитель находится в кабине и по команде мастера-диагноста управляет работой агрегатов и систем машины, выдерживая в заданных интервалах режимные параметры ее состояния: скоростные, температурные, нагрузочные).

2. Проведение мастером-диагностом диагностирования: измерение и регистрация значений параметров, анализ и сравнение их с допускаемыми значениями, при необходимости – выполнение регулировочных операций, доведение по показаниям приборов значений параметров до номинальных величин. С учетом появляющихся дополнительных признаков неисправностей или другой информации мастер-диагност уточняет маршрут диагностирования на основании постоянно получаемых новых сведений о состоянии машины.

3. Завершение оформления мастером-диагностом на заключительном этапе диагностической карты от руки или на экране компьютера, составление заключения о состоянии механизмов и систем, при необходимости – прогноз остаточного ресурса составных частей и машины в целом, установление номенклатуры необходимых ремонтно-обслуживающих операций, восстанавливающих работоспособность машины или предупреждающих ее отказы.

4. Снятие с машины диагностических средств, очистка их от масла и топлива, установка на места хранения, подготовка к диагностированию следующей машины.

5. Установка оператором вместе со слесарем-диагностом на место снятых при диагностировании деталей, проверка состояния машины и перегон ее на следующий пост ТО и ремонта.

Техническое состояние объекта можно определить посредством контроля его параметров и характеристик либо посредством оценки качества выполняемых им функций. При этом параметр – физическая или математическая величина, характеризующая состояние элемента или объекта, а характеристика – зависимость одного параметра от другого или от времени.

Процесс определения действительного состояния объекта должен осуществляться по обоснованной программе и алгоритмам диагностирования.

Алгоритмы диагностирования разрабатываются на основе диагностических моделей, которые представляют собой аналитические описания или графоаналитические представления основных свойств технических объектов как объектов диагностирования, выраженные в виде математических и физических законов, процессов, логических соотношений, диаграмм записываемых сигналов. Диагностическая модель предусматривает формулировку условий работоспособности и неработоспособного состояния, наличие критериев оценки степени работоспособности и установление признаков и причин возникших неисправностей.

На основе диагностической модели разрабатываются алгоритмы диагностирования – совокупность операций, выполняемых в определенной последовательности с целью решения конкретной диагностической задачи. Получаемые в результате измерений (записей) средствами диагностики диагностические сигналы (признаки, параметры) могут быть разбиты на три группы: повреждения, выходные параметры, косвенные признаки, которым соответствуют три метода диагностирования.

1.2. Виды диагностирования и параметры технического состояния машин

Техническое диагностирование использует методы и средства, воспринимающие диагностические сигналы, излучаемые механизмами, недоступные восприятию непосредственно органами чувств человека и тем самым дающие возможность объективно определять состояние машин.

Для разработки этих методов и средств, прежде всего, следует выявить, какие параметры характеризуют работу проверяемой машины и обуславливают ее надежность, а затем установить критерии количественной величины параметров.

Техническое диагностирование классифицируется в зависимости от условий его проведения:

– *на работающем объекте*: по параметрам рабочих процессов (мощность, расход топлива, производительность, давление и др.); по диагностическим параметрам, косвенно характеризующим техническое состояние (температура, шум, вибрации и т. д.);

– *на неработающем объекте*: по структурным параметрам (износ деталей, зазор в сопряжениях и т. п.).

По объему, методам и глубине операций оно может быть комплексным (общим) и поэлементным.

Комплексное диагностирование выявляет нормальное функционирование, эффективность, работоспособность машины (агрегата) в целом. Цель его – определить соответствие нормам выходных эксплуатационных показателей проверяемых агрегатов по их основным функциям. Пример такого диагностирования – определение мощности и топливной экономичности двигателя, подачи и долговечности насоса, потерь в трансмиссии, процента буксования сцепления и т. д.

Поэлементное диагностирование определяет причину нарушения работы агрегатов (механизмов) обычно по сопутствующим косвенным признакам. Например, причину потерь мощности двигателя – по компрессии или прорыву газов в картер; повышенного расхода топлива – по неисправностям форсунок; повышенных потерь в трансмиссии – по угловым и линейным зазорам, смещениям деталей, вибрации и нагреву и т. д. Однако в этом случае конкретизация причин неисправностей доводится лишь до такого уровня, при котором выявляется потребность снятия или разборки проверяемого узла, механизма.

Диагностирование, как правило, проводят на нескольких уровнях: на уровне машины в целом; ее агрегатов; систем, механизмов и деталей и др. На каждом из перечисленных уровней определяют техническое состояние, главным образом, двумерно. Это означает, что диагностирование должно дать однозначный ответ: нуждается или не нуждается в настоящее время проверяемый объект в ремонте или ТО с учетом обеспечения безотказной работы до очередного планового технического воздействия. Если техническое состояние проверяемого объекта не соответствует нормам, и он состоит из нескольких самостоятельных механизмов, то необходимо поэлементное диагностирование каждого из составных частей объекта.

При поэлементном диагностировании в первую очередь проверяют механическое состояние так называемых критических деталей, т. е. деталей, которые, прежде всего, определяют работоспособность объекта.

Глубина диагностирования объектов ограничивается получением ответа на вопрос, необходима ли их разборка. Если необходима, то дальнейшее диагностирование, более детальное, не имеет практического смысла, поскольку дефекты могут быть выявлены более просто и точно после разборки объектов.

Диагностирование в общенаучном определении – процесс распознавания состояния исследуемого объекта. Определение состояния и прогнозирование естественной его динамики или динамики с учетом планируемых воздействий являются неотъемлемыми атрибутами процесса управления любыми объектами и системами. Это же относится к диагностированию технического состояния машин и оборудования вообще и к МТП в АПК, в частности.

Диагностирование основывается на всестороннем систематическом контроле инструментальных и органолептических параметров технического состояния объектов, а также показателей их эксплуатации. По

этим данным проводится анализ соответствия значений параметров нормативам для требуемых условий эксплуатации, по взаимосвязям и совместному влиянию параметров составных частей объекта на его функциональные и ресурсные характеристики. А результатом диагностирования являются рекомендации по оптимизации сроков, видов и объемов работ технического сервиса для обеспечения оптимальной надежности, и эксплуатационного ресурса агрегатов МТП.

Измеряемые параметры технического состояния агрегатов МТП и автомобилей делятся на структурные и диагностические [30, 36].

Структурные параметры непосредственно обуславливают техническое состояние, надежность, работоспособность и ресурс составных частей (деталей, сборочных единиц, узлов, агрегатов) машин и оборудования (размеры, износы и показатели геометрии деталей, их взаимного расположения в узлах (зазоры, натяги), физико-механические свойства поверхностей и деталей, а также выходные функциональные характеристики агрегатов и машины в целом).

Структурные параметры делят на ресурсные, динамика в эксплуатации которых обуславливает надежность, работоспособность, экономичность, экологичность и эксплуатационный ресурс агрегатов и машин в целом, а также на функциональные, в т. ч. выходные.

К *ресурсным параметрам* относят, например, давление масел и рабочих жидкостей, зазоры в сопряжениях «поршень–кольца», «поршень–гильза цилиндра», «шейки коленчатого вала–его подшипники», «игла–корпус распылителя форсунки», радиальные зазоры в подшипниках качения, износ фрикционных деталей, зубьев шестерен, шлицев валов и т. п.

Функциональный параметр, значение которого превышает предельное, обуславливает утрату работоспособности или исправности составных частей машин. Его восстанавливают при ТО или ремонте. Функциональными параметрами могут являться выходные рабочие характеристики составных частей и машин в целом, интегрально характеризующие взаимосвязанную совокупность структурных параметров. К таким параметрам относят эффективную мощность ДВС, его удельный расход топлива, минимально-устойчивую частоту вращения коленчатого вала, моменты топливоподачи, моменты открытия клапанов газораспределения, подачу масляных и гидравлических насосов, давление открытия клапанов масло- и гидросистем, скорость движения, тяговую мощность

трактора, его тормозные качества, давление в шинах, напряжение в работе агрегатов электрооборудования, показатели функционирования приборов световой и звуковой сигнализации, дымность ОГ.

Если структурный (ресурсный, функциональный) параметр в процессе диагностирования определяется непосредственно, то одновременно является и диагностическим.

Для достоверного определения технического состояния агрегатов машин, оценки выходных (интегральных), функциональных и ресурсных (дифференциальных) параметров механических узлов, гидравлических и электрических узлов используется в основном *система диагностических параметров*, которые косвенно характеризуют структурные:

- механические (сила, крутящий момент, давление);
- кинематические (скорость, частота вращения, частота повторения явлений, их амплитуда, моменты времени или фазы процессов, временная или фазовая длительность процессов);
- термодинамические (температура, ее динамика и дифференциация по поверхности деталей);
- гидродинамические (расход, количество, гидравлическое сопротивление и перепад давления);
- физико-химические (показатели содержания химических веществ в ОГ, химических элементов в смазочных материалах и топливах, структурные и функциональные показатели топливо-смазочных материалов);
- триботехнические (момент механических потерь и другие показатели интенсивности трения, скорости и интенсивности изнашивания).

Наиболее распространенные диагностические параметры тракторов и агрегатов – давление жидкостей, степень герметичности агрегатов, расход газов, топлива и масла, частота вращения, показатели виброударных процессов, линейные и угловые смещения, температура, а также мощность или угловое ускорение коленчатого вала, напряжение на приборах электрооборудования и др. Реализация всей системы диагностических и структурных параметров невозможна без соответствующей системы СТД.

Так как трудно, а порой невозможно и нецелесообразно использовать инструментально измеряемые диагностические параметры и соответствующие СТД, то при диагностировании издавна используется и арсенал качественных признаков технического состояния,

которых зачастую вполне достаточно для определения неисправности или неработоспособности узлов и агрегатов машин и их причин. Органолептически используют:

- вид, картину и расположение объекта (отклонения формы, цвета, наличие отложений и смещений и т. п.);

- звуковые характеристики шума и стуков (основная звуковая частота, тональность, тембр, громкость, постоянство, переменность, прерывистость, импульсность, амплитудно-частотная характеристика и др.), место их происхождения и зависимость от режимов работы узлов, агрегатов;

- тактильные (осязательные) ощущения вибрации, смещений и поворотов;

- ощущения температуры и ее дифференциации по объекту, между однородными и неоднородными объектами;

- восприятие запаха веществ, особенно подвергаемых термохимическим воздействиям;

- оценку цвета ТСМ (светлый, белесый, темный, окрашенный, другие необычные) и ОГ (незаметный, бело-голубой, голубой, синий, серый, черный);

- выявление утечек масел, жидкостей по месту и интенсивности проявления;

- пропуски газов и паров;

- вид, массу и характер загрязнений масляных, воздушных и топливных фильтров;

- вид, массу и характер загрязнений емкостей масла, топлива, гидрожидкостей.

Иногда используют и такие косвенные диагностические параметры, которые вычисляются по статистическим данным эксплуатации машин: относительный расход топлива на единицу выполненной работы, относительный расход масел, часовая/сменная производительность, наработка на отказ составных частей агрегатов, трудоемкость устранения неисправностей и разрегулировок, суммарные затраты на ТО и т. п.

Ухудшение технического состояния работающих сопряжений, узлов и агрегатов машин – явление неизбежное, обусловленное воздействием эксплуатационных нагрузок, износами и разрегулировками, старением материалов деталей, масел и смазок, воздействием внешней среды. Интенсивность этих переменных процессов определяется конструктивно-технологическим качеством машин, условиями эксплуатации, качеством и своевременностью ТО и ТР машин.

Для всей совокупности численно определяемых значений диагностических параметров для оптимального проведения ТО и ТР требуется установить научно обоснованные нормативные значения, т. е. систему нормативов как структурных, так и диагностических параметров, включающую:

- номинальные значения при вводе машин в эксплуатацию, соответствующие функциональному, конструктивно-технологическому назначению их в конкретных новых или отремонтированных узлах, механизмах, агрегатах, машинах. Номинальные значения параметров ухудшаются и изменяются как в большую (по существенно положительным величинам, например, износам), так и в меньшую сторону (мощность, крутящий момент, производительность и т. п.);

- допускаемые значения для работы объектов на межконтрольный период, соответствующие граничному состоянию узла, агрегата, при котором их работа в предстоящем межконтрольном периоде не обусловит постепенного отказа и не вызовет потери работоспособности, недопустимой неэкономичности или неэкологичности работы. Если при диагностировании выявлено значение контролируемого параметра в допустимом диапазоне, то объект контроля допускают к эксплуатации без работ ТО или ремонта;

- предельные значения параметров, соответствующие недопустимо неэкономичной, аварийной или экологически опасной эксплуатации; это наибольшие или наименьшие значения параметров в работавшем длительное время узле, агрегате машины или оборудовании.

Нужны и критериальные характеристики качественным признакам технического состояния, которые пока разработаны мало. Номинальные и предельные значения диагностических параметров не являются постоянными, однозначными величинами. При изготовлении и вводе в эксплуатацию машин номинальные значения их составных частей должны находиться в диапазонах, устанавливаемых производителем. Аварийные отказы узлов, агрегатов происходят при разных предельных значениях их ресурсных параметров, но примерно соответствующих значениям, вычисленным при исследованиях. Потеря же работоспособности узлов агрегатов при постепенном изнашивании их деталей также является постепенной, порой не поддающейся быстрой и однозначной оценке и может характеризоваться только технико-экономическими расчетами параметрического отказа.

В целом параметры состояния узлов и агрегатов делят на *прогнозируемые*, изменяющиеся постепенно (износы, разрегулировки), а потому вызывающие, как было принято называть ранее, постепенные отказы, и *непрогнозируемые*, вызывающие внезапные аварийные отказы (разрушения, прорывы, прогары, потеря герметичности, заклинивание, прекращение подачи масел и жидкостей, отказ рулевого управления, тормозов, гидро- и пневмоприводов, выход из строя агрегатов электрооборудования, систем световой, звуковой сигнализации и освещения). В соответствии с этим отказы как явления, заключающиеся в нарушении работоспособности объектов из-за достижения параметром предельной для конкретных условий величины, классифицируются как:

– *постепенные отказы* – постепенное изменение величины параметра до предельного, заранее примерно известного значения; характеризуются порой очень медленным, но прогнозируемым, т. е. математически вычисляемым текущим значением параметра по мере наработки узла, агрегата;

– *внезапные отказы* – непредсказуемые события, обусловленные непредвиденным, не прогнозируемым в данных конкретных условиях проявлением изменения величины параметров до предельного значения.

Диагностирование МТП оперирует только постепенно изменяющимися параметрами (расход картерных газов, компрессия, вакуумные показатели ЦПГ, давление в главной масляной магистрали, давление других масел и топлив, зазоры в ГРМ и агрегатах силовой передачи, подачи насосов, эффективная мощность и расход топлива и т. п.), лишь частично учитывая качественные признаки технического состояния. При внезапных отказах выявляют их место (заклинивание в ДВС, отказы систем топливоподачи, смазки и гидравлики, прорывы прокладок, отказы механических передач, рулевого управления и тормозов и т. п.), а также причину, методы устранения и предупреждения.

Внезапного проявления отказов станет меньше по мере развития методов и средств диагностирования. Пока же номинальное и допускаемое значения, по которым оценивают и прогнозируют техническое состояние узлов и агрегатов МТП, устанавливают только для тех параметров, которые изменяются в эксплуатации машин постепенно, а их изменения могут моделироваться математически.

Диагностика как наука и само направление диагностирования МТП в АПК, не сложившись окончательно, продолжают развитие. Недостатки – превалирование механических и гидравлических СТД, порой – отсутствие компьютеризации, автоматизации и процесса диагностирования и получения результатов контроля, отсутствие программ, средств и методов их хранения и систематизации, отсутствие автоматизации прогнозирования состояния объектов контроля. Недостаточно используются дистанционные физические методы контроля: оптические, термодинамические, электромагнитные, вибрационные, акустические (например, по ультразвуковой эмиссии), методы химмотологии и спектрального анализа масел и рабочих жидкостей, не хватает математической обработки результатов контроля динамичных рабочих процессов. Слабо проработаны методы выявления и устранения причин повышенного и аварийного изнашивания узлов трения, причин разрегулировок, внезапных отказов и неисправностей.

В связи с состоянием науки диагностики и ТО МТП мало используются методы и средства повышения надежности, работоспособности и эксплуатационного ресурса агрегатов новыми приемами триботехники, а многие государственные стандарты по методам, средствам и нормативам диагностирования устарели и требуют переработки. В недостаточном темпе ведутся работы по прогнозированию и упреждению отказов и неисправностей перспективными бортовыми системами контроля и управления машинами. Эти недостатки могут быть устранены с использованием зарубежных разработок.

1.3. Управление техническим состоянием машин по результатам диагностирования

Проблеме повышения эффективности использования сельскохозяйственной техники на всех этапах развития агропромышленного комплекса страны уделялось особое внимание.

«Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве» – разработанный ГОСНИТИ систематизирующий документ, содержащий основные концепции, положения и нормативы, обеспечивающие в системном виде осуществление процессов поддержания и восстановления работоспособности техники на основе целенаправленного управления ее

надежностью с применением средств диагностирования. Данная система устанавливает виды и порядок чередования ремонтно-обслуживающих воздействий, с помощью которых обеспечивается необходимое состояние машин, их работоспособность в течение всего периода эксплуатации.

Комплекс научных исследований и опыт показывают, что в процессе эксплуатации машин необходимо осуществлять целенаправленное управление их техническим состоянием. Это возможно с помощью системы ТО и ремонта, в которой подсистема ТО должна играть решающую роль.

ППС ТО и ремонта предусматривает контроль значений параметров технического состояния и восстановление этих значений до номинального уровня в случае, если в процессе контроля обнаружится, что параметр вышел за пределы допуска. Непременным условием своевременного выявления и предупреждения отказов, управления надежностью машин является применение методов и средств технического диагностирования, позволяющих измерить параметры и оценить качественные признаки состояния.

Система предусматривает при ТО периодический регламентный контроль значений диагностических параметров, а восстановление их значений до номинального уровня – только в случае, если значения параметров выйдут за допускаемые пределы. Методом и средством контроля параметров и качественных признаков состояния, условием своевременного выявления и предупреждения отказов, т. е. методом и средством управления надежностью машин является их диагностирование.

Современный уровень организации, методов и средств технического диагностирования позволяет выделить следующие *основные этапы*: выполнение подготовительных работ; диагностирование объекта; оценка и прогнозирование изменения технического состояния объекта и его основных частей; принятие решения об объеме ТО или ремонта объекта. Таким образом, техническое диагностирование позволяет получить, обработать, проанализировать и выдать информацию о техническом состоянии машины.

Основные положения организации и технологии технического диагностирования для сельскохозяйственной техники разработаны в ГОСНИТИ научной школой В. М. Михлина и обобщены в его работах.

Значительный вклад в области ТО и ремонта машинного парка с применением диагностирования внесли работы В. А. Аллилуева, А. В. Дунаева, Н. С. Ждановского, А. В. Ленского, В. М. Лившица, Л. В. Николаенко, Б. В. Павлова, Н. С. Пасечникова, И. П. Терских, Б. А. Улитовского и др. Выполненные исследования стали основой для внедрения в практику принципиально новой стратегии управления техническим состоянием машин с использованием современных методов и средств технического диагностирования.

Существующая система ТО ориентирована на проведение регламентных профилактических операций с определенной периодичностью и объемом, устанавливаемых в инструкциях по эксплуатации машин. Принципиальным недостатком этой системы является то, что она не обеспечивает необходимых предпосылок для удовлетворения предъявляемых к ней требований. Нормативом возобновления годности элементов машин здесь служит наработка.

С учетом того, что интенсивность старения даже одинаковых машин носит вероятностный характер, потребность их в обслуживании возникает в различные сроки. Это обуславливает неправомерность строго заданной периодичности ТО, т. к. для определенной части элементов машин оно запоздает или окажется преждевременным.

В первом случае машины будут эксплуатироваться в условиях отказа отдельных элементов, что даст возможность возникновения преждевременных износов, неисправностей и поломок их составных частей. Во втором – возникнут непроизводительные затраты на возобновление годных элементов, еще не выработавших свой ресурс.

Вследствие вероятностного характера распределения сроков выполняемых работ не исключается возможность достижения регламентируемой наработки в календарные сроки, совпадающие с плановыми периодами сельскохозяйственных работ. При постановке машины на ТО в такие периоды неизбежно возникают издержки, связанные с потерей основной продукции из-за нарушения оптимальных сроков выполнения работ вследствие простоя агрегата. Это обстоятельство является недостатком действующей системы.

Основная задача управления работоспособностью машин – проведение предупреждающих отказы ремонтно-обслуживающих работ по восстановлению параметров состояния машины. При этом используются показатели, непосредственно управляющие техническим состоянием и надежностью машин: степень восстановления

технического ресурса составной части; наработка машины или ее составной части до списания; межконтрольная наработка; назначенный остаточный ресурс; допустимое значение диагностического параметра. Оптимальные значения показателей являются характеристиками системы ТО и ремонта машин.

Управление техническим состоянием включает измерение параметров состояния с предельной погрешностью σ , сравнения измеренных значений с допускаемыми значениями D , обработки результатов измерения, определения остаточного ресурса составных частей $t_{ост}$, назначения вида (текущий или капитальный) и объема ремонта, наработки до его проведения, а также восстановления в определенной мере ресурса составных частей.

Для измерения параметров состояния и назначения необходимых ремонтно-обслуживающих работ служат средства технического диагностирования. В практике технической эксплуатации машин используются различного уровня применимости серийные комплекты диагностического оборудования, содержащие большое количество приборов и приспособлений – комплект средств экспресс-контроля поиска и устранения неисправностей агрегатов самоходных сельскохозяйственных машин (переносной диагностический комплект КИ-28032; переносной комплект диагностирования автотракторных дизелей КИ-28032.1; передвижная диагностическая установка КИ-28035; передвижная ремонтно-диагностическая мастерская КИ-28035.1; передвижная мастерская «Агротехсервис» КИ-28012-01 (КИ-28012-02) и др.).

В практическом плане диагностирование дает возможность устанавливать необходимость капитального ремонта машины или ее составных частей, объем и характер работ по ТР и ТО. Решения о проведении необходимых ремонтно-обслуживающих работ выносятся на основе оптимизации управляющих показателей с помощью экономического (минимум издержек на единицу наработки с учетом издержек от простоев по техническим причинам) или технического (максимальная вероятность безотказной работы) критериев.

В сельском хозяйстве в основном используется три *стратегии ТО и ремонта*:

– по потребности после отказа C_1 – замена, ремонт, регулирование составных частей после внезапного отказа, а также отказа, устранение последствий которого сопровождается относительно небольшими потерями (внезапный отказ ламп, контрольных приборов);

– по наработке или расходу топлива C_2 – работы носят планово-предупредительный характер, их проводят в течение наработки (срока службы) вне зависимости от состояния изделия (периодическая замена масла, смазка подшипников и т. п.);

– по состоянию с периодическим или непрерывным контролем C_3 – предупредительные работы проводят в зависимости от состояния машины. Контроль (диагностирование) осуществляют в плановом порядке для установления состояния машины. По такой стратегии заменяют цилиндро-поршневую группу, регулируют момент зажигания и т. п.

При ТО и ремонте сложного изделия используют несколько стратегий применительно к определенной составной части. Например, замену ламп фары трактора осуществляют по первой стратегии, замену масла в двигателе – по второй, замену цилиндро-поршневой группы двигателя – по третьей.

Выбор стратегии ТО и ремонта в первую очередь определяется особенностями использования машин, их безотказностью, ремонтно-контролепригодностью, а также экономическими характеристиками.

На основании проведенных исследований, практики технического сервиса в комплексной системе обоснован переход от жесткой планово-предупредительной стратегии ТО и ремонта (C_2) к ситуационному управлению надежностью машин в эксплуатации на основе оценки их технического состояния в производственных условиях. Предупредительный характер ремонтно-обслуживающих работ не отменяется, машина по-прежнему должна ремонтироваться заранее, еще будучи работоспособной. Однако потери технического ресурса при предупредительном ремонте на основе технического состояния с использованием средств диагностирования становятся меньшими, а вероятность безотказной работы – большей, чем при регламентной планово-предупредительной стратегии ТО и ремонта по наработке или расходу топлива.

Из используемых видов управляющих воздействий приоритет отдается ТО как необходимому профилактическому мероприятию, предусмотренному для обеспечения паспортных эксплуатационных данных машин. Время проведения контроля при ТО планируется жестко, фактические объемы работ, как правило, определяются на основе оценки технического состояния с помощью инструментальной диагностики. Периодическое плановое диагностирование и принятие мер по предупреждению неисправностей позволяют сократить число отказов диагностируемых машин (составных частей)

в три и более раза, уменьшить объем разборочно-сборочных работ и расход запасных частей на 30 %, расход топлива – на 10–15 %.

Технологии диагностирования машин разрабатываются с учетом особенностей системы C_3 и применяемых диагностических средств. Они имеют свое целевое назначение. Например, диагностирование тракторов при ТО-1 и ТО-2 контролирует функционирование защитных устройств, необходимых для нормальной работы составных частей, а при ТО-3 выявляет потребность в регулировке механизмов и систем, сложных операциях ТО или ремонта.

Организация работ по техническому диагностированию оказывает непосредственное влияние на качество и эффективность процесса, производительность и степень использования диагностических средств, которые должны быть тесно увязаны с принятыми организационными формами и методами ТО и ремонта.

В основу организации технического диагностирования должен быть положен принцип специализации и разделения труда, при котором диагностирование проводят специально подготовленные мастера и слесари-диагносты или мастера-наладчики. Возможны различные методы организации диагностирования: на стационарном посту, точный или при помощи передвижных диагностических средств.

Основными задачами диагностирования являются:

- проверка определенной совокупности параметров и качественных признаков технического состояния машины в процессе выполнения операций ТО и принятие решения о необходимости восстановления до номинального значения тех параметров, которые вышли за допускаемые пределы;

- определение необходимости полной разборки и проведения капитального ремонта машины и ее составных частей (предремонтное диагностирование) и оценка качества ремонта (послеремонтное диагностирование);

- проверка работоспособности и правильности функционирования составных частей машины;

- получение информации для прогнозирования остаточного ресурса и принятие решения по восстановлению ресурса машины или составных частей при достижении машиной доремонтной или межремонтной наработки.

Диагностирование при эксплуатации машины может быть плановым (при периодических ТО) или заявочным (для выявления

неисправностей). Оно может проводиться совместно с работами по ТО (совмещенное диагностирование) или отдельно (специализированное). Совмещенное рекомендуется выполнять, как правило, при ТО-1, ТО-2 и при устранении последствий отказов тракторов. Специализированное осуществляется при ТО-3 и организуется либо на станции технического обслуживания тракторов (СТОТ), либо при помощи передвижных диагностических средств районных агросервисных предприятий.

При планировании диагностических работ необходимо увязывать их с выполнением ремонтно-обслуживающих воздействий и с календарными сроками выполнения сельскохозяйственных работ. На первый квартал планируется выполнение пред- и послеремонтного диагностирования при ремонте и техническом осмотре машин. Во втором и третьем кварталах необходимо проводить плановое (при ТО) и заявочное диагностирование, а в четвертом – диагностирование после окончания полевых работ (предремонтное), а также плановое и заявочное для машин, работающих в осенне-зимний период.

Рациональная организация работ по техническому диагностированию обуславливает их высокую экономическую эффективность. Это достигается уменьшением расхода топлива, сокращением числа постепенных отказов, увеличением фактической доремонтной и межремонтной наработки, сокращением числа капитальных ремонтных машин, улучшением показателей машиноиспользования.

Обоснование оптимальной стратегии управления техническим состоянием машин по результатам диагностирования требует дифференцированного подхода к определению ее эффективности применительно к конкретным условиям сельскохозяйственных производств. С этой целью ГОСНИТИ совместно с БИМСХ (БГАТУ) в период с 1982 по 1990 г. провели экспериментальные исследования, направленные на апробацию и внедрение данной стратегии на примере тракторов МТЗ-80/82 в условиях хозяйств Республики Беларусь.

Основное внимание проводимых исследований сосредотачивалось на оперативном и достоверном определении технического состояния тракторов с использованием имеющихся средств и методов диагностирования; установлении оптимальной периодичности диагностирования; экспериментальной проверке правил назначения вида, объема и срока выполнения ремонтных воздействий; оптимизации допускаемых отклонений параметров, характеризующих износ

дефицитных деталей; исследование возможностей внедрения автоматизированных средств управления процессом ТО и ремонта машин.

Объектами исследования стали две группы тракторов МТЗ-80/82 – экспериментальные и контрольные, используемые в рядовых условиях эксплуатации типичных хозяйств Беларуси, по которым осуществлялся сбор исходной информации для оценки показателей надежности и отработывалась стратегия управления их техническим состоянием по итогам диагностирования.

В результате проведенных исследований определены показатели машиноиспользования и надежности тракторов МТЗ-80/82; построена динамика отклонений диагностических параметров в зависимости от наработки; осуществлена производственная проверка правил оценки критериев предельного состояния, регламентирующую обоснованную постановку тракторов на ремонт с учетом оптимального использования технического ресурса их составных частей; обоснована возможность изменения до оптимальных значений параметров технического состояния (износа деталей и сопряжений) в условиях дефицита запасных частей; выявлены возможности совершенствования управления процессом ТО и ремонта тракторов по результатам диагностирования как при существующих методах и средствах управления, так и при внедрении автоматизированных систем.

Построены два статистических ряда измеренных значений по каждому i -му параметру $\Pi_{ij}(t)$ и наработке, где $i = 1, 2, \dots, n$; n – число структурных параметров.

Показатели динамики определялись по выбранной номенклатуре структурных параметров. По внезапным отказам ограничивались сопоставлением ресурса и коэффициента вариации.

Прогнозирование диагностических параметров производилось по конкретным реализациям, установленным в процессе диагностирования. В качестве аппроксимирующих функций $U(t)$ использованы степенные зависимости

$$U(t) = \Delta\Pi + V_c t^a, \quad (1.1)$$

где $\Delta\Pi$ – показатель, характеризующий приработку элемента, численно равный значению ординаты при $t = 0$;

V_c – случайная величина, характеризующая показатель скорости изменения параметра под влиянием внутренних факторов;

t – наработка;

a – показатель степени, определяющий характер изменения параметров.

Для оптимизации допускаемых отклонений параметров $U(D)$ и межконтрольной наработки t_M использовалась целевая функция

$$G = \min \left\{ \frac{AQ(D, t_M)}{T_{cp}(D, t_M)} + \frac{C[1 - Q(D, t_M)]}{T_{cp}(D, t_M)} + \frac{BK_{II}(D, t_M)}{T_{cp}(D, t_M)} \right\}, \quad (1.2)$$

где $Q(D, t_M)$ – вероятность отказа элемента за срок службы в зависимости от D и t_M ;

$T_{cp}(D, t_M)$ – фактически используемый ресурс элемента по параметру в зависимости от D и t_M ;

A, C – средние дискретные издержки, связанные с устранением последствий отказа и предупредительным восстановлением элемента по параметру;

B и $K_{II}(D, t_M)$ – издержки, связанные с диагностированием, и число проверок элемента в зависимости от D и t_M без учета проверок при предупредительном восстановлении и устранении последствий отказа.

Остаточный ресурс, когда t_M не задано, определяется по формуле

$$t_{ост} = t_k \frac{U_k}{U_n} - 1, \quad (1.3)$$

где U_n, U_k – соответственно предельное и измеренное значения отклонений параметров: $U(t_k + t_{ост}) = U_n t_{ост} = t_M$.

Ресурс конкретной составной части при индивидуальном прогнозировании изменения ее параметра по реализации представляется как сумма наработки к моменту контроля t_k и остаточного ресурса $t_{ост}$:

$$t_{cp} = t_k + t_{ост}. \quad (1.4)$$

В процессе опытно-производственной проверки стратегии управления техническим состоянием тракторов МТЗ-80/82 по результатам их диагностирования рассматривалась задача уменьшения дефицита запасных частей путем управления допускаемыми отклонениями параметров состояния. Решение – целенаправленное расширение допускаемого отклонения параметра, характеризующего износ дефицитной детали (сопряжения) в случае появления

сбоев в системе материально-технического снабжения. В целях сохранения безотказности составных частей на прежнем уровне одновременно ужесточаются технические требования на замену деталей, имеющих в избытке. Увеличивая допускаемое значение диагностического параметра до оптимального уровня, можно значительно уменьшить число предупредительно заменяемых деталей, тем самым повысить их фактический используемый ресурс и снизить потребность в их замене.

Результаты исследований показали, что применение обоснованных правил назначения ремонтно-обслуживающих воздействий по потребности, определяемой диагностированием, позволяет улучшить показатели машиноиспользования, безотказности и долговечности тракторов (табл. 1.1, 1.2).

В процессе исследований обоснованы предельные и допустимые значения диагностических параметров тракторов «Беларус-80/82», разработаны рекомендации по совершенствованию организации, методов и средств технической диагностики тракторов, определены показатели надежности тракторов «Беларус-80/82» и представлены конкретные рекомендации заводу-изготовителю по улучшению конструкции.

Таблица 1.1

Основные показатели машиноиспользования тракторов «Беларус-80/82»

Показатели	Группы тракторов	
	экспериментальная	контрольная
Общие показатели		
Среднегодовая наработка, ч (усл. эт. га)	1080 (1190)	1050 (1155)
Годовой расход горючего, кг	6186	5895
Трудоемкость ТР, ч	43,3	51,1
Затраты на ТР, руб.	303,72	349,27
Удельные показатели		
Расход топлива, кг/ч	5,7	5,7
Трудоемкость ТР, ч/1000 ч (ч/1000 усл. эт. га)	40,1 (36,4)	48,8 (42,8)
Затраты на ТР, руб./1000 ч (руб./1000 усл. эт. га)	281,2 (255,2)	332,6 (292,3)

Таблица 1.2

Показатели долговечности основных агрегатов тракторов МТЗ-80/82 до первого капитального ремонта

Агрегаты	Ресурс, тыс. ч		
	средний	80 %-ный	остаточный
Двигатель Д-243	7,5/6,3*	5,5/4,6	1,5/1,0
Топливный насос	5,2/3,4	3,1/2,5	1,0/1,2
Гидронасос НШ-32	6,0/5,4	4,4/3,5	–
Сцепление	8,5/6,3	5,2/4,5	–
Коробка переменных передач	7,4/7,3	5,5/5,3	1,4/1,3
Передняя ось	8,8/7,9	5,3/4,3	–
Передний мост	7,6/–	4,6/–	–

*Первое значение – для экспериментальных тракторов, второе – для контрольных.

Наработка на отказ экспериментальных тракторов оказалась на 15,5 % выше, чем у контрольной группы. Показатель ремонтпригодности (удельная трудоемкость восстановления работоспособности) рассматриваемых групп тракторов оказался равным 40,1 ч на 1000 ч для экспериментальных и 48,8 ч – для контрольных. Таким образом, удельная трудоемкость восстановления работоспособности тракторов, по которым осуществлялось управление техническим состоянием по результатам диагностирования, снизилась на 21,7 %. По результатам исследований получены параметры функции (табл. 1.3), построена динамика отклонений диагностических параметров (рис. 1.1–1.5).

Таблица 1.3

Показатели функции изменения параметров технического состояния составных частей тракторов «Беларус-80/82»

Диагностические параметры	Параметры функции			Предельные значения		Нормативные значения параметров		
	ΔP	\bar{V}_c	a	наработка t_n , ч	параметра U_n	номинального U_n	допустимого при остаточном ресурсе, ч	
							125	500
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Экспериментальные тракторы								
Дизель								

Продолжение таблицы 1.3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
Мощность, кВт	0,99	0,739	0,77	–	44,1	58,8	44,0	48,5
Давление масла, МПа	0,05	0,014	0,68	–	0,08	0,25	0,08	0,1
Расход картерных газов, л/мин	6,61	8,25	0,95	7,5	90	28	89	86
Суммарный зазор шатуна, мм	0,02	0,02	1,16	–	0,85	0,12	0,78	0,76
Высота кулачков, мм	0,04	0,08	1,00	–	9,56	10,2	9,60	9,85
<i>Топливная аппаратура</i>								
Мощность, кВт	1,52	0,71	0,69	–	44,1	58,8	44,1	48,5
Объемный расход топлива, л/ч	0,93	0,21	1,08	5,2	26,6	18,3	20,6	19,6
Неравномерность подачи, %	4,8	0,30	1,34	5,2	13,5	6	13,0	13,0
<i>Гидросистема</i>								
Подача насоса, л/мин	5,56	1,75	1,05	5,5	26,6	45	29,3	30,4
Утечка в распределителе, л/мин	2,80	1,13	0,68	–	12	5	12	11
<i>Ходовая система</i>								
Радиальный зазор цапф, мм	0,02	0,004	2,19	8,8	0,69	0,2	0,68	0,65
Осевой зазор колес, мм	0,03	0,003	2,20	–	0,30	0,15	0,30	0,20
Сходимость, мм	5,0	0,52	0,58	–	8	6	8	8
<i>Трансмиссия</i>								
Суммарный зазор передач:								

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
– 3	1,56	0,46	1,16	7,4	6,7	0,5	6,6	6,4
– 6	1,53	0,79	0,91	–	7,0	1,0	7,0	7,0
– 9	1,77	0,37	1,29	–	6,5	1	6,5	6,5
Контрольные тракторы								
<i>Дизель</i>								
Мощность, кВт	1,39	1,19	0,80	–	44,1	58,8	44,1	48,5
Давление масла, МПа	0,001	0,02	0,87	–	0,08	0,25	0,08	0,1
Расход картерных газов, л/мин	6,27	5,67	1,21	–	90	28	90	0,70
Суммарный зазор шатуна, мм	0,02	0,02	1,18	–	0,85	0,12	0,78	9,0
Высота кулачков, мм	0,003	0,03	1,69	–	8,4	10,2	8,5	–
<i>Топливная аппаратура</i>								
Мощность, кВт	0,54	0,27	0,70	–	44,1	58,8	44,1	48,5
Объемный расход топлива, л/ч	1,25	0,48	1,73	–	20,6	18,3	20,6	19,6
Неравномерность подачи, %	6,0	0,95	0,60	–	10	6	10	10
<i>Гидросистема</i>								
Подача насоса, л/мин	2,26	0,70	1,85	–	29	45	19	21
Утечка в распределителе, л/мин	3,0	1,08	0,67	–	15	5	15	12
<i>Ходовая система</i>								
Радиальный зазор цапф, мм	0,02	0,005	1,66	–	0,6	0,2	0,6	0,4
Осовой зазор колес, мм	–	–	–	–	0,3	0,15	0,3	0,2
Сходимость, мм	5,0	0,73	0,76	–	8	6	8	8
<i>Трансмиссия</i>								

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Суммарный зазор передач:								
- 3	2,1	0,20	1,09	-	6	0,5	9	6
- 6	2,2	0,31	0,92	-	7	1,0	7	7
- 9	2,4	0,45	0,85	-	6,5	1	6,5	6,5

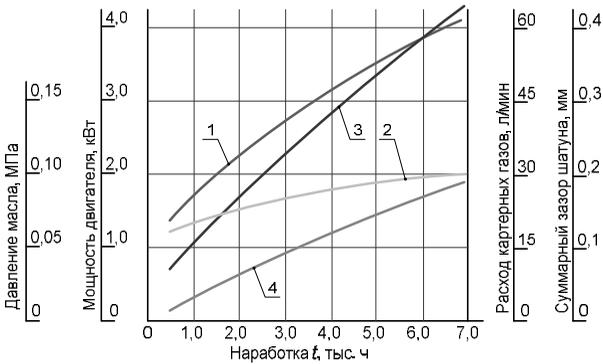


Рис. 1.1. График отклонения диагностических параметров дизелей Д-243:
 1 – мощность двигателя, кВт; 2 – давление масла, МПа;
 3 – расход картерных газов, л/мин; 4 – суммарный зазор шатуна, мм

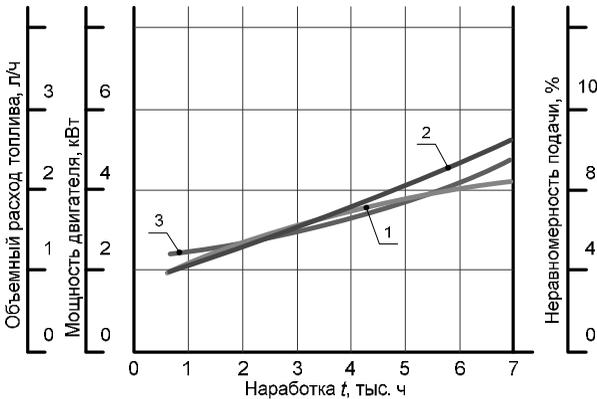


Рис. 1.2. График отклонения диагностических параметров топливной аппаратуры дизелей Д-243:
 1 – мощность двигателя, кВт; 2 – объемный расход топлива, л/ч;
 3 – неравномерность подачи, %

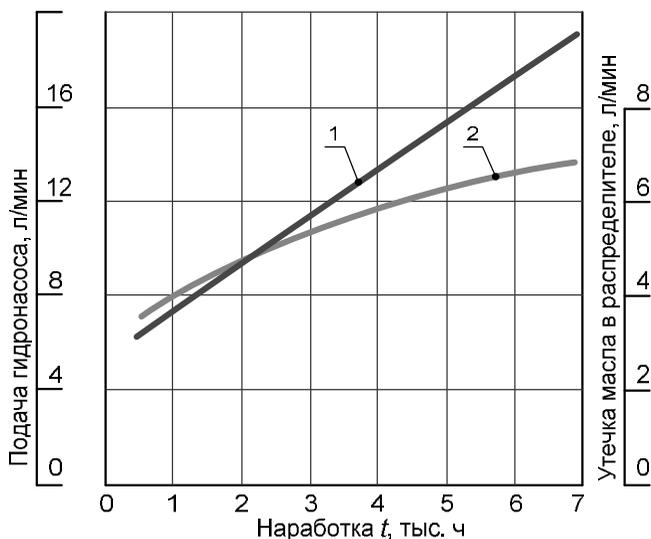


Рис. 1.3. График отклонения диагностических параметров гидросистемы:
 1 – подача гидронасоса, л/мин; 2 – утечка масла в распределителе, л/мин

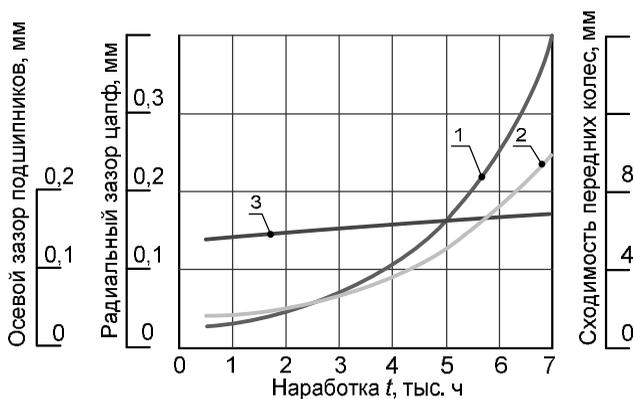


Рис. 1.4. График отклонения диагностических параметров ходовой системы:
 1 – радиальный зазор цапф, мм; 2 – осевой зазор подшипника, мм;
 3 – сходимость передних колес, мм

Результаты проведенных исследований показали, что реализация стратегии управления техническим состоянием машин по итогам диагностирования позволяет повысить коэффициент

технической готовности на 8–10 %, сократить простои из-за отказов на 10–15 % и уменьшить издержки на устранение их последствий на 15–20 %.

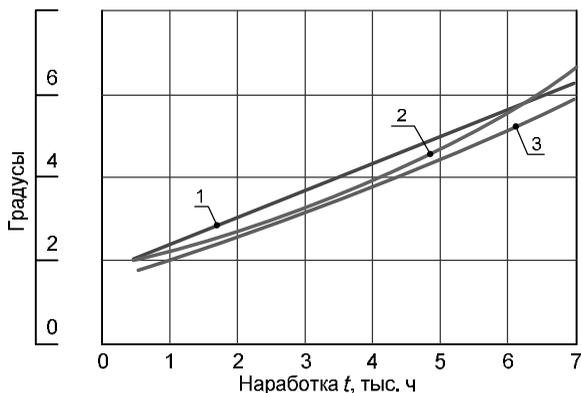


Рис. 1.5. График отклонения диагностических параметров трансмиссии (суммарный угловой зазор по передачам, град.):
1–3-я передача; 2–6-я передача; 3–9-я передача

Управление техническим состоянием машин является непрерывным процессом, обеспечивающим работоспособность системы технического обслуживания и ремонта техники (ТОР). Процесс управления состоит из нескольких этапов (рис. 1.6).

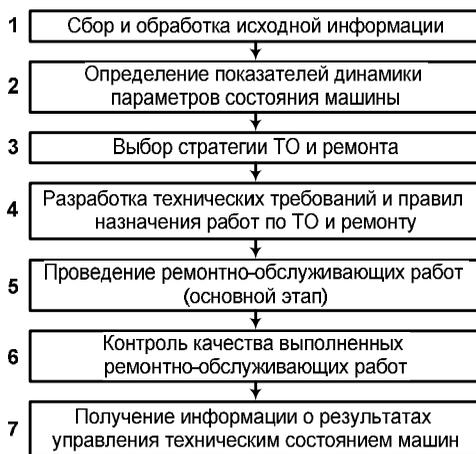


Рис. 1.6. Этапы процесса управления техническим состоянием машин

На рис. 1.7 представлена схема процесса управления техническим состоянием машин.

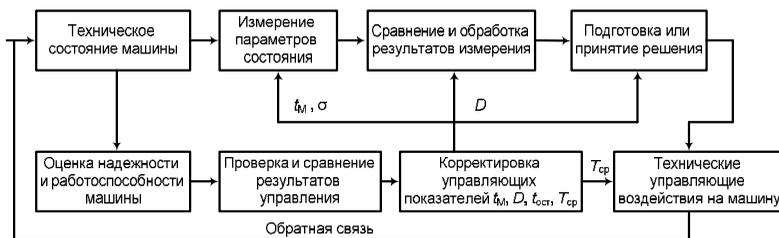


Рис. 1.7. Схема процесса управления техническим состоянием машины

На *первом этапе* получают и обрабатывают информацию для определения значений параметров, оценки качественных признаков и наработки конкретной машины при диагностировании; нахождения показателей динамики параметров состояния, надежности составных частей машин, экономических и экологических характеристик их отказа и восстановления.

На *втором этапе* устанавливают зависимости изменения параметров состояния от ряда факторов, причинной связи элементов, показателей безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости в определенных условиях. На этом же этапе определяют динамическую модель машины и ее составных частей, используя показатели динамики и причинную связь ее элементов. Одновременно ставят диагноз состояния конкретной машины и на основе полученных графиков зависимости прогнозируют это состояние на будущее. При этом руководствуются нормативными допускаемыми и предельными значениями параметров состояния. Если параметр состояния превысил допускаемое значение, необходимо провести предупредительные работы по восстановлению номинального значения параметра. При достижении параметром предельного значения констатируют отказ составной части. Необходимость проведения капитального ремонта агрегата определяют по достижении им предельного состояния.

Третий этап предусматривает выработку общего решения, которое определяет стратегию ремонтно-обслуживающих работ. Стратегию выбирают по результатам первых двух этапов управления на основе сравнения показателей надежности при различных стратегиях. Предварительно обосновывают критерии выбора стратегии ТОР.

Четвертый этап направлен на конкретизацию общего решения, выбор и формирование конкретных частных задач, обоснование целевых функций для их реализации. Для решения конкретных задач разрабатывают типовые правила решений, в т. ч. правила назначения ремонтно-обслуживающих работ, составляют алгоритмы решения конкретных задач, планируют нормативы для их решения. Основные решения частных задач сводятся к установлению необходимости проведения определенных регулировочных и других операций ТО, устранения неисправностей при ТО и ТР с заменой или восстановлением конкретных составных частей и указанием объема, срока и места ремонта.

При принятии решений учитывают характеристики производственной ситуации: время до окончания сезона работы, наличие дефицита необходимых запасных частей, число резервных машин, возможность проведения ремонта и т. п.

Пятый этап управления заключается в организации ремонтно-обслуживающих работ в целях реализации общего и частных решений. Этап является основным и обуславливает поддержание и восстановление работоспособности и исправности машины. Он включает все операции ТОР. На этом этапе в качестве обобщенного управляющего показателя служит средний ресурс T_a составных частей по каждому структурному параметру состояния. Недостаточная степень восстановления снижает этот ресурс.

Шестой этап – контроль качества выполнения ремонтно-обслуживающих работ. Управляющими показателями здесь выступают технические требования на проведение операций ТОР и прижатие машин после ремонта. Также устанавливают достоверность постановки диагноза и правильность назначения ремонтно-обслуживающих работ.

Седьмой этап управления служит для получения информации о результатах деятельности системы ТОР, надежности и эффективности работы сельскохозяйственной техники в процессе эксплуатации, причинах отказов и т. п., а также обратной связи в процессе управления. В результате сравнения ожидаемых оптимальных значений показателей надежности машин с фактическими проводят корректировку управляющих показателей для уменьшения отклонений, выявленных при сравнении. Затем осуществляют новый цикл управления.

1.4. Оценка уровня технического сервиса машин

По согласованному мнению экспертов обобщенные факторы, характеризующие уровень технического сервиса по степени значимости, располагаются в следующем порядке:

1. Качество проведения технического обслуживания и ремонта МТП.
2. Квалификация механизаторов.
3. Качество горюче-смазочных материалов.
4. Уровень применения диагностирования.
5. Уровень ремонтно-обслуживающей базы.
6. Качество хранения техники.

Каждый из обобщенных факторов обеспечивается частными (определяющими) факторами.

Качество проведения технического обслуживания и ремонта МТП характеризуется следующими частными факторами:

- соблюдением периодичности проведения ТО;
- полнотой выполнения перечня операций по видам ТО;
- квалификацией исполнителей для проведения ТО и ремонта;
- наличием технической документации на ТО и ремонты;
- качеством применяемых при ремонте запасных частей и материалов.

Квалификация механизаторов характеризуется:

- классностью механизаторов;
- стажем работы;
- образованием;
- организацией обучения механизаторов в хозяйстве;
- уровнем материальной и моральной заинтересованности механизаторов в поддержании техники в технически исправном состоянии.

Качество применяемых горюче-смазочных материалов:

- соответствием вида топлива ГОСТ и температуре окружающей среды;
- соответствием сортамента применяемого топлива и масла, рекомендуемым заводами-изготовителями.

Уровень применения диагностирования:

- применением диагностирования при проведении технического обслуживания;
- применением диагностирования для определения потребности в ремонте;

– техническими характеристиками оборудования, применяемого для диагностирования.

Уровень ремонтно-обслуживающей базы:

- оснащением и вместимостью ремонтной мастерской;
- оборудованием пункта технического обслуживания тракторов современными приборами и приспособлениями;
- наличием передвижных средств ТО;
- оснащением нефтебазы средствами механизированной заправки и контроля качества ТСМ;
- наличием и использованием оборудования для подогрева воды и масел.

Качество хранения техники:

- наличием базы для хранения (гаражей и площадок);
- соблюдением правил подготовки и хранения машин и их узлов, агрегатов и деталей.

Весомость обобщенных факторов в поддержании МТП в технически исправном состоянии, по экспертной оценке, приведена в табл. 1.4.

Для характеристики технического сервиса предприятий АПК разработана классификация, которая включает в себя обобщенные факторы, расположенные в порядке весомости, частные (определяющие) факторы, характеризующие обобщенные факторы, и различное состояние уровня определяющих факторов.

Каждый из определяющих факторов может находиться на любом из четырех уровней: высоком, среднем, низком и очень низком.

Таблица 1.4

Коэффициенты весомости обобщенных факторов

Наименование обобщенных факторов	Коэффициент весомости
Качество проведения ТО и ремонта	1,0
Квалификация механизаторов	0,9
Качество ТСМ	0,6
Уровень применения диагностирования	0,5
Уровень ремонтно-обслуживающей базы	0,4
Качество хранения техники	0,3

Высокий уровень соответствует состоянию, когда выполняются условия поддержания в технически исправном состоянии МТП на уровне передовых хозяйств, а также все условия, обеспечивающие

соблюдение требований ГОСТ, технических регламентов и заводских инструкций по эксплуатации машин. Остальные три уровня технической эксплуатации соответствуют состояниям, имеющим отклонения различной степени от высокого уровня.

Кроме качественной оценки уровня для выбора направлений по его повышению проводят количественную оценку с помощью показателей, которые определяются для обобщенных факторов по формуле

$$K_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i}, \quad (1.5)$$

где K_j – частный показатель уровня технического сервиса j -го обобщенного фактора;

d_i – значение i -го частного (определяющего) фактора в зависимости от уровня его реализации;

n – число определяющих факторов для j -го обобщенного фактора;

Π – знак произведения.

Для каждой качественной оценки фактора в табл. 1.5 приведены соответствующие количественные значения.

Таблица 1.5

Показатели уровня технического сервиса

Качественные оценки уровня технического сервиса	Количественные значения уровня технического сервиса	
	Диапазон возможных значений	Оперативное значение
Высокий	1,00...0,90	0,95
Средний	0,89...0,64	0,76
Низкий	0,63...0,38	0,50
Очень низкий	0,37...0,20	0,28

Чем ближе значение K_j к единице, тем выше уровень обобщенного фактора и тем выше уровень технического сервиса в оцениваемом хозяйстве.

Обобщенный показатель уровня технического сервиса в конкретном предприятии определяется по следующей формуле:

$$K_{об} = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m K_j}, \quad (1.6)$$

где m – количество обобщенных факторов, принятых для оценки уровня.

Примеры использования приведенной методики достаточно широко апробированы в ряде сельхозпредприятий республики [1 и др.].

По результатам оценки уровня технического сервиса составляется план мероприятий по повышению уровня поддержания в технически исправном состоянии МТП сельхозпредприятия.

2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

2.1. Система технического обслуживания и ремонта машин

Под *эксплуатацией машин и оборудования* понимают стадию их жизненного цикла, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается их качество. *Производственная эксплуатация* охватывает использование машины по назначению и процессы, сопровождающие непосредственное использование техники, а *техническая* – вопросы поддержания машин в работоспособном состоянии.

Техническая эксплуатация машин как наука определяет пути и методы наиболее эффективного управления техническим состоянием машин в целях их высокопроизводительной и надежной работы при оптимальных материальных и трудовых затратах.

Техническая эксплуатация машин как область практической деятельности – комплекс технических, экономических, организационных и других мероприятий, обеспечивающих поддержание машин в работоспособном, исправном состоянии, предупреждение их простоев из-за технических неисправностей.

Техническая эксплуатация включает в себя следующие *этапы использования*: предпродажное обслуживание; обкатка машин; заправка топливом; транспортирование машины или комплексов машин перед, в период и после работы; гарантийное обслуживание (ремонт); ресурсное диагностирование; ТО и ремонт; консервация и хранение машин; ремонт, модернизация подержанной техники для продажи; разборка после списания машины (составной части) с утилизацией не пригодных, с использованием оставшихся частей.

Неотъемлемой частью системы является *система ТО и ремонта машин* – совокупность взаимосвязанных работ, материальных и финансовых средств, документации ТО и ремонта, и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества машин.

В сельском хозяйстве Республики Беларусь сложилась ППС ТО и ремонта, которая распространяется на все виды сельскохозяйственной техники: необходимый уровень надежности машин и механизмов

поддерживается в течение всего срока службы комплексом профилактических воздействий и текущих ремонтов. Полное же восстановление технического ресурса достигается капитальным ремонтом полнокомплектных машин и их составных частей.

Техническая и организационная основа ППС – *принудительное выполнение операций* ТО машин и осуществление ремонтных работ по мере возникновения в этом реальной необходимости.

Основными элементами системы ТО и ремонта тракторов и самоходных шасси, другой сельскохозяйственной техники являются: ТО при подготовке к эксплуатационной обкатке, во время нее и по ее окончании; ежесменное техническое обслуживание (ЕТО); первое техническое обслуживание (ТО-1); второе (ТО-2); третье (ТО-3); сезонное ТО при переходе к весенне-летнему периоду эксплуатации (ТО-ВЛ) и к осенне-зимнему периоду (ТО-ОЗ); текущий и капитальный ремонты.

Для тракторов, работающих на песчаных, каменистых и болотистых почвах, при низких температурах и в условиях радиоактивного заражения, проводится специальное ТО, рассчитанное на эти условия. Виды ТО машин приведены в табл. 2.1.

ТО при обкатке машин производится в условиях хозяйств, эксплуатирующих машины, с целью оптимальной приработки составных частей и доведения их до состояния, обеспечивающего дальнейший естественный износ.

Ежесменное техническое обслуживание (ЕТО) предусматривает проверку технического состояния машины в начале или по окончании рабочей смены (проведение очистительно-моечных, контрольно-регулирующих и смазочно-заправочных работ). ЕТО проводят по месту работы машины или в специальных помещениях силами обслуживающего персонала, за которыми они закреплены.

Периодическое техническое обслуживание (ТО-1, ТО-2, ТО-3) проводят через определенный интервал времени или наработки машиной заданного объема работ (выполнение очистительно-моечных, диагностических, крепежных, регулировочных и смазочно-заправочных операций).

Сезонное техническое обслуживание для машин, работающих в течение года, проводят два раза. При переходе на весенне-летний период эксплуатации СТО-ВЛ проводят при установившейся среднесуточной температуре окружающего воздуха выше 5 °С; при переходе на осенне-зимнюю эксплуатацию СТО-ОЗ проводят, если установившаяся температура ниже 5 °С. ТО машин, которые работают сезонно,

проводят перед началом сезонных работ. Цель всех видов ТО – обеспечение должных условий эксплуатации или хранения машин путем проведения очистительно-моечных, контрольно-осмотровых, крепежных, регулировочных и смазочно-заправочных операций. Сезонное обслуживание обычно совмещают с очередным периодическим обслуживанием.

Таблица 2.1

Техническое обслуживание машин

Вид ТО	Тракто- ры и са- моход- ные шасси	Авто- моби- ли	Комбайны, сложные са- моходные и прицепные машины, сложные ста- ционарные машины по обработке сельскохозяй- ственных культур	Посевные и посадочные машины, жатки и подборщи- ки, машины по защите растений и внесению удобрений	Почвообраба- тывающие ма- шины, прицепы и тележки; транспортёры, простые ста- ционарные машины по обработке сельскохозяй- ственных культур
1	2	3	4	5	6
При эксплуа- тационной обкатке	+	+	+	+	+
Ежемесячное	+	+	+	+	+
Первое	+	+	+	+	–
Второе	+	+	+	–	–
Третье	+	–	–	–	–
Сезонное					
при переходе к весенне- летнему периоду экс- плуатации	+	+	–	–	–
при переходе к осенне- зимнему периоду экс- плуатации	+	+	–	–	–

1	2	3	4	5	6
Перед началом сезона	–	–	+	+	+
Для особых условий эксплуатации (на песчаных, каменистых и болотистых почвах, при низких температурах и в условиях радиоактивного заражения)	+	–	–	–	–
При подготовке к кратковременному хранению	+	–	–	–	–
При подготовке к длительному хранению	+	+	+	+	+
В процессе длительного хранения	+	+	+	+	+
При снятии с длительного хранения	+	+	+	+	+

В соответствии с ГОСТ 18322–78 ремонт – комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности изделий, или их составных частей.

В зависимости от конструктивной сложности машин и характера возникающих при их работе неисправностей выполняется два вида ремонта: текущий и капитальный. Для простых сельскохозяйственных машин предусматривается проведение только текущего ремонта.

Текущий ремонт (ТР) – наиболее распространенный вид ремонта, направленный на обеспечение или восстановление работоспособности машин. ТР проводится с целью устранения возникающих отказов и неисправностей заявочно, а также в плановом порядке по результатам диагностирования. ТР включает в себя все операции, входящие в периодическое ТО, а также работы по частичной разборке машины с заменой отдельных составных частей новыми или восстановленными. В процессе последующей сборки машины производится регулировка механизмов, обкатка и подкраска с восстановлением внешнего вида.

Содержание текущего ремонта должно устанавливаться на основании оценки технического состояния машины в эксплуатационной ситуации.

Текущий ремонт предупредительного характера преимущественно совмещается с ТО определенного вида, установленным для машин данной марки, а устранение отказов производится непосредственно после их обнаружения. При текущем ремонте агрегаты (узлы), требующие капитального ремонта, заменяют на отремонтированные или новые. Выполнение и планирование текущих ремонтов организуют с учетом конструктивных особенностей машин и условий их работы.

Текущий ремонт тракторов состоит из непланового (заявочного) ремонта, связанного с устранением неисправностей и проведением предупредительных работ, необходимость которых устанавливается в процессе использования или при ТО, и планового ремонта, который проводится по результатам ресурсного диагностирования.

Текущий ремонт комбайнов бывает плановым, выполняемым после сезона уборки, и неплановым (заявочным) – по устранению неисправностей и отказов машин, возникающих при их работе. Объем и состав ремонтных работ при плановом текущем ремонте уточняют диагностированием. Необходимость в неплановом текущем ремонте обычно устанавливают при ЕТО и ТО-1. Трудовые и денежные затраты на выполнение текущих ремонтов нормируют суммарно.

Текущий ремонт автомобилей осуществляется путем устранения неисправностей и отказов, возникающих при работе автомобилей, не регламентируется пробегом и выполняется для обеспечения работоспособного состояния до очередного ТО. При текущем ремонте производится замена отдельных составных

частей агрегатов, исчерпавших свой ресурс. Текущий ремонт автомобилей планируют по удельным затратам (трудовым и денежным) на 1 тыс. км пробега.

Текущий ремонт оборудования животноводческих ферм и комплексов – основной вид ремонта, а основным методом выполнения ремонтных работ служит агрегатный метод. Машины, как правило, ремонтируют на месте их использования, а агрегаты и узлы в зависимости от сложности ремонтных работ – на соответствующих ремонтных подразделениях хозяйств, районных и областных предприятиях. Для сокращения сроков ремонта создается обменный фонд составных частей машин. Необходимость текущего ремонта устанавливается при проведении ТО оборудования с использованием средств технической диагностики.

Текущий ремонт сельскохозяйственных машин, использование которых носит сезонный характер, выполняют в плановом порядке до или после сезона работ. Внеплановый ремонт – заявочный текущий ремонт в процессе эксплуатации машин при возникновении случайных отказов или неисправностей.

Капитальный ремонт (КР) – наиболее трудоемкий и материалоемкий вид ремонта, предусматривающий одновременное восстановление исходных параметров машин путем замены или восстановления их частей, включая базовые, и направленный на восстановление исправности и полного или близкого к полному ресурсу машин.

Потребность машин и их составных частей в капитальном ремонте определяют по техническому и экономическому критериям. *Технический* устанавливает потребность в проведении капитального ремонта при износе базовых деталей и нарушении размерных цепей, вызывающих форсированное изнашивание как оставшихся, так и вновь вводимых элементов. *Экономический* определяет оптимальную периодичность постановки объекта в капитальный ремонт, при котором будет обеспечен минимум затрат на единицу наработки машины за срок ее службы.

Капитальный ремонт планируют как по срокам, так и по объемам работ. Для современных машин, используемых в сельском хозяйстве, полнокомплектный капитальный ремонт проводится, как правило, один раз за срок их службы. Качество капитального ремонта машины и всех ее составных частей должно обеспечивать уровень восстановления характеристик надежности, включая ресурс, не менее 80 % от исходных характеристик нового изделия.

В основу формирования системы ТО и ремонта машин в сельском хозяйстве положены исследования, проводимые учеными ГОСНИТИ, аграрных вузов, НИИ и вузов автотранспорта. Начиная с 50-х гг. XX в. создавалась нормативно-техническая документация ППС ТО и ремонта машинно-тракторного парка (МТП) и автотранспорта. В середине 60-х гг. работами известных советских ученых А. И. Селиванова, С. С. Черепанова, Е. С. Кузнецова, В. М. Михлина и многих других эта система стала дополняться мероприятиями более прогрессивной системы обслуживания и ремонта по фактическому состоянию. Несколько позже эта система с контролем и корректировкой уровня надежности машин стала развиваться и за рубежом под названием *condition monitoring*. По мере оснащения отраслей соответствующим оборудованием обслуживание по фактическому состоянию стало внедряться в систему ТО и ремонта многих отраслей промышленности и АПК.

Развиваясь, ППС ТО и ремонта МТП АПК под условным названием «Торсельхоз» использовала наиболее эффективные способы управления техническим состоянием и надежностью машин с применением средств контроля (что отражено в работах профессора В. М. Михлина). В регламентный контроль технического состояния машин по установленной периодичности (ГОСТ 20793) органически встраивался порядок и содержание конкретных работ обслуживания и ремонта в соответствии с техническим состоянием, определяемым методами и средствами диагностики.

На первоначальном этапе развития системы опыт передовых служб диагностики МТП 60-х гг., по данным профессора ЛСХИ Н. С. Ждановского, показал, что квалифицированное и планомерное диагностирование способствует значительному повышению срока службы автотракторных ДВС, вплоть до 2–2,5 раз. Выявление и устранение неисправностей и разрегулировок, предупреждение серьезных неисправностей машин позволяют уменьшить затраты на их ремонт и использование, уменьшить расход ТСМ, значительно повысить производительность МТП.

Практика эксплуатации МТП АПК в 60-е гг., по данным ЛСХИ, НАТИ и ГОСНИТИ, показала, что без диагностирования машин низка культура их эксплуатации и имеют место следующие ее недостатки:

– средний срок службы тракторов составлял 6–7 лет вместо 8 нормативных;

– около 50,0 % тракторных дизелей поступали в ремонт с износом основных сопряжений лишь 30–60 % от предельного;

– более половины тракторных дизелей не обеспечивали нормативной мощности на 15–20 %, работали с ухудшенной на 10–15 % топливной экономичностью;

– значительная доля дизелей работала с форсированным износом.

Практический опыт внедрения диагностирования МТП в хозяйства Ленинградской области показал:

– затраты на проведение текущих ремонтов тракторов снижались на 25–30 %;

– экономия дизельного топлива составляла до 20 %;

– межремонтная наработка тракторов увеличивалась на 23–25 %;

– количество тракторов, направляемых в капитальный ремонт, сокращалось на 27–29 %.

Как показал опыт, накопленный в странах бывшего СССР и за рубежом, диагностирование – важнейшее условие нормального использования машин и оборудования. Актуальность и эффективность диагностирования возрастают для более сложных и мощных машин при разработке методов контроля, основанных на современных достижениях науки и техники.

2.2. Обоснование периодичности ТО и допускаемые значения параметров машин

Темп изменения параметров технического состояния сборочных единиц и трактора различны. Поэтому периодичность операций ТО неодинакова: от ежедневной (например, проверка уровня масла) до одного раза в сезон (замена масла в трансмиссии) в среднем на 3–5 часов работы трактора приходится одна операция по ТО. С целью уменьшения простоев и частых остановок трактора все операции группируют по видам ТО, которые выполняются после определенной наработки трактора, называемой периодичностью ТО. Некоторые виды ТО выполняют по причине изменения климатических условий эксплуатации (сезонное ТО), а также при обкатке и хранении. Поэтому для тракторов установлена определенная система видов ТО, которая охватывает все этапы эксплуатации машины – от обкатки до хранения.

Периодичность выполнения операций ТО обычно устанавливают, исходя из принятого оценочного параметра: производительности

машины, издержек на эксплуатацию, срока службы и др. В связи с этим существует несколько методов определения периодичности ТО: по максимальной производительности машины; по среднему значению наработки между отказами; по минимальному значению удельных издержек; по минимальной вероятности отказа и др.

Метод определения периодичности ТО по максимальной производительности машины заключается в том, что с течением времени в результате износов и нарушения регулировок мощность двигателя снижается, а, соответственно, будет снижаться и производительность машины.

Графически (рис. 2.1) снижение мощности двигателя можно показать в виде наклонной прямой. При ТО (период $t_{\text{т}}$) восстанавливается мощность двигателя, которая в процессе дальнейшей эксплуатации машины снова снижается (ΔN_e). Среднее значение мощности двигателя за сезон $N_{e_{\text{ср}}}$ будет тем выше, чем чаще проводится ТО, то есть, чем меньше период $t_{\text{то}}$.

Рис. 2.1. Зависимость мощности двигателя (N_e) от наработки t

Однако по мере увеличения количества ТО растет суммарный простой машины за сезон $\sum t_{\text{т}}$, вызванный восстановлением мощности двигателя, т. е. будет снижаться коэффициент использования рабочего времени за сезон $\tau = f(t_{\text{то}})$. Таким образом, повышение средней мощности путем уменьшения $t_{\text{то}}$ повышает сезонную наработку (производительность) машины $W_{\text{сез}}$, а снижение степени использования времени τ путем увеличения затрат времени на ТО ($t_{\text{т}}$), наоборот, уменьшает $W_{\text{сез}}$ (рис. 2.2). В этом случае существует

оптимальный интервал времени между обслуживаниями t_{TO}^{om} . Недостаток этого метода заключается в том, что в качестве критерия оптимальности принимается среднее значение величин без учета вероятностного характера изменения параметра (производительности) однотипных машин.

Рис. 2.2. Зависимость мощности двигателя (N_e), сезонной производительности ($W_{сез}$) и коэффициента использования времени смены (\mathbf{t}) от наработки (t)

Определение периодичности ТО по среднему значению наработки между отказами позволяет избежать названного выше недостатка. Для определения периодичности ТО необходимо путем статистического анализа найти закон распределения мощности машины (рис. 2.3). Зная числовые значения данного распределения, можно найти периодичность ТО, которую для случая нормального закона распределения обычно принимают меньше среднего значения $t_{ТОcp}$ на величину среднеквадратического отклонения σ_t , т. е.

$$t_{TO}^{om} = t_{TO}^{cp} - \sigma_t. \quad (2.1)$$

Если принять в качестве периодичности ТО среднее значение наработки $t_{ТОcp}$, то около 50 % машин до этого момента выйдут из строя, т. е. обслуживание окажется поздним. При значении периодичности t_{TO}^{om} только 13,5 % машин будет обслуживаться после достижения предельных сроков, а интервал проведения ТО будет достаточно большим, и предупредительный характер ТО сохранится.

Если же принять за периодичность ТО величину $t_{\text{ТОmin}}$, то практически все машины не достигнут предельного состояния, и остановки для проведения ТО окажутся весьма частыми.

Этот метод также является приближенным.

Обоснование оптимальной периодичности ТО по критерию минимума удельных затрат, минимальной вероятности отказа машины и др. можно провести аналогично приведенной методике.

Рис. 2.3. Распределение мощности двигателя от наработки (t)

2.3. Совершенствование нормативно-технической документации в Республике Беларусь

Ежегодное приобретение сельскохозяйственными предприятиями республики техники за счет различных источников финансирования составляет от 3,5 до 4 млрд долл. США.

По данным НАН Беларуси, в сельском хозяйстве работает около 80 тыс. самоходных энергетических средств, из которых тракторы составляют около 53 %, комбайны всех видов около 20 % и грузовые автомобили от 26,7 до 26,9 %.

Вся техника и оборудование, имеющиеся в распоряжении сельскохозяйственных предприятий, должны находиться в исправном состоянии для выполнения всех необходимых работ в оптимальные сроки и с хорошим качеством. Однако, как показывает практика, техническая готовность машинно-тракторного парка в сельскохозяйственных организациях республики не превышает 81,9 %. По тракторам же этот показатель в среднем равен 90,4 %, зерноуборочным комбайнам – 66 %, комбинированным почвообрабатывающим агрегатам – 88,4 %, почвообрабатывающе-посевным агрегатам 82,8 %. Сравнительно низкая техническая готовность свидетельствует о том, что для выполнения запланированного объема механизированных работ, рассчитанного на 100 % готовности машинно-тракторного парка, дополнительно в резерве, должно находиться еще от 10 до 25 % техники. А это требует существенных финансовых затрат.

В настоящее время существует три способа обеспечения высокой работоспособности машин:

1. Улучшение физико-механических свойств материалов и конструкции трущихся деталей, что является наиболее перспективным и радикальным, реализуется на этапе проектирования, разработки и изготовления машин. Это предполагает применение износостойких материалов, точную обработку деталей, создание условий, уменьшающих их изнашивание (использование улучшенных уплотнений, фильтрующих элементов, высококачественных смазочных материалов и рабочих жидкостей), что позволяет кардинально снизить скорость изнашивания деталей, изменить параметры технического состояния машин, увеличить ресурс составных частей, сократить число отказов, а это – трудоемкость и продолжительность ТО и ремонтов.

2. Применение оптимальных допустимых значений параметров и периодичности ТО и ремонта, качественное выполнение всех операций ТО, повышение степени восстановления параметров при ремонте, предупредительная замена деталей, которые могут отказать в предстоящий период работы. В результате этого увеличивается наработка между отказами, уменьшается средняя скорость изменения параметров состояния машины.

Эти мероприятия осуществляют на этапе технического сервиса при ТО и ремонте машин.

3. Высококвалифицированное, технически грамотное использование машин в процессе их эксплуатации, прежде всего правильное технологическое регулирование машины, заправка топливом и маслом закрытой струей (чтобы не попадала пыль), плавное изменение скорости движения машины, уменьшение случаев перегрузки, правильное маневрирование скоростным режимом, работа при оптимальном тепловом режиме и др.

Все это создает благоприятные условия для бесперебойной эксплуатации машин, повышает коэффициент технической готовности, уменьшает число внезапных и постепенных отказов. Это достигается соответствующей подготовкой кадров (механизаторов) высокой квалификации, техническим обеспечением и грамотным использованием техники.

Известны шесть обобщенных факторов, характеризующих уровень технического сервиса машин. Это качество проведения технического обслуживания и ремонта МТП, квалификация механизаторов, качество топлива и смазочных материалов, уровень применения диагностирования, уровень ремонтно-обслуживающей базы и качество хранения техники. Установлено, что первый из указанных факторов является самым значимым. Коэффициент его весомости равен 1, в то время как весомость качества хранения всего 0,3.

Основные положения по организации технического обслуживания тракторов и сельхозмашин изложены в межгосударственном стандарте ГОСТ 20793–2009 «Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание». Он разработан Техническим комитетом по стандартизации ТК 377 «Ремонт и техническое обслуживание сельскохозяйственной техники» и принят Межгосударственным комитетом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 35 от 11 июня 2009 г.). Стандарт введен в действие на территории 12 постсоветских республик, включая Республику Беларусь.

Проект стандарта готовился до 2000 года и отражает установки 1980-х гг., когда состояние МТП и инженерно-технической службы агропромышленного комплекса (АПК) не предвещало их резкой деградации и насыщения импортной техникой.

ГОСТ 20793–2009 не учитывает современное состояние машинно-тракторного парка, включающего как высокопроизводительную отечественную, так и импортную технику ближнего и дальнего зарубежья.

Указанный ГОСТ устанавливает виды, периодичность и основные требования к проведению ТО тракторов, самоходных и рабочих машин.

При этом для тракторов и самоходных машин периодичность проведения обслуживаний установлена в мото-часах, а для рабочих сельхозмашин – в часах работы. Однако в современных отечественных и импортных тракторах счетчики мото-часов уже не устанавливаются. Поэтому в качестве объективных единиц учета наработки тракторов и самоходных машин и периодичности обслуживания, поддающихся инструментальному контролю, следует принять часы и размеры израсходованного топлива.

В стандарте чрезмерно регламентированы периодичность, порядок проведения и объемы работ по техническому обслуживанию. Исследования БГАТУ показывают, что в республике перечень операций плановых ТО выполняется на 40–57 %, а часто многие операции ТО проводятся внепланово при устранении отказов и неисправностей, хотя перечень необходимых операций регламентируется стандартом. Кроме того, и учет наработки (усл. эт. га, кг топлива мото-часы, часы) не позволяет соблюдать периодичность ТО. Во многих сельскохозяйственных предприятиях ТО-3 обычно приурочивают к началу цикла напряженных работ. Как правило, картерное масло заменяют без учета реальной потребности.

Ученые России и Беларуси солидарны в том, что при оптимизации периодичности ТО целесообразно учитывать инструкции заводо-изготовителей. Не совсем корректно рекомендовать единую периодичность ТО для машин с резко различающимся техническим состоянием и различными условиями эксплуатации. Оптимальную периодичность владелец машин должен определить самостоятельно, исходя из технического состояния и скорости его изменения, условий эксплуатации, напряженности работ, качества топлива и смазочных материалов и погодных условий.

Самым существенным недостатком стандарта является его направленность на выполнение работ по ТО и ремонту машин по второй стратегии. Ее суть заключается в том, что все работы по ТО и ремонту должны выполняться регламентировано в зависимости от наработки. Это было обоснованным в конце 20 века, когда тракторы и сельскохозяйственные машины не имели встроенных средств диагностирования и сами конструкции машин по их устройству были довольно простыми.

Современные же машины отличаются сложным устройством, оснащены элементами автоматики и электроники и имеют бортовые компьютеры. Поэтому уточнение действующего стандарта должно быть направлено в первую очередь на реализацию третьей стратегии выполнения работ по ТО и ремонту машин, при этом все работы по поддержанию техники в исправном состоянии должны выполняться по результатам диагностики ее технического состояния с периодическим и непрерывным контролем, то есть по ситуационному принципу.

На рынке республики появилось достаточное количество сравнительно простых и дешевых средств экспресс-контроля дизельного топлива, трансмиссионного и гидравлического масел, трансмиссионного и гидравлического масел, например, комплект средств экспресс-контроля КИ-28105.01.

Более того, контроль качества топлива и смазочных материалов может контролироваться широко известным колOMETрическим методом, то есть методом бумажной хроматографии. Однако действующий стандарт не подразумевает инструментального и элементарного, но весьма информативного и эффективного экспресс-контроля топлива и смазочных материалов. С его помощью в процессе эксплуатации машин можно установить ценную диагностическую информацию об:

- интенсивности изнашивания двигателя внутреннего сгорания по показателям загрязненности картерного масла и срабатывания в нем присадок;
- интенсивности изнашивания по темпу окисления масла, по интенсивности угара масла в двигателе;
- протечках охлаждающей жидкости в картер двигателя;
- неисправностях топливной аппаратуры двигателя по показаниям температуры вспышки масла и его кинематической вязкости.

Действующий стандарт обходит стороной одну из важнейших задач диагностирования как выявление причины неисправностей и определение мер по их устранению. Не учтено оперативное внеплановое диагностирование отечественной и импортной техники по показателям бортовой и внешней диагностики.

Большая работа по совершенствованию действующего стандарта для тракторов проведена сотрудниками кафедры эксплуатации

машинно-тракторного парка БГАТУ. Основные результаты этой работы приведены в печатных трудах. Предлагается планировать только технические обслуживания № 2 и № 3, совмещая их с сезонными СО-ВЛ и СО-03, а проведение ТО-1 поручить трактористам, так как ТО-1 – это ежедневное выполнение простых операций по обслуживанию трактора. Рекомендуется также материально заинтересовать наемных работников в поддержании тракторов в работоспособном состоянии.

ТО машин с участием «Райагросервиса». В основу этой формы ТО положены разделение и специализация труда на базе кооперации. При этом широко используются МТБ агросервиса, что сокращает затраты средств хозяйств на строительство и оборудование ремонтных мастерских.

Хозяйства берут на себя обязанность строительства и реконструкции ПТО, обеспечение их звеньями мастеров-наладчиков и слесарей, которые под руководством и с участием работников специализированной инженерной службы «Агросервиса» выполняют ТО и ТР машин.

В соответствии со сметой затрат хозяйства на договорных началах оплачивают содержание инженерной службы агросервиса. Это служба доставляет запчасти, материалы, проводит КР машин и их составных частей.

В настоящее время техническая оснащенность отрасли не отвечает необходимому нормативному уровню. Так, по расчетам, проведенным в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», обеспеченность по основным видам технических средств без учета коэффициента технической готовности находится в среднем по республике на уровне 70 %. Из этого количества около 70 % машинно-тракторного парка сельскохозяйственных организаций находится в эксплуатации семь и более лет, поэтому коэффициент технической готовности машинно-тракторного парка страны не превышает 75–80 %. Это в результате обуславливает тот факт, что реальная обеспеченность отрасли составляет 50–60 % от научно обоснованного нормативного уровня.

Реализация мероприятий по техническому переоснащению сельскохозяйственного производства позволит обеспечить рост производительности труда не менее чем в 1,4 раза, снизить удельный расход

материальных и энергетических ресурсов в 1,1 – 1,15 раза, существенно повысить комфортность работы механизаторов.

Важнейшим условием выполнения данных мероприятий в части поддержания техники в работоспособном состоянии является развитие и совершенствование системы технического сервиса.

Технический сервис – это совокупность услуг и работ по обеспечению эффективного использования по назначению и поддержанию сельскохозяйственных машин и оборудования в исправном состоянии в течение всего срока службы или ресурса.

Система технического сервиса должна включать следующий перечень основных услуг:

- организацию и выполнение услуг (работ) по обеспечению (снабжению) производителей сельскохозяйственной продукции (потребителей) техникой, оборудованием, запасными частями к ним, материалами;
- предпродажную подготовку машин (досборку, регулировку, обкатку, заправку топливом, смазочными материалами);
- создание материально-технической базы по техническому обслуживанию, диагностике и материально-техническому обеспечению;
- организацию и выполнение диагностирования, технического обслуживания, хранения и ремонта машин в гарантийный и послегарантийный периоды эксплуатации, восстановление изношенных и изготовление новых деталей, утилизацию машин;
- обучение производителей сельскохозяйственной продукции (потребителей) правилам эксплуатации машин;
- обеспечение производителей сельскохозяйственной продукции и исполнителей технического сервиса нормативно-технической документацией, учебной и другой технической литературой, наглядными пособиями, оборудованием для диагностирования, технического обслуживания, ремонта и хранения;
- участие в разработке прогрессивных технологических процессов ремонта и технического обслуживания;
- информационно-консультативное обеспечение участников технического сервиса.

Основные функции системы технического сервиса АПК представлены на рис. 2.4.

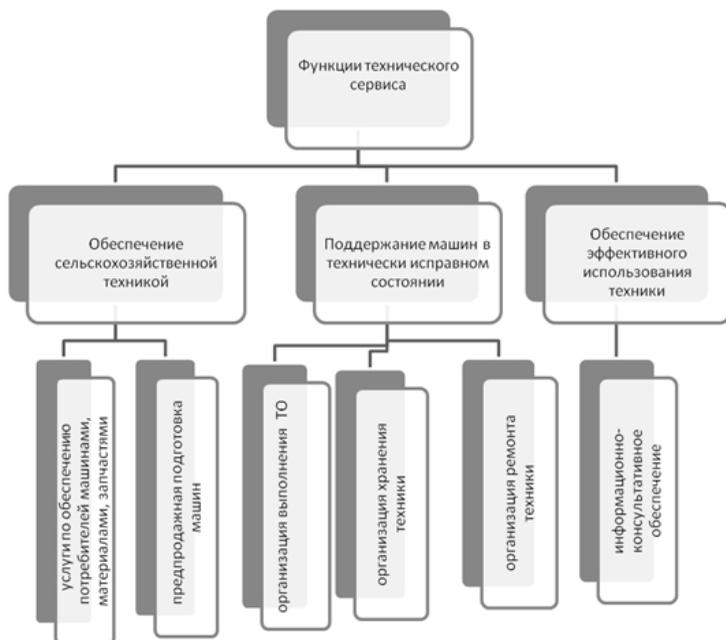


Рис. 2.4. Основные функции технического сервиса

Из схемы видно, что роль системы технического сервиса заключается не только в обеспечении сельскохозяйственных производителей средствами механизации и запасными частями, организации гарантийного и послегарантийного обслуживания технических средств, но также в информационно-консультативном обеспечении эффективного использования сельскохозяйственной техники, что в итоге определяет конечные результаты сельскохозяйственного производства, такие как номенклатура и объем их производства, а также качество и себестоимость сельскохозяйственной продукции, ее рыночную цену, прибыль товаропроизводителей. В этой связи к оценке, а также выработке перспективных направлений совершенствования системы технического сервиса необходимо подходить комплексно и с учетом опыта организации технического сервиса в СНГ и зарубежных странах.

3. ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

3.1. Развитие диагностирования технического состояния машин на основе бортовых электронных средств

На тракторах и самоходных сельскохозяйственных машинах, выпускаемых ведущими фирмами стран ЕС и США, широко используются бортовые электронные средства (БЭС), выполняющие функции контроля, регулирования или автоматического управления различными системами и механизмами, а также обеспечивающие оператора необходимой информацией. Эти функции логически увязаны с особенностями устройства и функционирования соответствующих систем и механизмов трактора и с режимами работы, как самого трактора, так и МТА в целом.

В последнее время на выпускаемых в Беларуси и России мощных тракторах класса 3–5 и комбайнах перспективных моделей БЭС получили широкое применение.

Современные системы управления энергонасыщенными тракторами позволяют провести диагностирование технического состояния основных узлов и агрегатов при подготовке трактора к работе, а также в процессе работы. Для этого тракторы оборудуются как традиционными стрелочными (световыми, звуковыми) индикаторами, так и электронными бортовыми диагностическими приборами, которые постоянно отслеживают текущие рабочие параметры систем и агрегатов трактора и по запросу выдают информацию на дисплей монитора, находящегося в кабине трактора. В случае возникновения неисправности электронная система извещает об этом оператора световым или звуковым сигналом, а также высвечивает на экране монитора краткое описание неисправности либо сигнальной лампой выдает код неисправности.

К таким информационно-диагностическим приборам относятся контрольно-измерительные приборы, индикаторы комбинированные, информационные мониторы, электронные блоки самодиагностирования.

Контрольно-измерительные приборы тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин могут располагаться на приборной панели, как по отдельности, так и в виде комбинации приборов.

Комбинация приборов тракторов включает в себя стрелочные указатели и сигнальные лампы. Варианты комбинаций приборов, устанавливаемых на тракторы «Беларус», приведены на рис. 3.1.

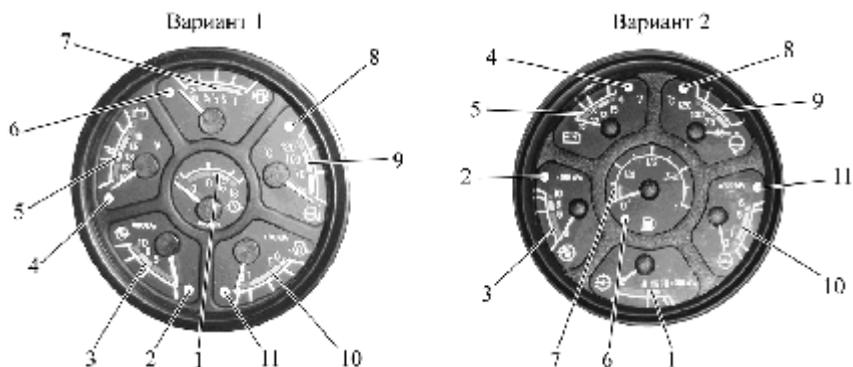


Рис. 3.1. Комбинация приборов бортового контроля тракторов «Беларус»: 1 – указатель давления масла в гидросистеме трансмиссии; 2 – сигнальная лампа аварийного давления воздуха в пневмосистеме; 3 – указатель давления воздуха в пневмосистеме; 4 – контрольная лампа зарядки дополнительной аккумуляторной батареи напряжением 24 В; 5 – указатель напряжения; 6 – сигнальная лампа резервного объема топлива в баке; 7 – указатель объема топлива в баке; 8 – сигнальная лампа аварийной температуры охлаждающей жидкости; 9 – указатель температуры охлаждающей жидкости; 10 – указатель давления масла в системе смазки; 11 – сигнальная лампа аварийного давления масла в системе смазки

Указатель давления масла в гидросистеме трансмиссии 1 (см. рис. 3.1) показывает значение давления масла в гидросистеме управления фрикционными муфтами трансмиссии трактора.

- Шкала указателя давления масла в трансмиссии имеет три зоны:
- рабочая – 800–1500 кПа (зеленого цвета);
 - аварийные – 0–800 кПа и 1500–1800 кПа (красного цвета).

Для тракторов «Беларус-3022/3522» рабочей зоной является участок шкалы от 1300 до 1500 кПа. На минимальных устойчивых оборотах двигателя давление масла в гидросистеме трансмиссии не должно быть менее 1000 кПа.

Давление масла в трансмиссии ниже 1300 кПа при оборотах двигателя не ниже 1400 об/мин для указанных моделей тракторов считается аварийным. Для остальных моделей тракторов «Беларус» аварийным давлением является 0–800 кПа и 1500–1800 кПа.

Причиной аварийного падения давления в гидросистеме трансмиссии может быть: недостаточный уровень масла в трансмиссии; неисправность клапанов фильтров гидросистемы трансмиссии (усадка пружин, залегание и др.); загрязнение фильтров; неисправность насоса гидросистемы; утечка масла в магистрали подвода к фрикционной муфте или в бустерах фрикционных муфт (только у тракторов с гидромеханической КП).

Причины аварийного повышения давления в гидросистеме трансмиссии: вязкость масла в трансмиссии не соответствует сезону (температуре воздуха) или оно сильно загрязнено; неправильно настроены или залегли клапаны фильтров.

Шкала *указателя давления воздуха в пневмосистеме 3* имеет три зоны:

- рабочая – 500–800 кПа (зеленого цвета);
- аварийные – 0–500 кПа и 800–1000 кПа (красного цвета).

В шкалу указателя встроена сигнальная лампа 2 (красного цвета), которая загорается при понижении давления в пневмосистеме менее 500 кПа. Причиной аварийного снижения давления воздуха в пневмосистеме может быть утечка воздуха в соединениях, клапанах и др.; нарушение настроечных параметров регулятора давления; неисправность всасывающего или нагнетательного клапана компрессора; большой износ или залегание поршневых колец компрессора.

Указатель напряжения 5 показывает напряжение аккумуляторных батарей при неработающем двигателе, когда ключ выключателя стартера и приборов находится в положении «Включены приборы». При работающем двигателе указатель напряжения показывает напряжение на клеммах генератора. В шкалу указателя напряжения встроена контрольная лампа 4 красного цвета, которая используется только при системе пуска 24 В и показывает процесс зарядки дополнительной АКБ напряжением 24 В, т. е. диагностирует работоспособность преобразователя напряжения.

Контрольная лампа 4 должна загораться при повороте ключа выключателя стартера в положение «Включены приборы», а после запуска двигателя – гаснуть, что указывает на зарядку второй АКБ напряжением 24 В через преобразователь напряжения. Если

контрольная лампа 4 после запуска двигателя продолжает гореть, это означает, что вторая батарея не заряжается. При наличии отклонений в системе электропитания, индицируемых стрелкой указателя напряжения 5 и контрольной лампой 4, необходимо выявить их причины и устранить в соответствии с рекомендациями руководства по эксплуатации на данную модель трактора.

Указатель объема топлива в баке. Шкала указателя 7 имеет деления « $0-1/4-1/2-3/4-1$ ». В шкалу указателя встроена сигнальная лампа 6 (оранжевого цвета), которая загорается при снижении количества топлива в баке до $1/8$ от общего объема бака. Не рекомендуется работа двигателя на остатке топлива, когда горит лампа оранжевого цвета.

Указатель температуры охлаждающей жидкости в двигателе 9 считывает информацию с блока управления двигателем (БУД). Шкала указателя имеет три зоны:

- рабочая – 70–105 °С (зеленого цвета);
- информационная – 40–70 °С (желтого цвета);
- аварийная – 105–120 °С (красного цвета).

В шкалу указателя встроена сигнальная лампа аварийной температуры (красного цвета) 8, которая работает в двух режимах:

- а) включается и работает в мигающем режиме при значениях температуры охлаждающей жидкости от 109 до 112 °С включительно;
- б) светится в постоянном режиме при значениях температуры охлаждающей жидкости от 113 °С и выше.

Указатель давления масла в системе смазки двигателя 10 считывает информацию с блока управления двигателем (БУД). Шкала указателя имеет три зоны:

- рабочая – 100–500 кПа (зеленого цвета);
- аварийные – 0–100 кПа и 500–600 кПа (красного цвета).

В шкалу указателя встроена сигнальная лампа аварийного падения давления масла 11 (красного цвета), которая загорается при понижении давления менее 100 кПа.

Более точную информацию о температурном режиме, давлении масла в двигателе и устранении неисправностей можно получить по информационному монитору (для двигателей «Дойц») или с помощью электронной системы управления двигателем (для двигателей International DTA 530E).

Блок контрольных ламп включает в себя пять контрольных ламп, схема расположения которых представлена на рис. 3.2. Представлен блок контрольных ламп на щитке приборов тракторов «Бе-

ларус-3022ДЦ/3222/3522». На других моделях тракторов «Беларус» могут индифицироваться другие параметры, которые расшифровываются в соответствующих руководствах по эксплуатации.

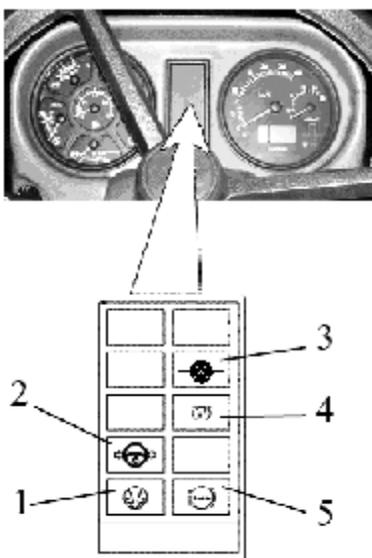


Рис. 3.2. Блок контрольных ламп:

- 1 – контрольная лампа максимальной засоренности фильтра воздухоочистителя (оранжевого цвета);
- 2 – контрольная лампа аварийного падения давления масла в системе ГОРУ (красного цвета);
- 3 – контрольная лампа блокировки дифференциала заднего моста (оранжевого цвета);
- 4 – контрольная лампа-индикатор работы подогревателя впускного воздуха (оранжевого цвета);
- 5 – контрольная лампа уровня тормозной жидкости (оранжевого цвета)

Принцип работы контрольных ламп БКЛ следующий:

- контрольная лампа максимальной засоренности фильтра воздухоочистителя 1 (см. рис. 3.2) загорается, когда превышен максимально допустимый уровень засоренности фильтра и необходима его очистка;
- контрольная лампа аварийного падения давления масла в системе ГОРУ 2 загорается при падении давления масла в гидросистеме ГОРУ ниже 0,08 МПа;
- контрольная лампа блокировки дифференциала заднего моста 3 загорается при включении блокировки дифференциала заднего моста;

– контрольная лампа уровня тормозной жидкости 5 загорается, когда уровень тормозной жидкости в бачках главных тормозных цилиндров ниже допустимого;

– контрольная лампа-индикатор работы предпускового подогревателя впускного воздуха (ППВВ) 4 отображает работу ППВВ, служащего для подогрева воздуха на входе в камеру сгорания при запуске холодного двигателя. ППВВ не включается, если температура двигателя более +5 °С. Запуск двигателя необходимо произвести после того, как лампа по истечении определенного времени, зависящего от температуры двигателя, начнет мигать с частотой 1 Гц. После запуска двигателя подогреватель впускного воздуха продолжает оставаться некоторое время включенным, затем выключается автоматически.

При возникновении в ППВВ неисправности лампа 4 индицирует аварийные режимы (на тракторах «Беларус-3022ДЦ/3222/3522»):

– после запуска в процессе работы двигателя контрольная лампа 4 начинает непрерывно мигать с частотой 2 Гц. Это означает, что в системе ППВВ неисправность: подогреватель не отключился;

– контрольная лампа 4 включается при температуре двигателя выше +5 °С – это свидетельствует о неисправности датчика температуры ППВВ (обрыв или короткое замыкание), что приводит к включению ППВВ;

– при переводе ключа выключателя стартера и приборов из положения «Выключено» в положение «Включены приборы» контрольная лампа начинает мигать в медленном режиме – одно включение в три секунды. Это означает, что электрическое напряжение на ППВВ не подается. Если неисправность не устранить, запуск двигателя при низких температурах может быть затруднен.

Индикатор комбинированный (ИК) устанавливается на тракторах (самоходных сельскохозяйственных машинах) с целью отображения информации об эксплуатационных параметрах систем и агрегатов и предоставления оператору данных о возникшей неисправности какой-либо системы. ИК включает стрелочные указатели и лампы-сигнализаторы (рис. 3.3). Пульт управления ИК приведен на рис. 3.4.

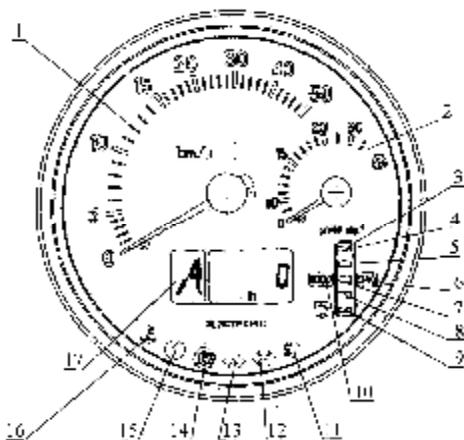


Рис. 3.3. Индикатор комбинированный:

1 – указатель скорости (стрелочный индикатор); 2 – указатель оборотов двигателя (стрелочный индикатор); 3 – указатель оборотов ЗВОМ (световой индикатор); 4, 9 – сегменты шкалы оборотов ЗВОМ (желтого цвета); 5, 7, 8 – сегменты шкалы оборотов ЗВОМ (зеленого цвета); 6, 10 – сигнализаторы диапазона шкалы оборотов ЗВОМ «540 мин⁻¹» и «1000 мин⁻¹» (желтого цвета); 11 – контрольная лампа-индикатор включения дальнего света фар (синего цвета); 12 – контрольная лампа-индикатор включения указателей поворотов прицепа (зеленого цвета); 13 – контрольная лампа-индикатор включения указателей поворотов трактора (зеленого цвета); 14 – контрольная лампа-сигнализатор включения стояночного тормоза (красного цвета); 15 – контрольная лампа-сигнализатор повышенного напряжения бортовой сети (красного цвета); 16 – контрольная лампа-сигнализатор низкого уровня охлаждающей жидкости (желтого цвета); 17 – многофункциональный индикатор

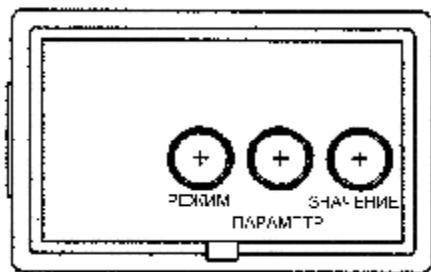


Рис. 3.4. Пульт управления ИК

Пульт управления ИК позволяет вручную программировать ИК с помощью кнопок «Параметр» и «Значение», а также с помощью

кнопки «Режим» просматривать выводимые на многофункциональный индикатор параметры. Для доступа к кнопкам «Режим», «Параметр» и «Значение» необходимо снять крышку на пульте управления.

Многофункциональный индикатор (МИ) 17 отображает информацию одновременно в полях 1 и 2 (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Многофункциональный индикатор:

- 1 – цифровое обозначение номера включенной передачи КП (цифры от 0 до 6) или буквенное обозначение включенной ступени редуктора (буквы L, M, H, N);
- 2 – текущее числовое значение одного из параметров систем трактора

ИК получает информацию о номере включенной передачи КП от блока управления трансмиссией комплексной электронной системы управления (КЭСУ). Данный параметр отображается в информационном поле 1. При отсутствии сигнала с КЭСУ (неисправность в КЭСУ, обрыв провода, нарушение электрического контакта и т. д.) в информационном поле 1 отображается буква «А».

В информационном поле 2 отображаются следующие параметры: суммарное астрономическое время наработки двигателя; мгновенный расход топлива; напряжение бортовой сети; объем оставшегося топлива; время работы на остатке топлива; обороты ЗВОМ; наработка двигателя за выбранный период; диагностика работоспособности датчиков скорости; диагностика работоспособности частотного датчика объема топлива (ДОТ.Ч); диагностика работоспособности и подключения CAN-шины к ИК.

Переключение между режимами индикации «Суммарное астрономическое время наработки двигателя», «Мгновенный расход топлива», «Объем оставшегося топлива», «Время работы на остатке топлива», «Напряжение бортовой сети», «Обороты ЗВОМ» и между сообщениями о неисправностях осуществляется нажатием на кнопку «Режим» пульта управления ИК.

Примеры отображения на МИ сообщений о неисправностях и краткое описание отображаемой неисправности трактора приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Примеры отображения сообщений о неисправностях трактора на МИ

Диагностируемый параметр	Пример отображения неисправности на МИ	Описание неисправности
Диагностика работоспособности и подключения датчиков скорости	 датчик левого колеса  датчик правого колеса	При отсутствии сигналов от датчиков скорости в течение от 10 до 12 с на МИ отображается сообщение «0», характеризующее месторасположение неисправного датчика (левого или правого) или обрыва его электроцепи
Диагностика работоспособности частотного датчика объема топлива		При отсутствии частотного сигнала от ДОТ.Ч в течение 2 с на МИ отображается сообщение FUEL
Диагностика работоспособности и подключения CAN-шины к ИК с CAN-интерфейсом		Отсутствие сигналов по CAN-шине ИК сопровождается выводом на МИ сообщения C-BUS

При отсутствии сигналов, принимаемых от БУД, соответствующие режимы индикации автоматически отключаются, и в информационном поле 2 появляется сообщение C-BUS.

Каждое из вышеперечисленных сообщений о неисправностях выводится по приоритетному принципу на информационное поле 2 независимо от отображаемой в текущий момент информации. При последовательном нажатии на кнопку «Режим» сообщения должны поочередно перелистываться. При просмотре последнего сообщения и повторном нажатии на кнопку «Режим» МИ переходит в режим отображения по циклу указанных ранее рабочих параметров.

Отображение на дисплее сообщений о неисправностях происходит при каждом включении прибора до момента устранения причины неисправности.

При включении питания ИК на МИ отображается информация в режиме индикации, выбранном до момента выключения питания ИК.

Принцип работы *контрольных ламп ИК*:

- контрольная лампа-индикатор включения дальнего света дорожных фар *11* (см. рис. 3.3) загорается при включении дальнего света дорожных фар;

- индикаторы включения указателей поворотов трактора *13* и его прицепа *12* работают в мигающем режиме при включении подрулевым многофункциональным переключателем сигнала правого или левого поворота или при включении выключателя аварийной сигнализации;

- контрольная лампа-сигнализатор включения стояночного тормоза *14* работает в мигающем режиме с частотой 1 Гц при срабатывании датчика включения стояночного тормоза;

- контрольная лампа-сигнализатор повышенного напряжения бортовой сети *15* включается при напряжении питания бортовой сети трактора свыше 19 В и выключается при уровне напряжения питания менее 17 В;

- контрольная лампа-сигнализатор низкого уровня охлаждающей жидкости *16* включается при уровне ОЖ ниже допустимой нормы.

В ИК при каждом подключении к питанию осуществляется проверка функционирования стрелочных указателей и элементов шкалы индикатора ЗВОМ. В течение не более 1 с стрелки указателей отклоняются от нулевых отметок (либо в течение не более 1 с происходит дрожание стрелок на нулевых отметках указателей), а также включаются оба сигнализатора диапазона шкалы ЗВОМ *6* и *10* (см. рис. 3.3) и все сегменты шкалы ЗВОМ.

Тракторы «Беларус», укомплектованные двигателями «Дойц», оборудованы электронной системой управления двигателем (ЭСУД).

ЭСУД (рис. 3.6) предназначена для текущего контроля рабочих параметров двигателя и информирования оператора о состоянии систем двигателя и возникших неисправностях. Она имеет встроенную систему диагностики неисправностей на работающем и неработающем двигателях.

Диагностирование двигателя «Дойц» проводится с помощью информационного монитора и панели электронной комбинированной (ПЭК), расположенных в кабине оператора.

Информационный монитор (рис. 3.7), входящий в состав ЭСУД, позволяет контролировать параметры работы двигателя, сигнализирует о возникновении неисправностей в ЭСУД и дает их краткое описание.

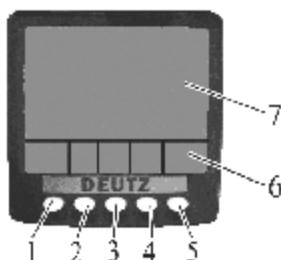


Рис. 3.7. Информационный монитор:

1 – кнопка вызова основного (трехсекционного) отображения и перебора индицируемых параметров; 2 – кнопка вызова четырехсекционного отображения и перебора индицируемых параметров; 3 – кнопка вызова графического отображения и перебора индицируемых параметров; 4 – кнопка вызова индикации списка ошибок (неисправностей); 5 – кнопка входа в режим настройки контрастности, яркости и PIN-кода/выхода из него; 6 – сменное отображение назначений кнопок; 7 – экран

Перед запуском двигателя после поворота ключа выключателя стартера и приборов в положение «Питание приборов» в электронную систему управления двигателем подается напряжение питания. После поступления напряжения питания ЭСУД постоянно проводит самодиагностику. При отсутствии неисправностей в работе ЭСУД информационный монитор функционирует в рабочем режиме – отображает реально измеренные параметры работы двигателя.

При обнаружении ошибок информационный монитор выдает звуковой сигнал, и на экране появляется краткое описание выявленных ошибок (обозначение кода ошибки и ее описание), а на панели управления двигателем загорается либо мигает сигнализатор диагностики неисправностей. Выявленные неисправности необходимо устранить до запуска двигателя.

После запуска двигателя на информационном мониторе появляется та индикация, которая отображалась на нем перед предыдущей остановкой двигателя. Всего экран монитора может отображать четыре индикатора: основной индикатор по двигателю; четырехсекционный индикатор; графический; сигнальный.

Основной индикатор по двигателю объединяет три независимые секции и показывает самые важные и наиболее часто используемые

параметры двигателя: в левом верхнем углу экрана отображается шкала оборотов двигателя, в правом верхнем – шкала скорости движения трактора (или давление масла в системе смазки двигателя в зависимости от настройки прибора), в правом нижнем – температура охлаждающей жидкости, левом нижнем – текущий часовой расход топлива.

Повторным нажатием на кнопку 1 вместо текущего часового расхода топлива может быть вызвано время работы двигателя в часах.

Нажатием на кнопку 2 (предварительно вызвав отображение назначений кнопок в зоне б – см. рис. 3.7) производится вызов четырехсекционного отображения параметров на экране индикатора. После первого нажатия на кнопку 2 на экране высвечивается четыре параметра в цифровом виде (рис. 3.8): в левом верхнем углу – обороты двигателя; в правом верхнем – температура охлаждающей жидкости; в правом нижнем – давление масла в системе смазки двигателя; в левом нижнем – напряжение в бортовой электросети.

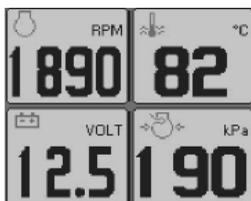


Рис. 3.8. Четырехсекционное цифровое отображение индицируемых параметров

При нажатии на кнопку 2 второй раз на экране отображаются те же параметры в аналоговом виде (рис. 3.9).

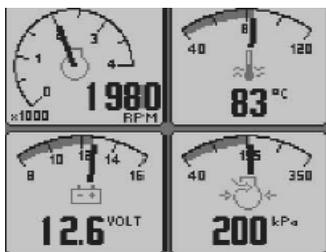


Рис. 3.9. Четырехсекционное аналоговое отображение индицируемых параметров

При третьем нажатии на кнопку 2 на экране отображаются четыре альтернативных параметра (рис. 3.10, начиная с верхнего

левого угла по часовой стрелке): температура охлаждающей жидкости; температура наддувочного воздуха; атмосферное давление; давление наддувочного воздуха. С помощью режима настройки каждый отображенный на экране индикатор может быть настроен пользователем на любой желаемый параметр.

При возникновении какой-либо неисправности в процессе работы двигателя монитор выдает звуковой сигнал, и на экране всплывает мигающее окно с описанием (рис. 3.11).

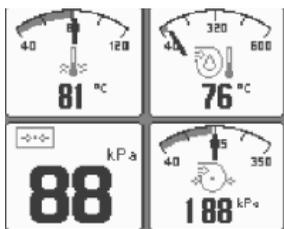


Рис. 3.10. Альтернативное аналоговое изображение индицируемых параметров



Рис. 3.11. Отображение информации о неисправности

При нажатии на любую кнопку отображается список всех предыдущих неисправностей. Неисправности, уже зафиксированные ранее, отображаются на сером фоне черными буквами. Новые сигналы, которые еще не были зафиксированы, отображаются на черном фоне серыми буквами (рис. 3.12).

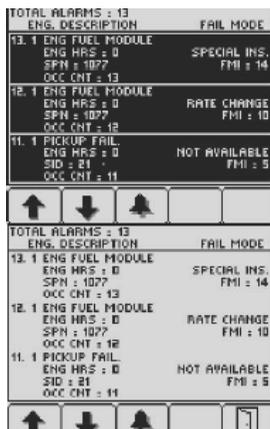


Рис. 3.12. Отображение перечня неисправностей двигателя

Если на экран выведен индикатор часовой наработки трактора, то информация о неисправности дополняется временем подачи сигнала о неисправности.

Панель электронная комбинированная (ПЭК) содержит элементы управления электрогидравлическим распределителем, активизации электронных педалей подачи топлива на прямом и реверсивном ходу, а также различные сигнализаторы, информирующие оператора о возникновении аварийных ситуаций при работе двигателя (рис. 3.13).

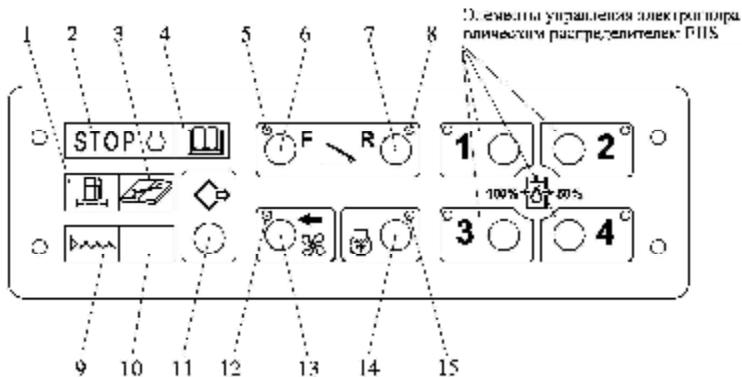


Рис. 3.13. Панель электронная комбинированная:

1 – сигнализатор наличия воды в топливном фильтре; 2 – сигнализатор аварийного давления масла в двигателе; 3 – сигнализатор ТО; 4 – сигнализатор диагностики неисправностей; 5 – сигнализатор активизации электронной ножной педали подачи топлива на прямом ходу; 6, 7 – кнопки активизации электронной ножной педали подачи топлива на прямом и реверсивном ходу; 8 – сигнализатор активизации электронной ножной педали управления подачей топлива на реверсивном ходу; 9 – сигнализатор аварийных температуры или уровня охлаждающей жидкости; 10 – резервный сигнализатор; 11 – кнопка активизации диагностики; 12, 13 – сигнализатор и кнопка включения реверса вентилятора; 14, 15 – кнопка и сигнализатор включения подогревателя охлаждающей жидкости

Сигнализатор наличия воды в топливном фильтре 1 загорается при концентрации воды в фильтре грубой очистки топлива выше допустимой нормы. При срабатывании сигнализатора 1 необходимо слить отстой из фильтра грубой очистки топлива.

Сигнализатор аварийного давления масла в двигателе 2 загорается при давлении масла в двигателе ниже допустимой нормы.

Если сигнализатор 2 горит при работающем двигателе, необходимо немедленно остановить двигатель и устранить неисправность.

Сигнализатор аварийных температуры и уровня охлаждающей жидкости 9 загорается при температуре ОЖ выше допустимой нормы либо при уровне ОЖ ниже допустимой нормы.

Кнопка активизации диагностики 11 предназначена для вызова из памяти электронного блока управления двигателем активных ошибок путем световых кодов, отображаемых сигнализатором диагностики неисправностей 4. Этот способ диагностики является альтернативным по сравнению с информационным монитором. По считыванию и расшифровке световых кодов ошибок и рекомендуемым действиям по устранению неисправностей следует обращаться к руководству по эксплуатации двигателя, прикладываемому к трактору, поскольку эти коды могут отличаться в зависимости от модели двигателя. Выявленные неисправности необходимо устранить.

На некоторых модификациях тракторов «Беларус-3022/3522» в ПЭК при каждом подключении к питанию осуществляется проверка функционирования сигнализаторов. В течение около 2 с включаются все светодиодные сигнализаторы и срабатывает звуковой сигнализатор. Затем светодиодные сигнализаторы и звуковой сигнализатор переходят в рабочий режим: остается гореть только сигнализатор 5 или 8 (в зависимости от выбранной педали подачи топлива), звуковой сигнализатор отключается. На других модификациях может быть установлена ПЭК без проверки функционирования светодиодных сигнализаторов.

Диагностирование двигателей International DTA («Детройт») с помощью ЭСУД

На тракторах и самоходных сельскохозяйственных машинах, оборудованных двигателями International, контроль и диагностирование их работы также осуществляется посредством ЭСУД, предназначенной для текущего контроля рабочих параметров двигателя, управления процессом впрыска топлива, защиты двигателя, информирования о состоянии систем двигателя. ЭСУД имеет встроенную систему диагностики неисправностей на работающем и неработающем двигателях и подразделяется на две части:

– контролирующая часть, состоящая из устройства электронного управления и текущего контроля параметров двигателя (блок электронного контроля (БЭК)), датчиков, установленных на двигателе, и регулятора давления впрыска;

– регистрирующая часть – пульт визуального контроля работы двигателя, звукового оповещения и диагностирования, находящийся в кабине трактора.

Схема ЭСУД приведена на рис. 3.14.

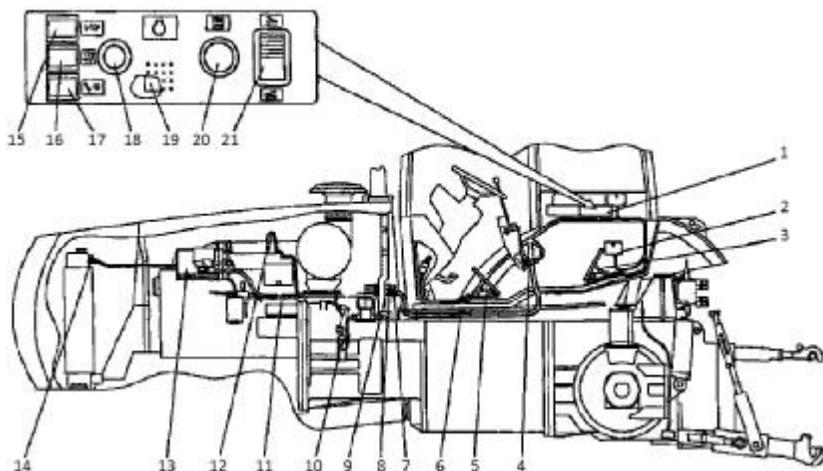


Рис. 3.14. Электронная система управления двигателем International DTA 530E:
1 – панель управления; 2 – щиток предохранителей; 3 – электронная педаль управления режимом работы двигателя на реверсивном ходу; 4 – датчик ручного управления режимом работы двигателя; 5 – электронная педаль управления режимом работы двигателя на прямом ходу; 6, 7, 11 – соединительные жгуты; 8, 9 – штепсельные разъемы; 10 – датчик барометрического давления; 12 – датчик температуры воздуха; 13 – блок электронного контроля; 14 – датчик уровня охлаждающей жидкости; 15 – световой сигнализатор аварийного останова двигателя; 16 – световой сигнализатор диагностики системы управления двигателем; 17 – световой сигнализатор ТО; 18 – кнопка активизации диагностики системы управления двигателем; 19 – зуммер; 20 – штепсельный разъем для подключения диагностического прибора Pro-Link 9000; 21 – переключатель выбора педали управления режимом работы двигателя

Перед каждым запуском двигателя поворачивают ключ выключателя стартера в положение «Включены приборы». Блок электронного контроля проводит самодиагностику электронной системы управления двигателем. В процессе работы двигателя БЭК постоянно проводит самодиагностику параметров ЭСУД и запоминает обнаруженные коды неисправностей.

При обнаружении неисправностей, нарушающих функционирование ЭСУД, система предупреждает оператора посредством включения светового сигнализатора 16 желтого цвета (постоянно горит), а также может выполнить корректирующие действия, направленные

на снижение мощности двигателя (при повышенной температуре охлаждающей жидкости). В случае обнаружения неисправностей, которые могут привести к повреждению двигателя при его дальнейшей эксплуатации, система при достижении предупреждающих уровней контролируемых параметров (давления масла в двигателе, уровня или температуры охлаждающей жидкости) активизирует световой сигнализатор 15 аварийного останова двигателя красного цвета в режиме постоянного горения, а при достижении критических уровней – в мигающем режиме. Включение светового сигнализатора 15 сопровождается параллельным включением зуммера 19. Активизация светового сигнализатора 15 предполагает немедленную остановку двигателя и проведение работ по выявлению зарегистрированной неисправности. При игнорировании оператором световых и звуковых сигналов о необходимости останова двигателя система после превышения критических уровней контролируемых основных параметров (мигающий режим светового сигнализатора 15) автоматически произведет останов двигателя по истечении 30 с от начала работы светового сигнализатора 15 в режиме мигания. Отдельные неисправности, не требующие немедленного вмешательства оператора, система регистрирует без его оповещения через световую или звуковую сигнализацию в процессе работы двигателя.

Оператор может самостоятельно провести предварительное диагностирование ЭСУД при помощи считывания световых кодов неисправностей. Считывание оператором световых кодов зарегистрированных активных и неактивных неисправностей производится при остановленном двигателе и в положении ключа выключателя стартера и приборов «Включены приборы» при помощи кнопки диагностики системы управления двигателем 18, расположенной на панели управления 1, с использованием световых сигнализаторов 15 (красного цвета) и 16 (желтого цвета). При помощи кнопки 18 оператор запускает стандартный тест при включенном питании стартера и приборов и выключенном (неработающем) двигателе.

Для того чтобы самостоятельно провести процедуру диагностирования, оператору необходимо при остановленном двигателе нажать на кнопку диагностики системы управления двигателем 18 и, удерживая ее, повернуть ключ выключателя стартера и приборов в положение «Питание приборов». После того как ключ окажется в указанном положении, необходимо отпустить кнопку 18. Двигатель

во время проведения процедуры диагностирования запускать не нужно. После подачи таким образом сигнала оператором система управления проведет диагностику двигателя и однократным миганием светового сигнализатора 15 оповестит о начале вывода световых кодов неисправностей.

Световые коды неисправностей делятся на активные, которые регистрируются системой в момент проведения диагностирования (при остановленном двигателе), и неактивные, которые были зарегистрированы ранее, но в момент диагностирования не выявлены.

В процессе считывания кодов неисправностей сначала выводится группа активных кодов (один или несколько световых кодов), а затем – неактивных (один или несколько кодов). Последовательность вывода кодов внутри указанных групп осуществляется в порядке их появления по времени в процессе эксплуатации двигателя.

Номер светового кода состоит из трех цифр. Считывание номера кода осуществляется подсчитыванием количества миганий желтого светового сигнализатора 16: первая цифра кода – подсчитывается количество вспышек, затем следует пауза; вторая цифра – подсчитывается количество вспышек после первой паузы, затем следует вторая пауза; третья цифра – подсчитывается количество вспышек после второй паузы. Например, световой код неисправности – «232». Система будет активизировать желтый световой сигнализатор 16 следующим образом: две вспышки – пауза – три вспышки – пауза – две вспышки. Между собой номера световых кодов разделяются вспышкой красного светового сигнализатора 15. Выводу активных кодов предшествует мигание один раз, выводу неактивных – два раза. Завершение вывода всех кодов сопровождается миганием красного сигнализатора три раза. Включение данного сигнализатора всегда сопровождается параллельной подачей звукового сигнала зуммера 19.

Если в момент активизации процесса диагностирования система активные коды не выявила, то в начале процесса диагностирования она выведет световой код «111»: в момент диагностирования системой неисправностей по диагностируемым цепям не выявлено. Далее после двойного мигания красного светового сигнализатора 15 будут выведены неактивные коды.

Световой код отражает не механическую неисправность, а электрическую ошибку, выявленную в процессе диагностирования системы.

КЭСУ на тракторах «Беларус-3022ДЦ/3222/3522» предназначена для выполнения следующих функций:

- индикация включенной передачи в коробке передач (КП);
- управление режимом переключения передач КП;
- управление задним валом отбора мощности (ЗВОМ);
- управление передним валом отбора мощности (ПВОМ);
- управление приводом переднего ведущего моста;
- управление блокировкой дифференциала (БД) заднего моста;
- сигнализация аварийных состояний гидросистемы трансмиссии и гидронавесной системы (ГНС), диагностика аварийного напряжения бортовой сети;
- диагностика неисправностей электронных систем управления ЗВОМ, ПВОМ, ППВМ, БД заднего моста, управления переключением передач.

Расположение элементов управления, индикаторов и сигнализаторов КЭСУ представлено на рис. 3.15.

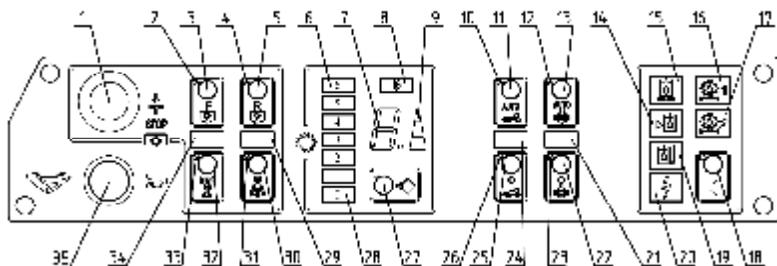


Рис. 3.15. Комплексная электронная система управления:

- 1 – кнопка аварийного выключения ПВОМ и ЗВОМ; 2, 3 – сигнализатор и кнопка включения ПВОМ; 4, 5 – сигнализатор и кнопка включения ЗВОМ; 6 – сигнализаторы включения передач 1–6; 7 – цифровой индикатор; 8 – сигнализатор аварийного режима работы КП; 9 – индикатор режима переключения передач; 10, 11 – сигнализатор и кнопка включения автоматического режима ППВМ; 12, 13 – сигнализатор и кнопка включения автоматического режима БДЗМ; 14 – сигнализатор аварийного уровня масла ГНС; 15 – сигнализатор засоренности фильтра насоса ГНС и аварийной температуры масла в насосе ГНС; 16 – сигнализатор засоренности двойного фильтра гидросистемы трансмиссии; 17 – резервный сигнализатор; 18 – кнопка выключения звукового сигнализатора (зуммера); 19 – сигнализатор аварийной температуры масла в баке ГНС; 20 – сигнализатор аварийного напряжения питания КЭСУ; 21 – сигнализатор включенного состояния БДЗМ; 22, 23 – кнопка и сигнализатор включения принудительного режима ППВМ; 24 – сигнализатор включенного состояния ППВМ; 25, 26 – кнопка и сигнализатор включения принудительного режима ППВМ; 27 – кнопка выбора режима переключения передач; 28 – сигнализатор нулевой передачи; 29 – сигнализатор включенного состояния ЗВОМ; 30, 31 – кнопка и сигнализатор выключения ЗВОМ; 32, 33 – кнопка и сигнализатор выключения ПВОМ; 34 – сигнализатор включенного состояния ПВОМ; 35 – кнопка включения звукового сигнала

Сигнализаторы аварийного состояния систем трактора:

1. Сигнализатор засоренности сдвоенного фильтра гидросистемы трансмиссии 16 (см. рис. 3.15) загорается при сильной степени засоренности фильтра. Необходимо заменить фильтрующие элементы сдвоенного фильтра.

2. Сигнализатор засоренности фильтра насоса ГНС 15 загорается (и далее работает в режиме непрерывного свечения) при сильной степени засоренности фильтра насоса ГНС. Необходимо заменить фильтр насоса ГНС.

3. Сигнализатор аварийного уровня масла в ГНС 14 загорается при уровне масла в баке ГНС ниже допустимой нормы.

4. Сигнализатор аварийной температуры масла в ГНС 19 загорается при температуре масла в баке ГНС выше допустимой нормы. Кроме того, при температуре масла в насосе ГНС выше допустимой нормы включается и работает в мигающем режиме сигнализатор 15.

В КЭСУ при каждом подключении к питанию осуществляется проверка функционирования индикаторов и сигнализаторов. В течение около 2 с включаются все светодиодные сигнализаторы и индикаторы, цифровой индикатор 7 (см. рис. 3.15) высвечивает цифру 8, срабатывает звуковой сигнализатор. Затем светодиодные сигнализаторы и индикаторы, цифровой индикатор и звуковой сигнализатор переходят в рабочий режим: остаются гореть сигнализаторы 28, 31, 33; индикатор режима переключения передач 9 отображает средний режим работы (горит средний сегмент индикатора); на цифровом индикаторе 7 индицируется цифра 0; остальные светодиодные сигнализаторы и звуковой сигнализатор отключаются.

Диагностика неисправностей электронной системы управления задним и передним навесными устройствами. Управление задним навесным устройством (ЗНУ) осуществляется пультом управления (рис. 3.16) и выносными кнопками 1 и 2 (рис. 3.17).

Управление передним навесным устройством (ПНУ) осуществляется таким же пультом (см. рис. 3.16) и выносными кнопками 1 и 2 (рис. 3.18). В системе управления ПНУ отсутствуют датчики усилия, следовательно, нет силового и смешанного способов регулирования, отсутствует режим «демпфирование».

Электронная система управления ЗНУ и ПНУ обладает способностью самопроверки и при обнаружении неисправностей выдает кодовую информацию оператору при помощи сигнализатора

диагностики неисправностей 9 (см. рис. 3.16) на соответствующем пульте управления ЗНУ или ПНУ. После запуска двигателя загорается сигнализатор диагностики 9, что говорит о работоспособности и блокировании системы управления. Для разблокирования системы необходимо один раз установить рукоятку 7 в рабочее положение («Подъем» или «Опускание»). Сигнализатор диагностики 9 при этом гаснет.

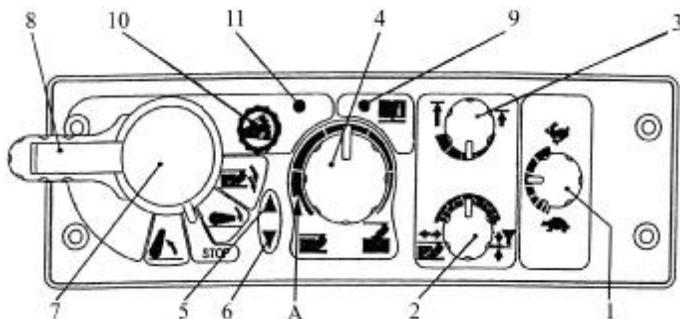


Рис. 3.16. Схема управления ЗНУ пультом управления:

- 1 – рукоятка регулирования скорости опускания; 2 – рукоятка выбора способа регулирования; 3 – рукоятка регулирования ограничения высоты подъема навески; 4 – рукоятка регулирования глубины обработки почвы; 5 – сигнализатор подъема навесного устройства (красного цвета); 6 – сигнализатор опускания навесного устройства (зеленого цвета); 7 – рукоятка управления навесным устройством;
- 8 – фиксатор блокировки рукоятки управления навесным устройством;
- 9 – сигнализатор диагностики неисправностей (красного цвета);
- 10 – кнопка включения режима «демпфирование»; 11 – сигнализатор включения режима «демпфирование» (красного цвета)

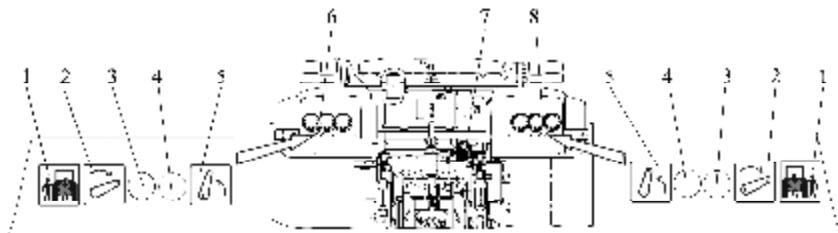


Рис. 3.17. Схема управления ЗНУ выносными кнопками:

- 1 – инструкционная табличка с правилами безопасности; 2, 5 – инструкционные таблички схемы управления ЗНУ; 3 – кнопка опускания ЗНУ; 4 – кнопка подъема ЗНУ; 6 – левый выносной пульт управления ЗНУ; 7 – регулятор; 8 – правый выносной пульт управления ЗНУ

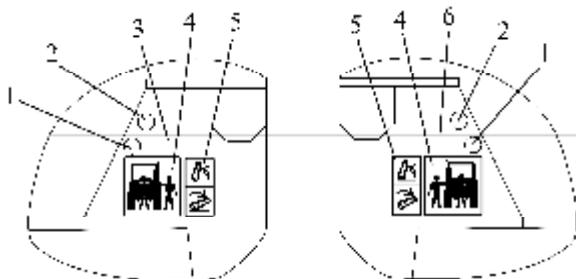


Рис. 3.18. Схема управления ПНУ выносными кнопками:

- 1 – кнопка опускания ПНУ; 2 – кнопка подъема ПНУ; 3 – правый выносной пульт управления ПНУ; 4 – инструкционная табличка о правилах безопасности; 5 – инструкционная табличка схемы управления ЗНУ; 6 – левый выносной пульт управления ПНУ

При наличии неисправностей в системе сигнализатор диагностики 9 (см. рис. 3.16) отображает на соответствующем пульте информацию о неисправности, и в случае необходимости происходит блокирование работы системы управления ЗНУ или ПНУ.

Код неисправности выдается в виде двузначного числа, первая цифра которого равна количеству миганий сигнализатора 9 после первой длинной паузы, а вторая цифра – количеству миганий после второй длинной паузы. Например, сигнализатор 9 работает в следующем алгоритме: запуск двигателя; непрерывное свечение; разблокировка системы – сигнализатор гаснет; трехразовое мигание сигнализатора; длинная пауза – отсутствие свечения; шестиразовое мигание сигнализатора; длинная пауза – отсутствие свечения. Это значит, что система имеет неисправность под кодом «36». При наличии нескольких неисправностей одновременно система индицирует коды друг за другом, разделяя их длинной паузой.

Все неисправности подразделяются на три группы: сложные, средние и легкие.

При обнаружении сложных неисправностей регулирование прекращается и система отключается. Система не управляется ни с пульта, ни выносными кнопками. Сигнализатор диагностики выдает код неисправности. После устранения неисправности и запуска двигателя работа системы восстанавливается.

При средних неисправностях регулирование прекращается и система блокируется. Система управляется только выносными кнопками. Сигнализатор диагностики выдает код неисправности. После

устранения неисправности запуска двигателя работа системы восстанавливается.

При легких неисправностях сигнализатор диагностики выдает код неисправности, но система управляется и не блокируется. В то же время система управления ЗНУ работает некорректно из-за неправильного считывания рельефа почвы. После устранения неисправности сигнализатор диагностики выключается.

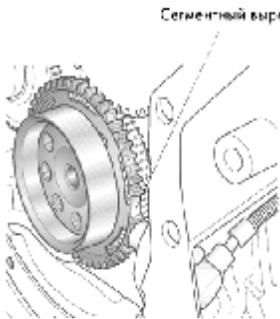
Устранение неисправностей производится согласно руководствам по эксплуатации соответствующих моделей тракторов.

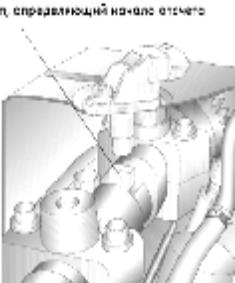
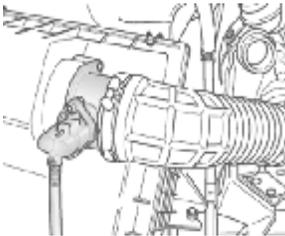
3.2. Портативные микропроцессорные диагностические средства

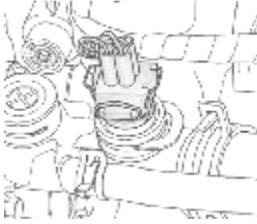
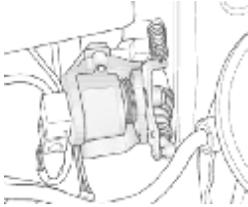
Развитие электронных диагностических средств определяется уровнем разработки эффективных безразборных диагностических методов, наличием датчиков – преобразователей механических величин в электрические сигналы (табл. 3.2), степенью взаимной приспособленности диагностируемых объектов и измерительных устройств.

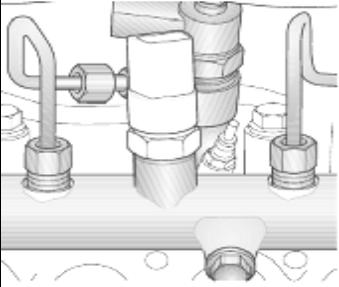
Таблица 3.2

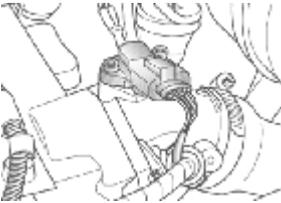
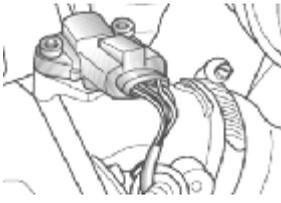
Краткая характеристика основных датчиков

Наименование	Место установки	Характеристика
1. Датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя		<p>Предназначен для определения частоты вращения коленчатого вала и его точного положения.</p> <p>Информация с датчика используется в блоке управления системой впрыска дизеля для определения угла опережения впрыска и цикловой подачи топлива.</p> <p>При отсутствии сигнала этого датчика работа двигателя невозможна.</p>

Наименование	Место установки	Характеристика
<p>2. Датчик положения распределительного вала</p>		<p>Служит для определения положения распределительного вала. Сигнал датчика используется для определения фазы в первом цилиндре двигателя при пуске. При прекращении подачи сигнала с этого датчика двигатель продолжает работать. Блок управления системой впрыска дизеля использует сигналы датчика частоты вращения коленчатого вала. Однако пуск двигателя после его остановки невозможен</p>
<p>3. Датчик массового расхода воздуха</p>		<p>Сигнал датчика используется в блоке управления системой впрыска дизеля при расчете дозы впрыскиваемого топлива</p>
		<p>При отсутствии сигнала измерителя массового расхода воздуха блок управления системой впрыска дизеля рассчитывает дозу впрыскиваемого топлива исходя из определенного постоянного значения расхода воздуха на цикл</p>

Наименование	Место установки	Характеристика
<p>4. Датчик температуры охлаждающей жидкости</p>		<p>Предназначен для передачи сигнала, соответствующего текущей температуре охлаждающей жидкости, на вход блока управления. Температура охлаждающей жидкости учитывается в блоке управления системой впрыска дизеля в качестве корректирующей величины при расчете дозы впрыскиваемого топлива. При отсутствии сигнала блок управления системой впрыска дизеля производит расчеты исходя из постоянной величины, заменяющей это значение</p>
<p>5. Датчик положения педали акселератора с датчиком перехода на холостой ход</p>		<p>По сигналу датчика блок управления системой впрыска дизеля определяет положение педали акселератора – важнейшую из величин, используемых при расчете подачи топлива. Датчик перехода на холостой ход подает сигнал на блок управления о начале перемещения педали акселератора</p>

Наименование	Место установки	Характеристика
		<p>При отсутствии сигнала датчика блок управления системой впрыска дизеля не может определить положение педали акселератора.</p> <p>Двигатель переводится на режим холостого хода с повышенной частотой вращения, и водителю предоставляется возможность доехать до мастерской</p>
<p>6. Датчик давления топлива</p>		<p>Служит для измерения давления топлива в контуре высокого давления аккумулятора системы впрыска дизеля.</p> <p>Сигнал используется в блоке управления системой впрыска в качестве одной из величин, влияющих на регулирование давления топлива в аккумуляторе.</p> <p>При отсутствии сигнала датчика работа двигателя невозможна</p>

Наименование	Место установки	Характеристика
7. Датчик давления во впускном трубопроводе		<p>Предназначен для измерения текущего давления воздуха во впускном трубопроводе. Сигнал датчика используется в блоке управления системой впрыска дизеля для регулирования давления наддува. При его неисправности процесс регулирования давления наддува прекращается, а мощность двигателя ограничивается</p>
8. Датчик температуры воздуха во впускном трубопроводе		<p>Измеряет температуру поступающего в двигатель воздуха. Сигнал датчика используется в блоке управления двигателем в качестве величины, по которой корректируется давление наддува с учетом влияния температуры на плотность наддувочного воздуха. При отсутствии сигнала происходит снижение мощности двигателя</p>
9. Высотный датчик	 <p>Высотный датчик</p>	<p>Используется для измерения атмосферного давления в каждый момент времени для коррекции давления наддува. При отсутствии сигнала двигатель на большой высоте склонен к дымлению</p>

Прямые измерения таких параметров, как давление, перемещение, расход, температура, для современного уровня электроизмерительной техники не представляют трудностей, однако связаны со сложностью подключения датчиков, чувствительные элементы которых должны вводиться в полости диагностируемых объектов. Это требует частичной разборки объекта и нарушения нормального функционирования проверяемого узла.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что одним из важнейших средств повышения качества, надежности и экономической эффективности использования машин является применение систем встроенного диагностирования, устраняющих демонтаж и разборку механизмов и агрегатов. Необходимость комплексной безразборной оценки технического состояния машин и механизмов в рабочих условиях выдвигает на передний план именно методы встроенного диагностирования как наиболее чувствительные к различным отклонениям от нормы параметров технического состояния.

Диагностические средства для определения технического состояния электронных систем управления подразделяются на три категории:

1. *Стационарные (стендовые) диагностические системы* подключаются к бортовому электронному блоку управления (ЭБУ) и не зависят от бортовой диагностической системы машины. Эти устройства обычно диагностируют отдельные механизмы двигателя и системы зажигания, их часто называют мотор-тестерами (рис. 3.19).



Рис. 3.19. Мотор-тестер

Основными элементами мотор-тестера являются датчики и блок обработки и индикации результатов измерений воспринимаемых сигналов. Датчики и регистрирующие приборы соединены с кабелями штекерами и зажимами.

Мотор-тестеры выполняются на базе IBM-совместимых компьютеров, имеют клавиатуру, дисплей, дисководы, привод CD-ROM. В комплект обычно входят набор соединительных проводов и кабелей, стробоскоп, а в отдельных случаях и газоанализатор ОГ. Информация вводится в компьютер с помощью автомобильного анализатора, в котором размещены аналого-цифровые преобразователи, компараторы, усилители и другие устройства предварительной обработки измерительных сигналов. Анализатор подключается к необходимым элементам на автомобиле с помощью комплекта кабелей. Как правило, это один и тот же набор проводов независимо от производителя, подключенных к минусу и плюсу аккумулятора, катушки зажигания, а также высоковольтный провод к катушке зажигания, к свече первого цилиндра, бесконтактный датчик тока на шине питания от аккумулятора, датчик температуры масла в двигателе (вставляется вместо щупа), датчик разрежения во впускном коллекторе и т. д.

Основная часть мотор-тестера – осциллоскоп, на экране которого появляются различные осциллограммы, отражающие режим работы и техническое состояние проверяемых деталей и приборов системы зажигания. Оценка сигнала, появляющегося на экране осциллоскопа, основывается на изменении при наличии неисправностей характера электрических процессов, протекающих в цепях низкого и высокого напряжения. По отдельным частям изображения можно судить о работе некоторых элементов систем питания и зажигания, а характер изменения позволяет выявить причины неисправностей.

Компьютер мотор-тестера обрабатывает информацию, полученную от двигателя, и отображает результаты на дисплее или предоставляет в виде распечатки на принтере. С мотор-тестером может поставляться комплект лазерных компакт-дисков с сервисной информацией о различных моделях машин и с инструкциями электромеханику-оператору, как подключать мотор-тестер к машине, какие кабели использовать.

Перед проведением диагностики следует указать (набрать на клавиатуре мотор-тестера) модель машины, тип двигателя, трансмиссии,

системы зажигания, впрыска топлива и другие опции, которые реализованы на данной машине. Мотор-тестер способен диагностировать большинство систем, включая системы пуска, электроснабжения, зажигания, определять компрессию в цилиндрах, измерять параметры системы приготовления топливовоздушной смеси.

Современные мотор-тестеры могут выдавать информацию о состоянии системы зажигания в виде цифр – осциллограммы процесса. Примером служит мотор-тестер МЗ-2 (Беларусь), с помощью которого можно определять состояние двигателя (по развиваемой мощности, балансу мощности по цилиндрам, относительной компрессии), стартера, генератора, реле-регулятора, аккумулятора, прерывателя-распределителя, электропроводов, свечей зажигания, лямбда-зонда, форсунок системы впрыска бензиновых двигателей, дизельной топливной аппаратуры, устанавливать углы опережения зажигания для бензиновых двигателей и впрыска для дизельных двигателей с помощью стробоскопа.

По мере усложнения электроники расширяются и функциональные возможности стационарных систем, т. к. необходимо диагностировать не только управление двигателем, но и тормозные системы, активную подвеску и т. д.

Универсальность компьютерных мотор-тестеров определяется их программным обеспечением. Многие модели компьютерных мотор-тестеров работают в привычной большинству пользователей операционной системе Windows.

Мотор-тестеры полезны при обнаружении неисправностей в топливной системе, системе зажигания, но с их помощью трудно обнаружить непостоянные неисправности в сложных электронных системах. Во многих случаях неисправность в одной системе проявляется в виде симптомов в других системах, связанных с первой.

2. Бортовое диагностическое программное обеспечение, которое позволяет индицировать неисправности соответствующими кодами. Системы программного обеспечения автомобилей, начиная с 80-х гг., обеспечиваются функцией считывания кодов неисправностей с помощью контрольной лампы Check Engine («Проверь двигатель»).

3. Бортовое диагностическое программное обеспечение, для доступа к которому требуется специальное дополнительное диагностическое устройство. Считывание информации с такого программного обеспечения осуществляется с помощью специальных

устройств – сканеров. Контролируемые параметры и коды неисправностей считываются непосредственно с ЭБУ и интерпретируются специалистами сервиса.

Сканером, или сканирующим прибором (рис. 3.20), называют портативные компьютерные тестеры, обычно с дисплеем на жидких кристаллах, служащие для диагностирования различных электронных систем управления посредством считывания цифровой информации с диагностического разъема машины.

Сканер имеет небольшой по размеру дисплей, просматривать данные на котором, не всегда удобно, даже при использовании прокрутки кадра. Обычно имеется возможность подключить сканер к персональному компьютеру через последовательный порт для передачи данных. Специальное программное обеспечение позволяет просматривать данные со сканера в табличном и графическом виде на мониторе компьютера, сохранять их, создавать базы данных по обслуживаемым машинам.

Сканеры различаются своими функциональными возможностями и спектром тестируемых машин.



Рис. 3.20. Программируемый сканер DST-2M (Россия) без персонального компьютера

Наиболее широкими возможностями обладают специализированные сканеры, используемые для диагностирования только одной марки машин. Их применение вследствие узкой специализации ограничивается отдельными предприятиями сервиса, обслуживающими машины конкретных моделей. Более широкое распространение получили сканеры, предназначенные для диагностирования систем впрыска и других механизмов, агрегатов и систем машин различных моделей.

Существуют программы для персональных компьютеров, позволяющие вводить информацию через последовательный порт с диагностического разъема при наличии соответствующего соединительного кабеля. Персональный компьютер в таком случае выполняет функции сканера. Информацию удобнее считывать с монитора компьютера, чем с маленького дисплея сканера. При использовании персонального компьютера нет необходимости иметь комплект программных картриджей, т. к. емкость жесткого диска компьютера позволяет хранить на нем все необходимые программы. С другой стороны, персональный компьютер не приспособлен к работе в дороге или в тяжелых условиях авторемонтной мастерской. На практике используются как сканеры в виде отдельных устройств, так и сканеры на основе персональных компьютеров.

Система самодиагностики непрерывно сравнивает текущие величины сигналов с эталонными значениями в памяти устройства. Кроме того, она отслеживает реакцию исполнительных механизмов (например, датчика скорости вращения колес при оборудовании техники антиблокировочной системой (АБС)). Любые несоответствия параметров эталонным расцениваются как неисправность. Каждой присвоен свой код. Ранние системы умели определить и запомнить 10–15 кодов, современные же хранят до нескольких сотен кодов, относящихся не только к двигателю, но и к автоматической коробке передач, АБС, подушкам безопасности, климат-контролю и т. д.

В некоторых устройствах самодиагностика позволяет корректировать угол опережения зажигания, а на машинах без нейтрализатора – регулировать уровень СО в ОГ. На новых моделях реализовано так называемое тестовое диагностирование: сигналы подаются в определенный момент времени с последующей проверкой датчиков и исполнительных элементов.

Сканер проверяет входные и выходные параметры электрических цепей и информирует оператора об их величине. Таким образом, сканер лишь фиксирует наличие или отсутствие неисправностей в каком-либо узле, но не позволяет определять их причины, которых может быть много для одних и тех же значений контролируемых параметров.

По способу хранения информации аппаратные сканеры делятся на картриджные и программируемые. Первым для приведения

в рабочее состояние необходим картридж с диагностическим кабелем, соответствующим проверяемой модели техники. Комплект сканера состоит из трех основных частей: самого сканера, сменных картриджей и соединительных кабелей, предназначенных для присоединения к диагностическому разъему проверяемой машины. Каждый картридж предназначен для работы со своим типом контроллера («Джи-Эм», «Бош», «Январь» и т. д.).

Этого недостатка лишены программируемые сканеры. Их встроенную память (Flash-память) можно многократно перепрограммировать с помощью персонального компьютера. Устаревшие версии программного обеспечения можно обновить через Интернет или компакт-диск. Аппаратные сканеры хорошо приспособлены к эксплуатации в условиях автосервиса и позволяют диагностировать системы движущейся машины.

Более информативными являются сканеры, соединенные с персональным компьютером. Для согласования данных, получаемых с контроллера компьютером, используется адаптер (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Программируемый сканер с персональным компьютером

В Республике Беларусь наибольшее распространение получили сканеры KST-300 и KST-500/520 фирмы «Бош», используемые с персональным компьютером, а также сканеры ДСТ-2, ДСТ-10-Кф (Россия) и др. Начато производство сканеров белорусского производства.

Сканеры имеют несколько режимов работы. В режиме «Ошибки» на экране высвечиваются цифровые коды той или иной неисправности, хранящиеся в памяти контроллера машины. Режим

«Параметры» позволяет оценить работу двигателя при движении машины: напряжение в бортовой сети, детонацию, частоту вращения коленчатого вала, состав смеси, скорость движения и т. д. Для просмотра изменения параметров работы двигателя в динамике предусмотрен режим «Сбор данных». Некоторые сканеры, например KST-520 фирмы «Бош», для наблюдения за процессами работы системы впрыска и других систем в динамике могут выдавать графическое изображение сигналов на экране, т. е. позволяют оценить их визуально. Возможности сканеров при проверке системы впрыска конкретной машины определяются диагностическими функциями блока управления данной машины, однако, как правило, все сканеры считывают и стирают коды отказов, выводят цифровые параметры в реальном времени, управляют некоторыми исполнительными механизмами (форсунками, реле, соленоидами).

Сканер подключается через специальный разъем к конкретному ЭБУ или ко всей электронной системе.

В Республике Беларусь нашел широкое применение переносной диагностический прибор Pro-Link 9000, изготавливаемый компанией MPSI (Micro Processor Systems, Inc.; USA). Он предназначен для проведения работ по диагностированию электронных систем управления различных мобильных машин, трансмиссий, двигателей.

Диагностический прибор Pro-Link 9000 (Pro-Link 9000 Plus) позволяет диагностировать электронную систему управления двигателя International DTA 530E (I-308)/DDC S40E/Detroit Diesel S40E. Сервисное обслуживание, технические консультации, обеспечение запасными частями и диагностическим оборудованием двигателя International DTA 530E (I-308)/DDC S40E на территории Республики Беларусь осуществляет СП ООО «Вестерн Технолоджиз».

Считывание диагностических кодов. Коды неисправностей могут быть считаны двумя способами. Первый – для уходящих в прошлое систем самодиагностики: светодиодным пробником, подключаемым к диагностической колодке. Расшифровка кодов проводится в руководстве по ремонту. Второй способ, современный, – получение кодов сканером. Некоторые подобные приборы не только извлекают коды ошибок, но и расшифровывают их.

Для предупреждения водителя о неисправности заводится контрольная лампа. После включения зажигания лампа горит в течение 3 с, а затем должна погаснуть. Если лампа не гаснет, это свидетельствует

о неисправности системы управления, поэтому следует проверить системы управления по определенным кодам. Коды неисправностей условно делят на «медленные» и «быстрые».

«Медленные» коды. При обнаружении неисправности ее код заносится в память и включается лампа Check Engine на панели приборов. Выяснить, какой это код, можно одним из следующих способов в зависимости от конкретной реализации ЭБУ:

- светодиод на корпусе ЭБУ периодически вспыхивает и гаснет, передавая таким образом информацию о коде неисправности;
- с помощью проводника соединяют определенные клеммы диагностического разъема или замыкают определенную клемму разъема на «массу» и включают зажигание – лампа Check Engine начинает периодически мигать, передавая информацию о коде неисправности;
- светодиод или аналоговый вольтметр подключают к определенным контактам диагностического разъема и по вспышкам светодиода или колебаниям стрелки вольтметра получают информацию о коде неисправности. Так как «медленные» коды предназначены для визуального считывания, частота их передачи очень низкая (около 1 Гц), объем передаваемой информации мал.

Коды обычно выдаются в виде повторяющейся последовательности вспышек. Код содержит несколько цифр, смысловое значение которых расшифровывается по таблице неисправностей, входящей в состав эксплуатационных документов машины. Длинными вспышками (1,5–2,5 с) передается «старшая» неисправность (первая); короткими (0,5–0,6 с) – «младшая» (вторая).

Пример высвечивания кода «1–3–1–2», соответствующего неисправности электронной форсунки впрыска первого цилиндра двигателя, приведен на рис. 3.22.

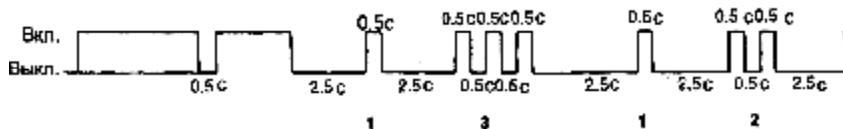


Рис. 3.22. Пример высвечивания кода неисправности

После обнаружения неисправности ее необходимо локализовать, т. е. выяснить, что отказало: сам датчик, разъем, проводка, крепление и т. д.

«Медленные» коды просты, надежны, не требуют дорогостоящего диагностического оборудования, но малоинформативны.

«Быстрые» коды обеспечивают выборку из памяти ЭБУ большого объема информации через последовательный интерфейс. Этот интерфейс и диагностический разъем используются при проверке и настройке на заводе-изготовителе и при диагностировании.

Наличие диагностического разъема позволяет, не нарушая целостности электропроводки технического средства, получать диагностическую информацию от различных систем машины (двигатель, АБС, трансмиссия, подвеска и т. д.) с помощью сканера или мотор-тестера.

3.3. Многоканальная интегрированная система вибраакустической и тепловой диагностики дизельных двигателей

Современные машины и их двигатели отличаются улучшенными эксплуатационными свойствами (повышенными скоростями движения, надежностью работы агрегатов и систем, экономичностью и т. д.). Улучшение эксплуатационных характеристик машин привело к усложнению их конструкции, повышению точности изготовления деталей и их сборки. Именно поэтому ранее существующие способы и методы контроля технического состояния двигателя сегодня не могут в полной мере удовлетворить техническую службу предприятий, т. к. необходимы современные диагностические комплексы, а также методики комплексного диагностирования. Качественное определение технического состояния узлов, агрегатов и систем современных двигателей возможно только при условии применения высокопроизводительного специализированного диагностического оборудования и современных методов контроля, обеспечивающих получение достоверных результатов.

Основные механические, молекулярные и электродинамические процессы, протекающие в системах, узлах и механизмах дизельных двигателей, сопровождаются излучением спектра частот, как правило, звукового (в т. ч. и прилегающих к нему инфра- и ультразвука) и теплового диапазонов. Анализ сигналов дизельной аппаратуры в указанных частотных диапазонах позволяет в реальном времени проводить ее контроль и диагностику, судить о текущем состоянии, оценивать остаточный ресурс отдельных узлов и элементов.

Виброакустический и тепловой контроль осуществляется как контактными, так и бесконтактными способами. В первом случае уровень вибрации и распределение температурного поля измеряются вибродатчиками (акселерометрами и гироскопами) и датчиками температуры в местах непосредственного съема данных. Второй (бесконтактный) вариант подразумевает получение звуковых сигналов с помощью распределенной системы микрофонов и измерение температуры посредством тепловизионных камер (цифровых болометров), установленных дистанционно. Бесконтактный контроль незаменим во время диагностики внутренних и труднодоступных внешних узлов в течение их работы, без остановки дизеля. Объединение контактных и бесконтактных способов формирует целостную картину пространственно-временного распределения звукового давления и температуры отдельных узлов и механизмов при работе дизельного двигателя в масштабе реального времени.

Современный уровень развития микропроцессорной и сенсорной техники способствует разработке недорогой многоканальной системы диагностики дизельных двигателей на базе интегрирования виброакустического и тепловизионного каналов. Поэтому необходимо обосновать архитектуру интегрированной системы виброакустической и тепловой диагностики, позволяющей в дальнейшем оценивать остаточный ресурс систем, узлов и механизмов дизельных двигателей в масштабе реального времени.

Предлагаемая архитектура многоканальной системы представлена на рис. 3.23. Центральный ее блок – современный микроконтроллер STM32F407VGT6 с ядром ARM Cortex-M4. Микроконтроллер имеет в составе все базовые интерфейсы связи (I2C, SPI, I2S, UART/USART, 1-WIRE), присущие цифровым акселерометрам, гироскопам, датчикам температуры, тепловым сенсoram и, как минимум, по два порта каждого интерфейса. Кроме того, благодаря блоку прямого доступа к памяти DMA, позволяющему конвейеризировать процессы управления периферией, на его основе в связке с таймерами общего назначения можно дополнительно построить высокоскоростные программные интерфейсы, например, SWSPI (Software SPI), и значительно расширить аппаратную периферию системы. Для ускорения работы с вещественными числами и быстрого автоматизированного анализа массивов данных в ядро ARM Cortex-M4 встроен сопроцессор плавающей точки.

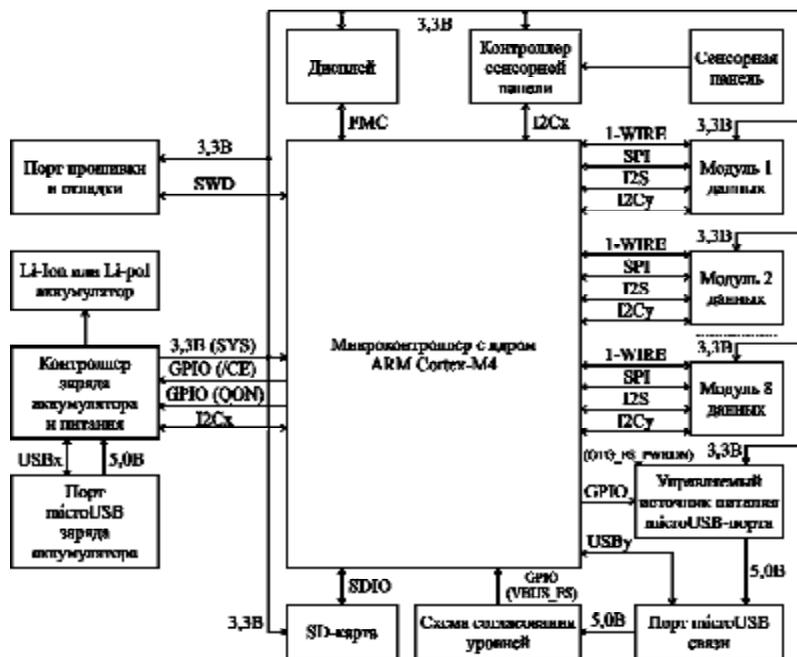


Рис. 3.23. Архитектура многоканальной системы виброакустической и тепловой диагностики дизельной аппаратуры

Считанные с датчиков отчеты поступают на микроконтроллер с модуля данных, структура которого приведена на рис. 3.24. Модулем данных интегрируются:

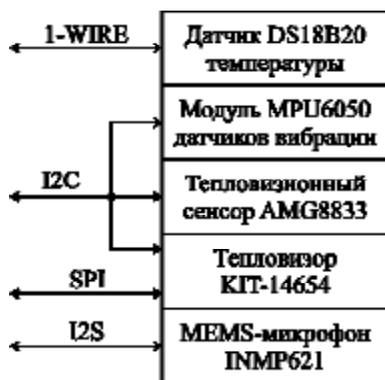


Рис. 3.24. Структура модуля данных

- контактный датчик DS18B20 температуры с выходным интерфейсом 1-WIRE;
- вибродатчик MPU6050 и тепловой сенсор AMG8833 разрешением 8×8 пикселей с интерфейсом I2C;
- MEMS-микрофон с частотно-импульсно-модулированным выходным сигналом, передаваемым по шине I2S;
- тепловизионный сенсор Lepton FLIR разрешением 160×120 пикселей с интерфейсами I2C для настройки и SPI для передачи кадров в формате VoSPI.

К шине 1-WIRE могут одновременно подключаться несколько десятков датчиков, измеряющих температуру контактным способом и формирующих короткие информационные пакеты длительностью порядка 1 мс на стандартно невысокой скорости 15,4 кбит/с. Этого достаточно для получения выборок температурных данных с периодом 500 мс от каждого датчика, поэтому шина 1-WIRE в системе единственная.

Основной нагрузкой для шины I2C выступают контактный модуль MPU6050 датчиков вибрации и бесконтактный тепловой сенсор AMG8833. Бесконтактный тепловизор KIT-14654 на базе Lepton FLIR изредка использует интерфейс I2C, обращаясь к нему лишь в моменты изменения режима работы сенсора тепловизора.

В обобщенную транзакцию взаимодействия с модулем MPU6050, состоящего из MEMS-акселерометра и гироскопа, входят 4 байта пакетов данных акселерометра и 4 байта пакетов данных гироскопа. Для высокоскоростного режима функционирования шины I2C, обеспечивающего обмен между ведущим микроконтроллером и ведомым модулем MPU6050 со скоростью 400 кбит/с, отдельные транзакции, имеющие длину 4 байта, длятся не более 90 мкс, что соответствует частоте считывания данных 11,1 кГц. Предельные же частоты дискретизации для гироскопа и акселерометра равны соответственно 30 кГц (что существенно выше 11,1 кГц) и 1 кГц. Поэтому в работе с гироскопом модуля MPU6050 обеспечивается избирательность функционирования пользовательского интерфейса системы – прием данных только от одного из датчиков (либо акселерометра, либо гироскопа) в пакетном режиме, позволяющем считывать их с частотой до 44,4 кГц, приемлемой и для акселерометра, и для гироскопа.

Тепловой сенсор AMG8833 разрешением 8×8 пикселей предназначен для бесконтактного дистанционного считывания распределения тепла в объекте исследования и способен передавать поток видеоданных с частотой 10 кадр/с. Так как отдельный кадр в AMG8833 представлен 64-элементной матрицей общим размером немногим более 128 байт, указанная кадровая частота соответствует относительно невысокой скорости шины I2C, равной 12 кбит/с. При работе I2C на стандартной скорости 100 кбит/с в паузе между кадрами AMG8833 можно формировать совместные выборки от акселерометра и гироскопа модуля MPU6050 с целью их накопления, последующего анализа и принятия решений.

Тепловизор KIT-14654, связанный с центральным микроконтроллером отдельным интерфейсом SPI, тактируется меандром-частотой в диапазоне от 10 до 24 МГц. Он обеспечивает передачу кадров разрешением 160×120 пикселей в формате VoSPI со скоростью 26 кадр/с. Каждый двухбайтный яркостный элемент кадра тепловизора кодируется в оттенках серого и таблично преобразуется программой микроконтроллера в цветной формат путем применения палитры Rainbow или Colormap.

Цифровой миниатюрный MEMS-микрофон INMP621, считывающий сигналы звукового давления работающей дизельной аппаратуры, передает центральному микроконтроллеру результирующий битовый поток аудиоданных в PDM-формате по интерфейсу I2S. Однобитная импульсно-плотностная (PDM) модуляция получила широкое распространение в электронике и цифровой обработке сигналов благодаря высокому быстродействию технических решений, ее реализующих, помехоустойчивости, соотношению «сигнал–шум», простоте схемотехнической реализации с единственной линией данных. PDM-формат повсеместно используется при генерации и обработке аудиосигналов, поддерживается микрофоном INMP621.

Пользовательский интерфейс контроля и управления системой диагностики дизельной аппаратуры (см. рис. 3.23) представлен дисплейным модулем, взаимодействующим с центральным микроконтроллером по интерфейсу FMC (Flexible Memory Controller), и сенсорной панелью, управляемой по шине I2C.

В предлагаемой архитектуре присутствуют две независимые шины – I2Cx и I2Cy. К одной из них (I2Cx) подключен контроллер

устройства ввода пользовательских данных (сенсорной панели) и контроллер заряда аккумуляторной батареи. Вторая шина (I2C_u) служит для подключения модулей данных – датчиков вибрации и тепловых сенсоров.

Полученные выборки, массивы данных, файлы могут быть сохранены для последующего анализа на SD-карту, соединенную с центральным микроконтроллером интерфейсом SDIO, либо на внешний USB-накопитель, подключенный к системной шине USB_u через microUSB-порт связи посредством переходного OTG-кабеля.

Благодаря управляемости источника питания USB-порта связи система может выступать как «ведущим» USB HOST (для подключения к ней стандартных внешних носителей информации), так и «ведомым» USB DEVICE (для связи с компьютером и передачи ему накопленных файлов и выборок). Во втором случае центральный микроконтроллер, приняв высокий уровень напряжения на линии питания USB_u при VBUS_FS = 1 (см. рис. 3.23), посредством сигнала OTG_FS_PWRDN оставляет выключенным управляемый источник питания microUSB-порта, т. е. повышающий преобразователь напряжения «3,3 В → 5,0 В». Схема согласования уровней при этом служит для понижения входного, стандартного для USB-шины, напряжения 5,0 В до значения 3,3 В, являющегося рабочим для центрального микроконтроллера и, соответственно, номинальным для его портов ввода–вывода. В роли «ведущего» центральный микроконтроллер путем управления линией OTG_FS_PWRDN и, в свою очередь, повышающим источником «3,3 В → 5,0 В» подает 5,0 В на microUSB-порт связи, позволяя запитать таким образом внешнее устройство, в частности USB FLASH-диск, с целью записи в него данных, следующих по шине USB_u.

Питание системы осуществляется как от внешнего источника (компьютера или батареи типа Power Bank) через порт microUSB заряда аккумулятора (см. рис. 3.23), так и автономно – от внутренней литий-ионной (Li-Ion) или литий-полимерной (Li-pol) аккумуляторной батареи. Рабочее напряжение блоков и модулей системы составляет 3,3 В. За преобразование входного напряжения в диапазоне 2,5–5,0 В в напряжение 3,3 В, контроль и стабилизацию питания отвечает контроллер заряда аккумулятора и питания. В частном случае в качестве него может выступать микросхема BQ24295, способная управлять зарядом аккумуляторной батареи и

передавать параметры текущего ее состояния (ток и уровень заряда, напряжение на аккумуляторе, температуру окружающей среды) центральному микроконтроллеру по шине I2C. Контроль питания системы предусмотрен и извне, например, с помощью компьютера, подключенного к шине USBx, путем считывания параметров состояния аккумуляторной батареи из контроллера заряда аккумулятора и питания.

Стандартизированный порт SWD прошивки и отладки предназначен для обновления программного обеспечения и внутрисхемной пошаговой отладки работы центрального микроконтроллера и функционирования системы в целом.

Таким образом, предложена архитектура интегрированной многоканальной системы диагностирования дизельной аппаратуры, объединяющей до восьми универсальных модулей данных, состоящих из виброакустических и тепловых датчиков. Система полностью цифровая, с управляемой частотой тактирования ядра микроконтроллера до 216 МГц, повышенной помехоустойчивостью каналов связи и оптимальным соотношением стоимости к вычислительной способности.

Обоснованы базовые интерфейсы взаимодействия центрального микроконтроллера системы с модулем данных: I2Cu, функционирующий в высокоскоростном режиме 400 кбит/с (в отличие от I2Cx, для которого достаточно стандартной скорости 100 кбит/с), 1-WIRE, SPI и I2S. Благодаря MEMS-технологии, применяемой в изготовлении виброакустических датчиков, модуль данных имеет миниатюрные размеры, а система в целом характеризуется портативностью и автономностью.

Система позволяет диагностировать неисправности и вычислять остаточный ресурс узлов дизельной аппаратуры в масштабе реального времени, параллельно отображая на дисплее динамику изменения сигналов (спектрограммы и/или скейлограммы), обрабатывая пользовательские запросы и формируя протокол изменения картины состояния дизеля на SD-карте или внешних USB-носителях информации.

3.4. Технологические приемы эксплуатационного контроля моторных масел и их реализация для ТО и ремонта ДВС

Рабочие свойства масел в большей мере определяются составом и концентрацией присадок и добавок. При неоптимальном составе,

несоответствующих присадках и добавках, загрязнении, обводнении смазочные масла, являясь третьим конструкционным элементом трибопар, могут на 50 % обуславливать необходимость ремонта высоконагруженных агрегатов машин. Поэтому при технической эксплуатации МТП должно уделяться достаточное внимание контролю масел как части технической диагностики, что и имеет место на некоторых крупных производствах.

Предлагается диагностирование рабочих показателей масел по отработанным за десятилетие практического контроля методикам:

1. *Диспергирующе-стабилизирующие (ДСС)*, или моюще-диспергирующие, свойства экспресс-методом по «капельной пробе», опробованным в 1947 г. в фирме Schell и позднее компьютеризированным. Основа метода – бумажная хроматография капли масла (рис. 3.25, 3.26) в соответствии с ГОСТ 28365–89 («Реактивы. Метод бумажной хроматографии», СТ СЭВ 6397–88). Эта упрощенная методика одобрена в ГосНИИ-25 МО РФ, ЦНИДИ, МАДИ, использована фирмой «ТехноДиагностСервис» ЦНИИ МФ РФ и ГОСНИТИ, признана практичной и введена в инструкции по эксплуатации дизелей военной техники. Балльные показатели ДСС в нашей упрощенной методике составляют от нуля для свежих масел до шести для «мертвых». По этому параметру браковали только обводненные масла с соответствующими рекомендациями по устранению причин обводнения.

Известны разные количественные определения ДСС. Так, в ГОСНИТИ рекомендовалось определять показатели по формулам:

$$K_1 = d_3 / d_2, \quad (3.1)$$

$$K_2 = d_2 / d_1, \quad (3.2)$$

где K_1 – показатель наличия в масле активной присадки или ДСС;

K_2 – показатель концентрации механических примесей;

d_3 – максимальный диаметр внешнего чистого кольца масла, м;

d_2 – наружный диаметр на масляном пятне зоны диффузии загрязнений масла, м;

d_1 – диаметр ядра масляного пятна, окруженного кольцом осажденных частиц загрязнений, не проникающих в поры фильтровальной бумаги, м (см. рис. 3.25, 3.26).

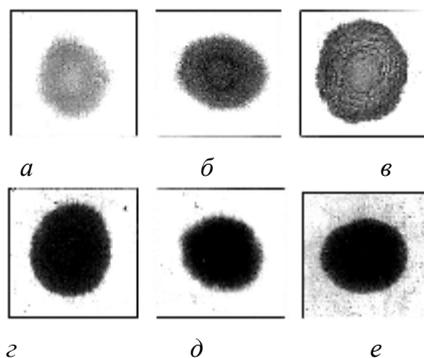


Рис. 3.25. Изменение размера и цвета пятна моторного масла на фильтровальной бумаге по мере его работы:

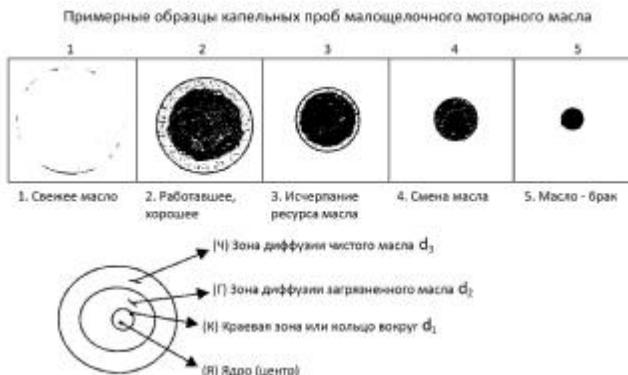
a – практически свежее масло; *б* – классическая картина «капельной пробы» с наружным кольцом чистого масла, внутренним кольцом незначительно загрязненного масла (зона диффузии) и светлым ядром; *в, г* – отсутствие внешнего кольца чистого масла, уменьшение диаметра пятна из-за постепенного укрупнения мехпримесей вследствие уменьшения ДСС; *д* – неровная форма ядра и всего пятна из-за обводнения масла, предельное состояние масла; *е* – свертывание «капельной пробы» (капля масла не растекается по фильтровальной бумаге из-за значительного и длительного его обводнения; если масло состоит из золотистой расслаивающейся жидкости, ведущей двигатель к аварии, а в донной части содержит масляный шлам, то масло – брак; если же масляное пятно имеет желтый, коричневый или темно-коричневый цвет, то это свидетельствует о значительной окисленности масла вследствие аварийного перегрева ДВС)

Проанализировав более 15 тыс. «капельных проб» от 18 марок моторных масел при диагностировании парка 350 большегрузных и малотоннажных автосамосвалов БелАЗ, Caterpillar, Comatsu, МАЗ и КамАЗ, некоторых тракторов и легкового транспорта, трех тепловозных дизелей от свежих до браковочных масел, установили, что показатели ГОСНИТИ по формулам (3.1), (3.2) не точны.

Типичные масляные пятна:

1. Почти свежее масло, поработало не более 50 ч; не загрязнено, расплывается на наибольший размер, дает равномерно окрашенное светлосерое пятно со светлой наружной каемкой чистого масла (см. рис. 3.25, *a*).

2. То же, не более 100 ч (см. рис. 3.25, *б*). Видны: центральное ядро диаметром капли до ее растекания; кольцо, окаймляющее ядро с самыми крупными мехпримесями, дающее дополнительную информацию о загрязнении масла; далее от центра – широкое кольцо зоны мелких примесей масла; крайнее кольцо почти чистого масла, эталон пробы с большим запасом работоспособности масла.



Я	Свет- лое	Темно- серое	Черное	Густое черное, мазобранное с крупинка- ми мехпримесей	Капля не расплы- вается или расплыва- ется только водянистая
К	Отсут- ствует	Темно- серое – черное	Темно- черное	Ядро и кольцо слиты	–
Г	Отсут- ствует	Серое или темно- серое	Черное	Темно- черное	–
Ч	Все пятно светлое и исчезает через 50 ч	Светлое	Светлое, перемен- ной ши- рины	Исчезает	–
ДСС	1	2	3–4	5	6

Рис. 3.26. Схема оценки «капельной пробы» смазочных масел с присадками: по мере проработки масла его пятно от светлого переходит к светло-серому, серому, темному, черному, густо-черному и непрерывно уменьшается в диаметре; при потере ДСС частицы примесей коагулируются, увеличиваются в размере и мало проникают в поры бумаги, а капля масла со шламом не растекается на бумаге вообще

3. Грязное, много поработавшее масло, имеющее небольшой ресурс (см. рис. 3.25, *в*). Ежедневный контроль может предупредить резкое ухудшение состояния масла и мотора.

4. Масло заметно загрязнено и потеряло моюще-диспергирующие свойства; если ДВС работает при больших нагрузках, то масло подлежит замене (см. рис. 3.25, *з*).

5. Масло взято из аварийного ДВС (см. рис. 3.25, *д*). Нужно устранить неисправности, протечку воды, промыть двигатель, залить качественное масло.

6. Может иметь желтый цвет от пережога ДВС (см. рис. 3.25, *е*). Масло подверглось чрезмерному окислению с образованием смол.

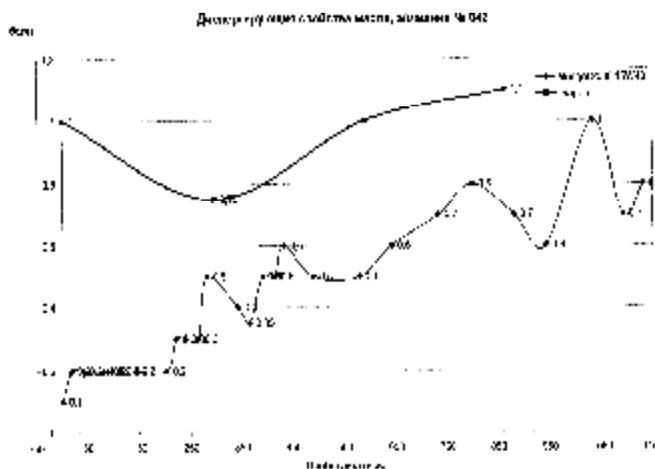
Показатель K_1 при исчезновении на «капельной пробе» кольца чистого масла через сутки-двое работы дизеля теряет смысл вообще.

Сокращение зоны диффузии с ростом размеров мехпримесей и затруднением их проникновения в поры бумаги отражает снижение ДСС масла, а его загрязненность характеризуется плотностью цвета зоны диффузии, что и принято для компьютеризации «капельной пробы» в фирме «Лубризол» (США).

Методика экспресс-контроля моторного масла по «капельной пробе» иллюстрируется на рис. 3.25 и 3.26. На «капельной пробе» выявляют: наружный диаметр пятна $D_{\text{макс}}$, который может совпадать с внешним кольцом чистого масла; кольцо загрязненного масла (наружный диаметр D зоны диффузии загрязнений); диаметр d ядра и окаймляющего его кольца (краевая зона), где оседают самые крупные загрязнения; цвет зоны диффузии и ядра (желтый, светло-коричневый, коричневый цвет – признаки аварийного перегрева мотора и масла); неровность или рваную форму внешней границы пятна из-за обводнения масла.

Если проводят проверку «капельной пробы» на бумаге разного сорта (фильтровальной, писчей, газетной), а также на ситцевой ткани разного цвета, то достигают большей глубины контроля. Например, масло образует на бумагах «водяные знаки», по яркости которых можно выделять высокощелочные и малощелочные масла; тонкая прозрачная бумага и белый ситец позволяют на визуальном уровне качественно определить крупность мехпримесей.

Для оценки ДСС возможно применение экспертной балльной оценки, характеризующей снижение ДСС по степени сокращения диаметра масляного пятна, где предельными значениями (рис. 3.27) могут быть 1, 6 или 10.



a

б

Рис. 3.27. Динамика в баллах ДСС по «капельной пробе» моторных масел дизелей Cummins KTA-38 при наработке 1100 ч автосамосвалов БелАЗ в АТП СП «Эрдэнэт»: *a* – масла фирмы «Квалитет» (условная марка – Mongol 2006) класса качества CG-4, вязкости 15W-40 на нижней кривой и масла южнокорейской фирмы S-oil (условная марка – Dragon), где уменьшение принятых по одноклассовой оценке показателей ДСС происходило после доливки свежего масла; *б* – схема сворачивания пятна «капельной пробы» на фильтровальной бумаге

Многолетняя практика контроля масел показала достоверность такой органолептической оценки ДСС.

«Капельная проба» масел приводится в ОСТ 10 2.25–87 и в СТО 10 2.25–2010, однако набор масляных пятен систематизирован там сумбурно. Целесообразно дать в СТО 10 2.25–2010 отдельно: ряд масляных пятен по мере естественного снижения ДСС без обводнения масел; несколько сокращающихся (и с краевыми разводами) пятен со снижением ДСС из-за обводнения масел; несколько пятен желтого, светло- и темно-коричневого цвета из-за аварийного перегрева ДВС.

2. Щелочное число масла (ЩЧ) (рис. 3.28–3.30) – главный показатель качества моторного масла, характеризующий моюще-диспергирующие, антиизносные, антифрикционные, нейтрализующие (кислые продукты самого масла и проникающие в нее извне) и моюще-стабилизирующие свойства.

Для кислотных чисел масел (общего кислотного числа (ОКЧ), обусловленного остаточными ингибиторами коррозии, слабыми органическими кислотами продуктов сгорания и продуктов окисления базы масла, а также кислотными числами сильных неорганических кислот (КЧСК) – продуктов сгорания) всеми зарубежными и отечественными специалистами (ВНИИ НП, ГосНИИ-25, НАМИ, НАТИ, ВНИИТиН, ФНАЦ ВИМ, ЧГАУ и др.) признано, что, хотя для ОКЧ не существует принятых признаков опасных пределов, желательно удерживать этот параметр моторных масел как можно на более низком уровне. Вместе с тем, говоря о важности КЧСК, признают, что основная доля износа ДВС при эксплуатации в условиях низких температур происходит вследствие образования кислых неорганических продуктов сгорания, содержащих галогены или серу, а также сильных органических кислот.

Обработка эксплуатационной методики контроля ЩЧ – основной показатель качества моторных масел по способности нейтрализовывать кислотосодержащие соединения, образующиеся при сгорании топлива и окислении масла и осуществлять моюще-диспергирующие действия с загрязнениями. По данным ряда исследователей, повышенное ЩЧ существенно снижает коррозионный износ поршневых колец, цилиндров и цветных металлов подшипников коленвала, препятствует образованию лаковых отложений на высокотемпературных деталях ДВС. Это особенно резко проявляется в ЦПГ судовых дизелей, работающих на высокосернистом (до 5 %) мазуте, где требуются масла со ЩЧ от 20 до 70 мг КОН/г. При работе же на топливах с малым содержанием серы (0,1–0,15 %) качество масла практически не влияет на изнашивание верхней зоны ЦПГ. Более того, возможно некоторое увеличение изнашивания этой зоны при работе на маслах высшего качества и с низкосернистым топливом, что обусловлено пластифицированием поверхностей металла под действием ПАВ присадок (эффект академика П. А. Ребиндера), не расходуемых, как в других случаях, на нейтрализацию кислых продуктов. При сернистых топливах масла высших групп с повышенной нейтрализующей способностью обеспечивают существенное снижение изнашивания.

Общее щелочное число (ОЩЧ) свежих отечественных и импортных моторных масел ранее варьировалось в пределах от 2 до 20 мг КОН/г, с 90-х гг. – не ниже 5, а у высококачественных масел – в основном от 8 до

14 мг КОН/г. Однако по мере работы запас щелочных свойств масел неуклонно снижается (см. рис. 3.28, 3.29). Он может стабилизироваться на минимальном уровне или приблизиться к нулю.

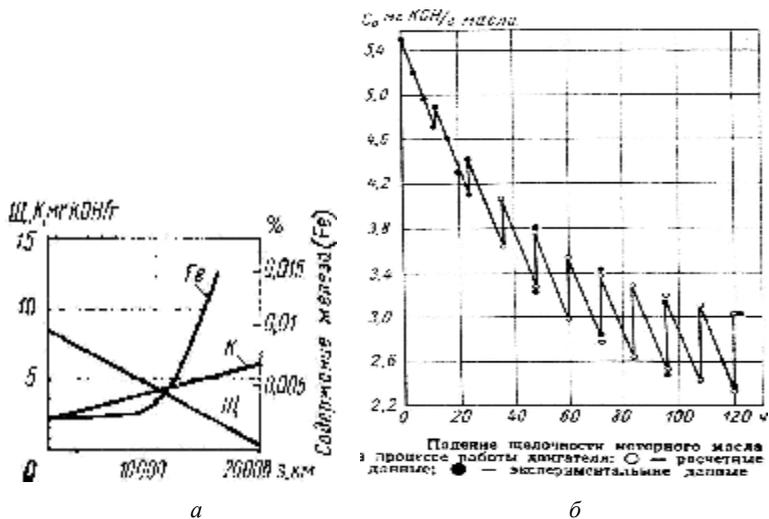


Рис. 3.28. Графики уменьшения ЩЧ среднешелочных моторных масел [2, 19, 20]: а – исторически первая схема НАМИ 60-х гг. снижения ЩЧ (Щ), повышения КЧ (К) и скорости изнашивания ДВС (Fe); б – экспериментально-теоретические данные (НАТИ, 80-е гг.)

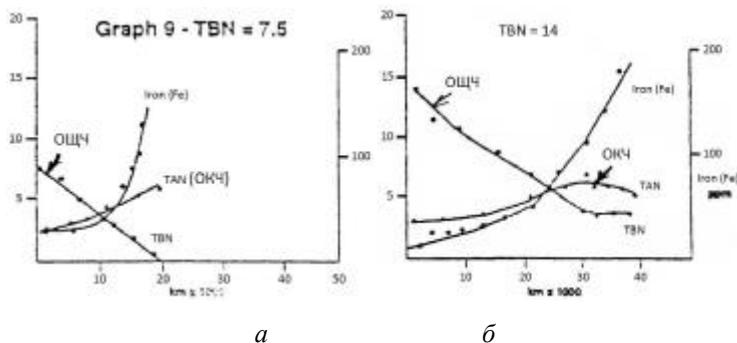


Рис. 3.29. Графики зависимости износа деталей ДВС от динамики старения масел (по данным фирмы «Лубризол»): а – при среднешелочном; б – высокощелочном

Установлено, что ускорение изнашивания ДВС (концентрация Fe) происходит после снижения ОЩЧ до уровня КЧ.

Теоретическое и экспериментальное обоснования предельных значений ЩЧ проводились в НАМИ, НАТИ и в корпорации «Лубризол». В докладе У. Гергеля «Периодичность замены дизельных масел. Корпорация “Лубризол”» (II Международная конференция по проблемам разработки, производства и применения смазочных материалов, г. Бердянск, 02–06.09.1997) подчеркивается, что кислотные и щелочные числа как эмпирические параметры нельзя напрямую сопоставить с истинной щелочностью или кислотностью. Определение кислотного и щелочного чисел является сложной процедурой, в результате которой ошибки могут достигать относительно больших величин: вплоть до 0,5 мг КОН/г с работавшими маслами. Выработать критерии годности работавших масел, базирующихся на оценке полученных значений, также непросто, особенно для кислотных чисел. Суть анализа обычно состоит в том, чтобы показать: значения варьируются в равномерном диапазоне без резких колебаний.

По контролю ЩЧ и КЧ масел сделано заключение: противоизносные/антифрикционные компоненты пакета присадок – дитиофосфаты цинка – являются продуктами амфотерного типа, т. е. обладают и кислотными, и щелочными свойствами одновременно; такие соединения цинка обычно имеют небольшие ЩЧ и относительно высокие КЧ и при включении в состав масел могут вызывать сложности при проведении анализов, особенно кислотного числа работавших масел (доклад У. Гергеля).

Для обоснования метода контроля ЩЧ и КЧ корпорацией «Лубризол» в конце 90-х гг. проведены тщательные определения ОЩЧ и ОКЧ по стандартам ASTM D-664 (для ОЩЧ и ОКЧ), D-4739 «Стандартный метод определения щелочного числа методом потенциометрического титрования» и D-2896 для ОЩЧ. Согласно последнему, с использованием в качестве титранта хлорной кислоты ЩЧ отработанных масел могут стать выше ЩЧ свежих, и подтверждения этому имеются.

Поэтому в силу различного, порой непредсказуемого влияния компонентов масел, присадок, продуктов износа, загрязнения масел доказано, что для свежих масел следует использовать методы D-2896 и D-4739, а для работавших – метод D-664 (доклад У. Гергеля).

В табл. 3.3 приведены браковочные минимальные значения ОЩЧ и максимальные значения ОКЧ по данным SAE конца 90-х гг., из которых видно, что официальные нормативы ОЩЧ и ОКЧ не были установлены, и их нет до сих пор.

Ориентиры норм ОЩЧ и ОКЧ (по данным SAE)

Минимальное значение ОЩЧ	Метод	Специалисты, %	Максимальное значение ОКЧ	Метод	Специалисты, %
0,5	D-664	10	2,0	D-664	31
0,8	D-664	32	2,5*	D-664	11
1,0	D-4379	8,9	3,5*	D-664	7
2,0	D-664	7	–	–	–
2,0 или 50 %*	D-664	11	–	–	–
1,0	D-2896	10	–	–	–
2,0	D-2896	8,9	–	–	–
50 %*	D-2896	5	–	–	–
0,5	–	36,2	–	–	–
50 %*	–	27,3	–	–	–

*По данным Американского общества автомобильных инженеров-механиков (SAE).

В связи с изложенными трудностями корпорация «Лубризол» провела испытания двух дизельных масел средней (ОЩЧ = 7,5) и высокой (ОЩЧ = 14 мг КОН/г) щелочности при эксплуатации грузовых автомобилей с контролем ОЩЧ по методу ASTM D-4739 и концентрации железа. Установлено, что интенсивность износа резко растет с момента равенства величин ОКЧ и ОЩЧ, поэтому момент, когда ОЩЧ равно ОКЧ, представляется наиболее подходящим для замены масла в дизелях. Этот вывод совпадает с данными НАМИ (см. рис. 3.28) 60-х гг.

Однако это предельный случай установления момента смены моторного масла, т. к. такое положение не гарантирует при ТО машин до смены масла нормального исполнения им всех его функций. Ведущим специалистом по ТСМ в АПК М. А. Воробьевым на основании более чем 30-летнего опыта эксплуатационных испытаний моторных масел установлено, что если скорость нагарообразования в ЦПГ автотракторных дизелей не превышает 0,001 б/ч, то их ресурс может достигать 30 тыс. ч, а при скорости около 0,010 б/ч – не превышает 10 тыс. ч. Исходя из этого допустимый на межконтрольный период уровень ЩЧ нужно устанавливать и с учетом допустимой интенсивности нагарообразования.

Результаты исследований НАМИ, НАТИ, ВНИИ НП, корпорации «Лубризол», ЧГАУ, ВНИИТиН показывают значительную трудность контроля и нормирования ЩЧ, особенно при диагностировании МТП в АПК. Основным методом определения общего щелочного числа – потенциометрическое титрование хлорной кислотой по ГОСТ 30050–93 – здесь невозможен в силу сложности, опасности и трудоемкости. Для этого требуется оснащенная химическая лаборатория и специалист-химик. Сложны и другие стандартные методы: определение кислотности и кислотного числа по ГОСТ 5985–79, определение числа нейтрализации по ГОСТ 11362–96 методом потенциометрического титрования, определение числа нейтрализации методом цветного индикаторного титрования по ГОСТ 29255–91, а метод определения наличия водорастворимых кислот и щелочей в водной вытяжке из масла по ГОСТ 6307 – качественный, но грубый.

В целом многими исследованиями (НАМИ, НАТИ, ВНИ НП, ВИМ, ЛСХИ, ГОСНИТИ) замечено, что ЩЧ многих моторных масел производства 60–90-х гг. по мере эксплуатации стабилизировалось на уровне 1,5–2,5, но закоксовывание ЦПГ быстро росло. Поэтому считается, что предельное значение ЩЧ должно быть заметно выше уровня этой стабилизации.

Автотракторные дизели производства 70–80-х гг. (СМД-60...80, ЯМЗ-236...240, КамАЗ-740) имели литровую мощность 19–22 л. с./л, а современные ЯМЗ и Д-260 – до 35 л. с./л, как и зарубежные. Определенную в НАТИ величину критического значения ЩЧ масел с исходным ЩЧ 8 мг КОН/г необходимо увеличить с 3 до 3,5–4 мг КОН/г, для высокофорсированных автотракторных дизелей (ЩЧ свежего масла – до 14,5 мг КОН/г) – до 4–4,5 мг КОН/г (табл. 3.4), а для масел судовых дизелей (использующих в качестве топлива высокосернистый мазут и масла со ЩЧ 20,0 и 70,0 мг КОН/г) – до 8 мг КОН/г.

Таблица 3.4

Ориентировочные предельные и допускаемые значения ЩЧ для моторных масел, рассчитанные интерполированием данных НАТИ

Значение ЩЧ, мг КОН/г	Показатель А напряженности работы моторного масла							
	100	200	300	400	500	600	700	800
браковочное	0,4	1,1	2,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
допускаемое на межконтрольный период	0,6	1,5	3,0	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

При величине ЩЧ выше допустимых значений, приведенных в табл. 3.4, масло полностью выполняет свои антиизносные, моюще-диспергирующие, нейтрализующие и защитные свойства в межконтрольный период. Поэтому в новых ДВС при легких по показателю А условиях работы масла, высокой его антиокислительной стойкости, без обводнения и загрязнения, при малосернистом топливе допустимо пониженное значение ЩЧ, в других же тяжелых условиях оно выше. Предельное значение ЩЧ – то, ниже которого резко увеличиваются загрязненность масла, нагарообразование и интенсивность изнашивания ДВС.

Предлагается назначать срок смены масла не только по ЩЧ, но и по комплексу показателей его состояния (ЩЧ, ДСС, обводненность, загрязненность) и состояния ДВС (концентрация в масле металлов, особенно свинца, угар масла, расход картерных газов, напряженность работы ДВС).

Щелочное число – важнейший показатель работоспособности масел, но ее обеспечивает сбалансированный пакет присадок, и при интенсивном расходовании какой-либо одной присадки работоспособность пакета может ухудшиться, несмотря на малое изменение щелочного числа для пакета в целом. По этой причине масла нуждаются в комплексном контроле.

3. **Вязкость масла** (рис. 3.30). Требования к вязкости масла для ЦПГ и КШМ являются антагонистичными, меняются при изменении условий эксплуатации и ужесточаются по мере старения и изнашивания ДВС. Смазывающая способность, или маслянистость, липкость, – это способность обеспечивать смазочное действие в условиях граничного трения адсорбированными масляными пленками 0,1–0,5 мкм, когда оно не определяется только вязкостью масла. Это главное требование к маслам, сопряженное с их вязкостью, однако не обеспеченное методами и средствами контроля в триботехнике, что обуславливает стандартный контроль вязкости масел по ГОСТ 33–2000.

Исследованиями (НАМИ, НАТИ и др.) установлено, что кинематическая вязкость моторного масла при его максимальной температуре в картере современных автотракторных ДВС должна быть не ниже 7–10 сСт, а для гидродинамической масляной пленки в узлах трения – не ниже 3–5 сСт. При этих условиях толщина масляного слоя в коренных и шатунных подшипниках – не ниже 4,5 мкм.

Соответственно, контроля вязкости моторных масел при 100 °С недостаточно, т. к. температура масел на стенках цилиндров ДВС достигает 150–190 °С. По этой причине после 2000 г. ряд производителей масел начали давать значения вязкости при 100 и 150 °С. Однако осуществлять контроль вязкости при 150 °С затруднительно, а в эксплуатационных условиях – невозможно, т. к. термостатов на 150 °С практически нет.



Рис. 3.30. Динамика вязкости масел «Квалитет» (Mongol 2006, CF-4, 15W-40 – нижняя кривая) и масла Dragon (CG-4, класс вязкости 40) за 1200 ч

Из данных рисунка видно, что всесезонное масло через 50 ч теряет вязкость, например, от 14,22 до 12,4 и до 11,06 сСт, а по статистике – на 20–50 %.

По мере работы сезонного масла его вязкость растет из-за окисления базы, загрязнений и шламообразования, а неисправности дизельной топливной аппаратуры (ДТА) разжижают масло. Обводнение масла также влияет на вязкость, т. к. вода разрушает присадки в маслах, провоцируя тем самым сгущение нерастворимых примесей и шламообразование. По мере работы дизеля показания вязкости масла могут варьироваться в обе стороны в зависимости от преобладающего влияния указанных факторов и условий подготовки пробы: работоспособного масла, обводненного масла, масла с расслоением на шлам – бракованной жидкости.

Масло, разжиженное топливом, но чрезмерно загрязненное, может сохранить исходную вязкость, но быть непригодным, а контроль обводненного, расслоенного масла не имеет смысла.

4. **Температура вспышки масла** по ГОСТ 4333 (рис. 3.31) служит для контроля топлива в масле и тем самым состояния топливной аппаратуры дизелей. Этот контроль имеет и самостоятельное значение для определения в маслах легкоиспаряющихся фракций, что усиливает потери масла на угар. Для контроля $T_{всп}$ использовалась электроплитка с закрытой спиралью, тигель для масла в песчаной подушке, термометр для нефтепродуктов ТН-2М. Позже стали использовать полуавтоматический прибор фирмы Petrotest.

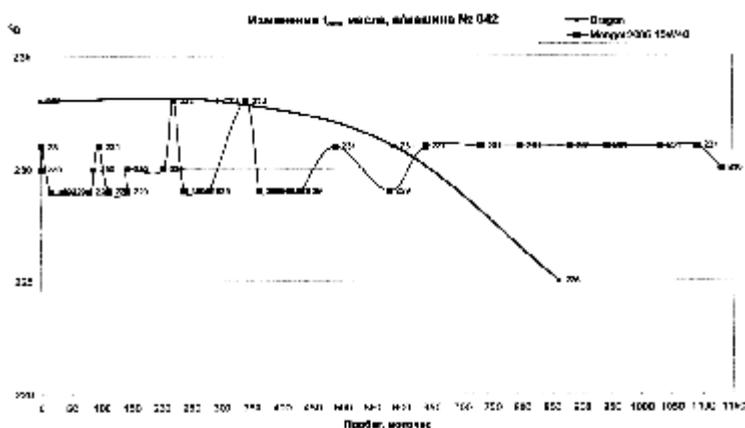


Рис. 3.31. Динамика температуры вспышки масла Mongol 2006 фирмы «Квалитет» и масла Dragon фирмы S-oil при наработке 1100 ч (повышение температуры вспышки масла «Квалитет» обуславливалось доливкой свежего)

Проверка физико-химических показателей масла требует тщательности, т. к. масло ведет себя как живое вещество. Нельзя использовать большое запальное пламя, низкий наклон пламени, поскольку это занижает фактическую температуру вспышки на 25–30 °С. При проверке всех показателей масла требуется строго соблюдать единообразие условий контроля в соответствии с утвержденными методиками. По температуре вспышки браковали только 15–22 % масел М-14В₂.

5. **Содержание в масле воды** – один из самых тревожных показателей состояния дизеля и масла. Вода разрушает присадки в маслах, ухудшает смазочную, моющую и нейтрализующую

способности, повышает коррозионное действие, разрушает вкладыши подшипников коленчатого вала.

Проникшая в масло вода вызывает интенсивную коагуляцию примесей с образованием шламов. Последнее приводит к быстрому загрязнению масляных фильтров, сетки маслоприемников насосов, маслоканалов, маслоотъемных колец, что снижает их работоспособность, повышает расход масла на угар и вызывает повышенное изнашивание ДВС до аварийного. Обводнение масла существенно увеличивает интенсивность изнашивания вкладышей подшипников коленчатого вала и цилиндров ДВС, что наглядно подтверждается данными табл. 3.5, 3.6.

Таблица 3.5

Рост интенсивности изнашивания ЦПГ при обводнении масла (по данным НАМИ) [19, 20]

Параметр	Температура воды/масла в ДВС, °С			
	20/40	30/30	40/40	80/80
Среднее содержание воды, %, в моторном масле при испытаниях длительностью:				
– 0,5–1 ч	3,4	–	0,08	0
– более 2 ч	4,25	–	0,07	0
Относительная интенсивность изнашивания гильз цилиндров	3,7	2,3	1,8	1,0

Таблица 3.6

Ухудшение состояния ДВС при обводнении моторных масел (по данным НАМИ)

Параметр	МС-20	М-20Г	М-12В ₂
Износ:			
– цилиндров, мкм	2,7/3,0*	1,78/3,0	1,02/1,09
– поршневых колец, г	0,38/0,415	0,17/0,53	0,086/0,201
– вкладышей подшипников, г	0,014/0,052	0,014/0,023	0,030/0,171
Загрязненность поршней, баллы	3,5/3,6	1,6/2,3	2,3/2,6
Отложения на ФТО, г	85/235	25/180	65/315
Щелочное число масла после 100 ч испытаний ДВС, мг КОН/г	–	8,1/5,1	2,2/1,0

*Показатели ДВС при маслах с водой/без нее.

Резкая интенсификация изнашивания подшипников коленчатого вала ДВС при обводнении масла подтверждена данными спектрального анализа по резкому увеличению содержания свинца. Имеется некоторое пороговое значение концентрации воды в масле, до которого концентрация свинца не увеличивается. При превышении этого уровня, обусловленного значением водостойкости масла, происходит деструкция присадок и выпадение продуктов их распада. Образуется водомасляная эмульсия, которая нарушает гидродинамический режим работы подшипников ДВС из-за кавитации и местного нарушения масляной пленки. Происходит непосредственный контакт трущихся поверхностей и аварийное изнашивание вкладышей подшипников.

В ГОСНИТИ апробированы все методы контроля воды в маслах в соответствии с ГОСТ 1547, ГОСТ 2477, ГОСТ 7822, ГОСТ 26378.1, которые позволили выявить отдельные недостатки. Для корректного контроля разработаны соответствующие рекомендации [36, 67].

Эпизодически применялся индикатор для контроля воды по резкому увеличению проводимости масел. Водопроводная вода имеет электросопротивление 8–12 кОм/см, болотная, озерная и речная – 4–6, дистиллированная – 200–220 (по ГОСТ 11206 – не менее 200), а моторные масла – 1–2 ГОм/см. Вследствие такой разницы (10^6) электрические индикаторы для качественного контроля наличия воды в маслах весьма просты, но, как показывает практика, срабатывают только при наличии в масле свободной (несвязанной) воды.

Известны и другие методы и средства контроля водосодержания в маслах: диэлькометрический (прибором ВАД-40), ультразвуковой метод Казанского НИИ метрологии и стандартизации, по проводимости масел и др. Но на практике из-за сложности методик и дороговизны они в АПК неприменимы. Перспективны оперативные приборы WS-04 и WS-05 фирмы PALL, но и они имеют высокую стоимость.

По результатам практической работы установлена правильность метода фирмы PALL, оценивающей содержание воды в маслах по их водонасыщению, что особенно актуально для безостановочного режима работы машин. Так, при непрерывной работе дизелей с нормальной температурой воды (85–95 °С) и масла (более 100 °С) вода выпаривается из масла: в отдельных случаях из картера дизеля идет интенсивный, визуально наблюдаемый пар,

абсолютное же содержание воды, по результатам лабораторного контроля (при определении температуры вспышки масла), находится в пределах допуска. Если же машина остановлена, то после охлаждения масла и остановки выкипания воды в масле появляется свободная вода.

Исходя из условий межсменной остановки машин, особенно в холодное время года, когда требуется определение абсолютного содержания воды, а также по требованиям оперативности и достоверности контроля в условиях сельского хозяйства, рекомендуется перед ТО машин при отсутствии каких-либо приборов проверять наличие воды в маслах при контроле температуры вспышки: по потрескиванию масла, его вспениванию, начальной температуре (80–90 °С) и интенсивности потрескивания и вспенивания, числу потрескиваний на 1 мл масла, размеру пузырьков, длительности кипения/бурления, конечной температуре кипения/бурления (170–180 °С). Это позволяет определить допустимость/недопустимость обводнения масла, в то время как контроль обводненности по «капельной пробе» запаздывает.

В результате контроля масел и наблюдений за эксплуатацией дизелей обоснован допустимый уровень обводненности моторных масел: два хорошо слышимых потрескивания на 1 см³ масла, т. е. не более 150 потрескиваний на пробу 75 мл масла в тигле. Следует учитывать показатели «капельной пробы», принимать заметное вспенивание и бурление за брак масла. При недопустимом обводнении масло начинает пениться при температуре 80–85 °С, а далее бурлит вплоть до 180 °С, что затрудняет определение температуры вспышки. Пена обводненного масла не вспыхивает от огня спички и гасит его. При этом показатели «капельной пробы» могут ухудшаться до предела.

6. Загрязненность масла. Общие его виды, приведенные на рис. 3.32, разнообразны. Самое опасное загрязнение – абразивной грязью и пылью, проникающими в масло при работе ДВС постоянно, а при ТО ДВС – эпизодически на его детали. Пренебрежение этими факторами или их недооценка при эксплуатации ДВС (как и при разработке, и производстве) приводит к высокой интенсивности изнашивания ДВС и значительному сокращению его эксплуатационного ресурса.

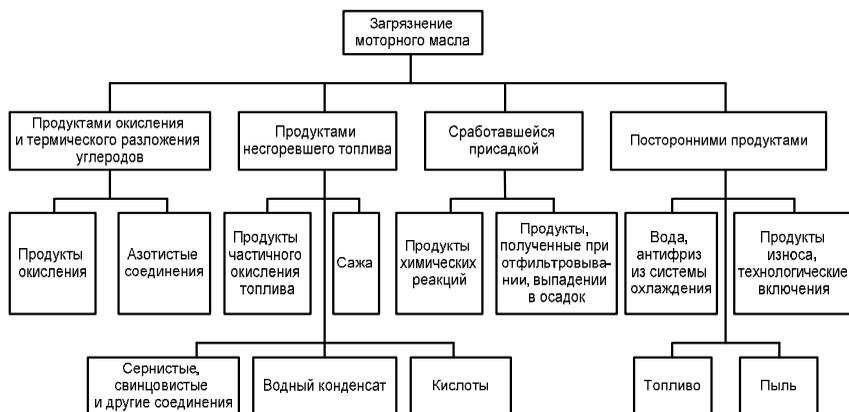


Рис. 3.32. Виды загрязнения моторного масла [2]

Воздушная пыль проникает в ДВС через впускной воздушный тракт, систему вентиляции картера, различные неплотности и картер (уплотнения воздушных фильтров и воздухопроводов, трещины, пробоины и другие неплотности корпусов фильтров и воздухопроводов, маслозаливную горловину, сапуны, отверстие под маслоизмерительный стержень). Грязь попадает в ДВС через сапуны, крайние уплотнения коленвала, неплотности картера или маслобака, сопряжения корпусов маслофильтров при заправке ДВС маслом, при небрежном ТО и ремонте со снятием и разборкой узлов и агрегатов ДВС.

Абразивная способность пыли и загрязнений определяется дисперсностью и твердостью составляющих их минеральных частиц, а их количество в масле зависит от запыленности и загрязненности окружающей среды, загрязненности самого ДВС, от эффективности работы систем его защиты, в т. ч. воздушных, масляных и топливных фильтров, от качества уплотнений мест возможного проникновения пыли и загрязнений в ДВС. Ориентировочное значение износа цилиндров 4-цилиндрового ДВС от грамма пыли: от дорожной пыли – 2,5–5,0 мкм/г; от загрязнений топлива – 1,8–4,5 мкм/г; от воздушной пыли, прошедшей воздухоочиститель, – только 0,7 мкм/г.

Испытания в НАМИ показали, что абразивная составляющая износа цилиндров, вызванная пылью и другими загрязнениями, составляет 80 % их износа. Для других деталей ДВС абразивная составляющая износа меньше. Подтверждением весомости абразивного изнашивания ДВС является тот факт, что в зимний период износ цилиндров в 2–5 раз меньше, чем летом.

Таким образом, контроль загрязненности масел и уменьшение абразивного изнашивания ДВС является серьезным резервом повышения их долговечности и надежности, что подтверждено практикой эксплуатации автотракторных ДВС. Немаловажную роль призван выполнять экспресс-контроль моторного масла.

Загрязненность масел проверяется разными способами: визуально по «капельной пробе»; по потере инфракрасного светопотока с помощью индикатора загрязненности жидкости (ИЗЖ) Жигулевского филиала ВНИИРЭА (рис. 3.33, *а* и *б*), разработанного по заданию ГОСНИТИ, но не в соответствии с ГОСТ 24943; прибором ПКЖ-904А.

В ИЗЖ зонд снабжен инфракрасными светодиодами и светорезистором, в зазор между которыми (1 мм) вводят масло. Его настраивают на нулевое показание на воздухе и калибруют по двум пленкам с известными оптическими плотностями. Прибор быстродействующий, пригоден для работы на любой машине с аккумуляторной батареей, но горячее масло, взятое с работавшего дизеля, нужно охлаждать, тщательно перемешивать датчиком и учитывать важность влияния малых показаний как из-за пузырьков воздуха в оптике, так и из-за наличия в масле свободной воды. Показания ИЗЖ относительны: по дизтопливу – до 0,02 %, в чистом моторном масле – 0,12–0,18 %, в чистом нигроле – до 0,60 %, в грязном масле – до 6 %. По этому параметру браковали масло М-14В₂ при показаниях 2,5–3,0 %, масла для дизелей Cummins – при 1,5–1,8 %, но предельное значение для масел категории CG-4 составило 2 %, а для масел М14В₂ – 3,2 %.

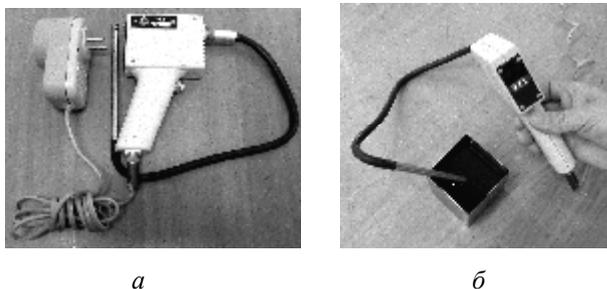


Рис. 3.33. Индикатор загрязненности жидкости:
а – комплектность индикатора; *б* – прибор в работе

Характеристика ИЗЖ: пределы измерения потери инфракрасного светопотока с нормированной погрешностью 0,02–3,5 %, температура масла при контроле – не выше 35 °С. Питание прибора – от аккумуляторной батареи машины или от стандартной электросети.

Стандартные методы контроля следовых значений загрязненности масла фильтрованием с растворителем длительны, требуют прецизионного весового оснащения и для условий эксплуатации неприемлемы. Более точным является определение загрязненности масел центрифугированием по ГОСТ 20684–75, когда можно контролировать массу всех мехпримесей. Но более тщателен контроль абразивной загрязненности масла по спектральному анализу на содержание кремния.

Для инженерных служб АПК в контроле загрязненности масел предлагается сочетать «капельную пробу» и контроль капли масла на истирание между стальными закаленными или стеклянными пластинами: при наличии в масле абразивных частиц они истираются со скрипом и оставляют на пластинах царапины.

7. Коррозионные свойства по отношению к свинцу и меди. Их проверка в соответствии с ГОСТ 19199–73 и 20502–75 не сложна, но на нее требуется не менее часа. Проверка нужна при приемочном контроле масел, а также в диагностировании ДВС для выявления причин повышенного изнашивания подшипников КШМ.

Предлагается следующая методика контроля: 2–3 пластины свинца марки С1 или С2 размером от 3×3 до 5×5 см взвешивают на лабораторных весах с дискретностью 0,01 г и помещают на 1 ч в тигель с испытуемым маслом, нагретым до 150 °С. По истечении времени пластины вынимают, осматривают на наличие пятен коррозии, осторожно промывают в растворителе и по потере массы оценивают степень коррозионности масла. Согласно ГОСТ 8581–78 потеря массы свинцовых пластин в масле классов Г₂ должна составлять не более 20 г/м², а для масел класса Г_{2к} не допускается. Масло фирмы «Квалитет» класса качества CF-4 и вязкости 15W-40 только через 1000 ч работы вызывало аварийные концентрации свинца в масле дизелей Cummins KTA-38 и KTA-50 (до 40 ppm, рис. 3.34). Экспертиза этого масла во ВНИИ НП показала предельную потерю массы пластин 20 г/м², т. е. предельную коррозионность масла.

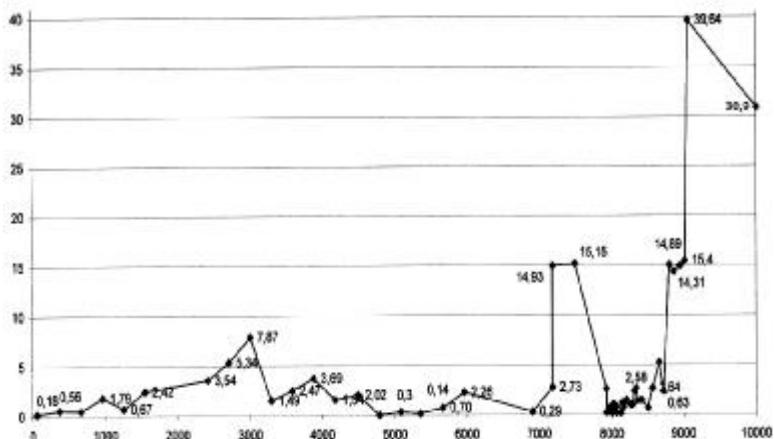


Рис. 3.34. Динамика содержания свинца (г/т) в масле фирмы «Квалитет» при работе в дизеле Cummins KTA-50

Контроль коррозионности масел на меди нагляднее и проще: при аналогичном испытании оценивается изменение цвета пластин из электротехнической меди, не допускается появление на пластинках серых, серо-зеленых пятен. Установлено, что масло «Квалитет» медные пластины не корродирует (рис. 3.35), при этом рост концентрации Pb не связан с повышением концентрации Si, а концентрация Cu минимальна.

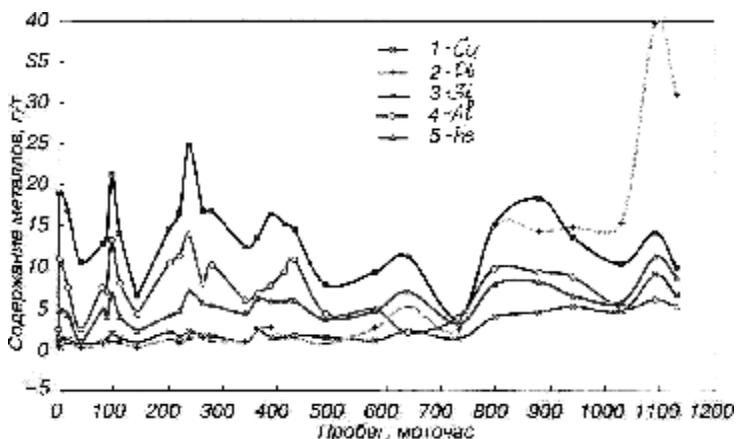


Рис. 3.35. График зависимости концентрации металлов от концентрации кремния в масле «Квалитет» дизелей Cummins KTA-38, KTA-50

8. *Экспресс-метод контроля антиизносных свойств смазочных масел в условиях эксплуатации* используется как для входного контроля свежих, так и для диагностирования работавших масел и определения их остаточного ресурса.

Для условий эксплуатации метод официально пока не утвержден, что является упущением, поскольку, по многолетним данным монитора ВНИИ НП, ВИМ и ВНИИТиН, качество многих отечественных моторных масел снижается. Например, масло М-14ДМ, по данным авторского надзора ВНИИ НП и по результатам испытаний на трибометре TRB-S-DE в Наноцентре ГОСНИТИ, не соответствует техническим условиям разработчика этого масла. Коэффициенты трения трибопары «палец–диск» с маслом М-14ДМ на 0,015–0,020 больше, чем с маслом М-10Г_{2К}.

В первом приближении для экспресс-контроля антиизносных свойств масел предлагается специальное приспособление, включающее чашу для масла, фиксируемый на дне чаши диск, заостренное истираемое кольцо и вращающий кольцо вороток, зажимаемый в патроне сверлильного станка или дрели.

Необходимо сравнить потерю массы (или высоты) кольца, истертого в испытуемом масле за 5 мин с помощью, например, сверлильного станка, с потерей массы (или высоты) этого же кольца в одинаковых нагрузочно-скоростных режимах, но в масле с хорошими антиизносными свойствами. Скорость вращения кольца – до 300 мин⁻¹, нагрузка на рычаг подачи сверлильного станка – 1 кг, оценка износа кольца – по убыли массы (лабораторными весами) или по уменьшению высоты кольца (микрометром).

9. *Экспресс-контроль термической стойкости моторных масел*, используемый потребителями в последние годы. Причина этого – массовые явления быстрого шламопревращения некоторых товарных масел при температуре более 150 °С, прекращение их поступления в подшипники КШМ и аварийность ДВС.

Предлагается совмещать этот контроль с контролем обводненности, разжиженности топливом и температуры вспышки масла. После такой проверки масло необходимо оставить в тигле на сутки-двое, после чего визуально определить изменение консистенции масла. При наличии признаков его изменения дополнительно провести «капельную пробу» и контроль вязкости масла. При подтверждении признаков высокотемпературного шламообразования (преодоленного в послевоенное время) целесообразно назначить использование такого масла в агрегатах только без его перегрева.

На этом методе диагностирование рабочих свойств моторного масла заканчивается. Полученные значения описанных параметров масел должны вноситься в карту диагностирования или другой документ машины для слежения за состоянием ее дизеля.

Кроме полного планового диагностирования масла при ТО или ТР целесообразен регулярный экспресс-контроль обводнения масла и его разжижения при падении давления (контроль температуры вспышки на наличие топлива).

Практика показала, что взятие пробы масла и подготовку его к анализу следует проводить внимательно и аккуратно (без малейшего загрязнения, обводнения, с оценкой загрязненности ДВС и характера его работы, который зависит от состояния масла и влияет на его состояние), т. к. качество контроля масла наполовину зависит от аккуратности взятия пробы, в противном случае в анализах могут происходить грубые ошибки.

С начала проведения химмотологического и спектрального анализа в ГОСНИТИ и других научно-исследовательских организациях и вузах была проведена работа по выявлению и устранению причин быстрого загрязнения масел. С этой целью на машины были установлены дополнительные устройства, осуществлены мероприятия по защите системы смазки дизелей от загрязнения, обводнения и разжижения топливом и др. Регулярный (через каждые 200–250 ч) контроль масел и разработанные по его результатам рекомендации ужесточили требования к обслуживанию и ремонту дизелей: выявление и устранение дефектов воздухоподачи, системы смазки; промывка маслобаков и картеров и их защита от загрязнений; улучшение мойки машин; дополнительная защита воздушных фильтрэлементов от воды при мойке двигателей и от окружающей среды.

По результатам контроля топливо-смазочных материалов и соответствующих ТО и ТР машин были полностью устранены аварии дизелей автосамосвалов, повышен межремонтный срок службы дизелей 8ДМ-21А с 17 до 23–27 тыс. ч (т. е. полный срок службы – с 3–4 до 5–6 лет), а дизелей КТА-38 и КТА-50 – до 60–70 тыс. ч. Средний срок службы масел М-14В₂ повышен с 250 до 650 ч, а масел СГ-4 – до 850 при максимальном сроке 850 и 1250 ч и при потенциальном ресурсе для масел СГ-4 до 2500 ч. Состояние дизелей технологического транспорта было намного лучше, чем ДВС личного легкового и пассажирского транспорта СП «Эрдэнэт».

Налаженный учет расхода топлива и масла дизелей позволил определять относительный расход масла на угар. Вместе со спектральным и химмотологическим контролем вели наблюдение за состоянием ЦПГ и КШМ, но с угаром масла свыше 3,5 % рекомендовали ставить дизели для проведения текущего ремонта.

Регламентный срок службы моторного масла класса качества CD по рекомендациям фирмы Cummins составлял 250 ч, а по ее расчетным материалам в зависимости от расхода топлива и угара масла – не менее 820 ч. В то же время в соответствии с данными фирмы «Лубризол» ресурс масел класса качества CG-4 даже в жестких условиях работы грузовых автомобилей должен составлять 2000–2800 ч. Исползованные сроки службы масел были малы, что подтверждается и фиксированными значениями параметров сливавшихся масел (табл. 3.7, 3.8).

Повышение срока службы масел является важным, но в триаде «двигатель, [условия эксплуатации + ТО], масло» все подчинено двигателю, и его неисправность или ухудшение условий работы нередко вынуждают сменить масло прежде, чем оно исчерпает свою конституционную работоспособность. При исправном двигателе масло должно работать почти до исчерпания своего ресурса (табл. 3.9), но не более.

Таблица 3.7

Показатели сливавшихся моторных масел класса CG-4

Показатель масла	Значения		
	Диапазон	Средние	Браковочные
Щелочное число, мг КОН/г	6,2–8,2	7,44	4–4,5
Кинематическая вязкость, сСт	10,4–13,2	11,4	10,5
Содержание кремния, ppm	2–41,5	15,0	до 25
Загрязненность по показателям ИЗЖ, %	0,38–1,48	0,87	1,5–1,6

Таблица 3.8

Показатели сливавшихся моторных масел M-14B₂

Показатели масла	Значения		
	Диапазон	Средние	Браковочные
Щелочное число, мг КОН/г	3,0–5,15*	4,5	3,0–3,5

Показатели масла	Значения		
	Диапазон	Средние	Браковочные
Кинематическая вязкость, сСт	10,0–17,0	13,5	10,5
Содержание кремния, ppm	5–35	28,0	до 25
Загрязненность по показателям ИЗЖ, %	0,55–4,6	2,7	2,5–3,5

*Щелочное число свежего масла М14В₂ составляло 4,8–5,15 мг КОН/г.

Таблица 3.9

Показатели выбраковки моторных масел М-14В₂

Причины	Наличие воды	ДСС ниже нормы	$T_{\text{всп}}$ ниже 170 °С	Кремний более 25 ppm	Металлы больше нормы	Снижение вязкости	Снижение ЩЧ
Выбраковка, %	до 17	25–27	15–22	19–26	12–17	5–8	2–5

Примечание. В 19–26 % случаев масло выбраковывалось независимо от состояния дизеля.

В целях экономии менять работавшие моторные масла целесообразно только при браковочных значениях параметров: при щелочном числе менее 3,5–4 мг КОН/г, при наличии воды более 0,3 %, при температуре вспышки ниже 170–180 °С, а вязкости масла – меньше нижнего паспортного значения. После очистки от нерастворимых примесей и воды масло с запасом ЩЧ можно использовать повторно, но в узлах и агрегатах, менее требовательных к качеству масел.

Обычно рекомендуемые моторостроителями сроки смены масла, явно заниженные, рассчитаны на худшие условия эксплуатации и двигатели с плохим техническим состоянием, а для нормальных условий эксплуатации нерациональны. Надежную информацию о сроках необходимой смены масла можно получить только на основании мониторинга состояния масла и двигателя. Без такого контроля в новых и малоизношенных ДВС при регламенте масло

сливают, как правило, работоспособным (рис. 3.36). Такое неэкономное и неэффективное расходование моторных масел при росте их цен и неизбежном истощении нефтепромыслов является неразумным и заставляет вводить контроль масел для совместного диагностирования с ДВС, что и дает ожидаемые результаты по маслу и ДВС. Так, при хорошем ТО по результатам диагностирования фирма «Лубризол» гарантирует пробег на ее маслах легковых автомобилей до 170 тыс. миль, а для тяжелых грузовиков – до 42 тыс. миль. ПО «КамАЗ» указало в ТО для некоторых автомобилей пробег без смены масла «Квалитет» 33 тыс. км. Известны пробеги машин без смены масел 1 млн км и более.

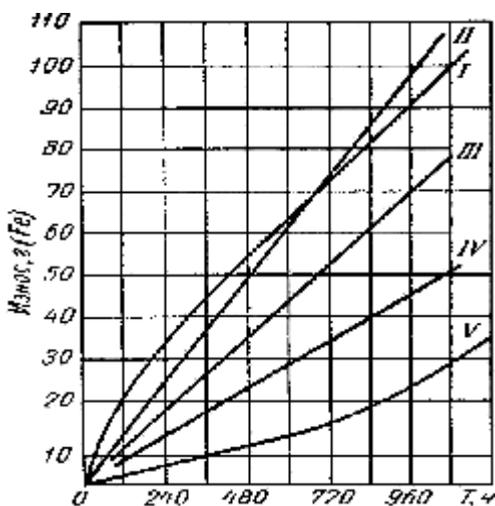


Рис. 3.36. График зависимости износа деталей ЦПГ дизеля при сроках смены масла Дп-14: I – 120 ч; II – 180 ч; III – 240 ч; IV – 300 ч; V – 360 ч [19, 20]

Вместе с тем необходим строгий регламентный контроль, чтобы не допускать работу с бракованным маслом. Так, специалисты SAE считают, что 50 % износа ДВС приходится на последние 20 % срока службы масла. Таким образом, основная задача контроля – определить, когда масло отработало 80 % моторного ресурса, слить его и заменить фильтры.

Предложено ввести в перечень работ ТО тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин по ГОСТ 20793–2009 работы по экспресс-контролю масел с помощью «капельной пробы».

До сих пор корректно не обосновано предельное значение относительной величины угара моторных масел. Исторически сложившееся отношение расхода масла на угар к расходу топлива не совсем верно. Повышение угара масла – следствие износа ЦПГ, что проявляется и в снижении мощности ДВС, производительности машины, повышении расхода топлива. Восстановление мощностных и топливно-экономических параметров требует текущего или капитального ремонта ДВС. По этой причине потребность в ремонте ЦПГ ДВС правильнее определять из соотношения стоимости ремонта с потерями от пониженной производительности машины, от перерасхода топлива и масла в межремонтный период. Чем ощутимее эти потери, тем при меньшем, определяемом в конкретных условиях, значении угара масла целесообразно отдавать двигатель в ремонт.

При небольшом значении щелочного числа весомую трибологическую роль выполняют постепенно накапливающиеся продукты окисления масла (смолы), повышающие адгезию компонентов смазки на поверхностях трения. При этом происходит постепенная «приработка» масла и существенное повышение его антиизносных свойств.

С другой стороны, повышенная щелочность современных высококачественных моторных масел, что доказано в НАМИ и ГОСНИТИ при испытании парка тракторов «Беларус-80», повышает износ ЦПГ, поэтому сокращение срока службы масел нерационально. В целом срок службы масел следует определять по комплексу фактических, химмотологических (рабочих, моторных) показателей масла и по состоянию ДВС. Однако при браковочном значении любого показателя масла или ДВС масло подлежит смене.

Всесезонные масла специфичны, дороже, и их применение, по имеющемуся более чем десятилетнему опыту, для рядовой практики МТП АПК не всегда оправдано. Так, тракторы, комбайны работают в основном летом, запуск мотора проводится при температуре масла выше +5 °С, а срок службы работающего масла – от 250 до 500 ч (до 60 дней или один сезон). Возникает вопрос, нужны ли всесезонные масла, которые дороже и «капризнее» сезонных, имеют заметно (на 20–50 %) снижающуюся вязкость.

На основании результатов ежедневного, проводимого в течение месяца контроля масла фирмы «Квалитет» класса качества CG-4 и класса вязкости 15W-40 установлено, что за 300 ч работы в дизелях оно теряет вязкость на 29 % (табл. 3.10). Практически свежее масло было заменено из-за пониженной вязкости.

Таблица 3.10

Результаты контроля вязкости ν , температуры вспышки $T_{\text{всп}}$ и загрязненности (по ИЗЖ) моторного масла «Квалитет» в дизеле Cummins KTA-38

День	Показатели масла			Примечание
	ν , сСт	$T_{\text{всп}}$, °С	ИЗЖ, %	
1-й	13,98	219	0,19	Наработка дизеля – 12 672 ч
9-й	13,34	220	0,40	12773,1 ч
10-й	≈12,80	217	0,51	12 844,7 ч
11-й	11,14	214	0,83	12 870,0 ч
14-й	12,41	219	0,64	После доливки 30 л масла
17-й	12,76	225	0,61	13 000,4 ч
21-й	12,12	223	0,72– 0,74	13 101,5 ч
25-й	11,59	225	0,81	13 193,7 ч ($\Sigma = 521,7$ ч)

Медленное загрязнение масла в допускаемых пределах и практическое постоянство $T_{\text{всп}}$ доказывают, что снижение вязкости происходило только из-за деструкции вязкостной присадки. За 198 ч произошло снижение вязкости на 2,84 сСт (на 20,4 %), или по 0,1 % в час. Такое снижение вязкости обуславливает использование ресурса масел только на 50–60 %, поэтому перед переходом на них следует провести эксплуатационные испытания. К тому же стареющие двигатели нуждаются в масле с повышающейся по мере их износа вязкостью, которую, например, фирма Cummins предписывает повышать с 14,5 до 15,3–15,8 сСт. Имеется большой положительный опыт применения сезонных масел на большинстве автотракторных ДВС.

В соответствии с результатами исследований представитель фирмы Wagner принял решение о необязательности применения всесезонных масел. Для маслозавода при СП «Эрдэнэт» заданы отдельные технические требования для зимних масел с предельной температурой прокачиваемости –30 °С и для летних – с минимумом загущающих присадок, но с более стабильной вязкостью.

Таким образом, смазочные масла, выполняющие комплекс функций, обуславливающих ресурс и надежность агрегатов и узлов самоходной сельскохозяйственной техники, подлежат регламентному контролю. Для этого разработан минимальный набор методов химмотологического контроля масел в условиях проведения ТО техники.

Усовершенствованный экспресс-контроль моторного и трансмиссионного масел по «капельной пробе» предлагается в качестве одного из элементов диагностирования агрегатов МТП, т. к. позволяет повсеместно, нетрудоемко и достоверно выявить уровень рабочих свойств, фактический, а не календарный срок службы масла и главные причины ускоренного изнашивания ДВС и назначить меры по их устранению.

Отсутствие в техническом сервисе МТП АПК контроля масел является принципиальным упущением и может быть устранено введением его в ГОСТ 20793–2009 «Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание». Предлагается экспресс-контроль масел при всех видах ТО тракторов и комбайнов, а также входной контроль антиизносных свойств свежих и работавших масел, например, истиранием торца стального кольца.

Рекомендации и нормативы химмотологического анализа целесообразны для внедрения в крупных сельскохозяйственных организациях, райагросервисах на дилерских технических центрах и на ремонтных предприятиях.

3.5. Этапы разработки методов и средств технической диагностики

Основополагающий вклад в разработку методов и создание средств диагностирования МТП АПК внесла большая группа выдающихся ученых, среди которых доктора технических наук, профессора: Н. С. Ждановский, А. В. Николаенко, В. М. Михлин, В. А. Аллилуев, Г. С. Игнатьев, Б. В. Павлов, В. А. Змановский, И. П. Терских, В. М. Лившиц, И. П. Добролюбов, Б. А. Улитовский, А. В. Дунаев и др.

В ГОСНИТИ комплекс переносных, передвижных и стационарных средств диагностирования на государственном уровне создал заведующий лабораторией диагностики профессор В. М. Михлин, а развитием их руководил его последователь – доктор технических наук К. Ю. Скибневский.

В. М. Михлиным разработано основополагающее учение об управлении надежностью машин, включающее прогнозирование технического состояния и оптимизацию значений диагностических параметров.

Экспериментальная проверка положений и нормативов системы управления техническим состоянием машин на примере тракторов

МТЗ-80/82 была осуществлена сотрудниками отраслевой научно-исследовательской лаборатории Госкомсельхозтехники БССР при кафедре ремонта машин БИМСХ (БГАТУ) кандидатами технических наук А. П. Буховцом, В. П. Миклушем и другими под руководством доктора технических наук, профессора В. П. Суслова.

Под руководством профессора В. М. Михлина и кандидата технических наук В. И. Бельских методы и средства диагностирования в ГОСНИТИ разрабатывали кандидаты наук В. В. Подкопаев, И. Г. Дынга, В. Н. Власенко, П. Ш. Петросян, В. И. Соловьев, А. В. Дунаев, В. А. Чечет, П. М. Черейский, В. А. Мачнев, И. Ф. Белый, В. И. Беляев, А. А. Першин и др.

Активно велась разработка средств технической диагностики и в некоторых филиалах ГОСНИТИ: в Украинском (диагностические автоматизированные комплексы «Урожай-1А» и «Урожай-1Т»), Малоярославецком, Сибирском, Целинном, Береговском, Тартуском, Ивано-Франковском.

Технологию диагностирования тракторных и комбайновых дизелей и нормативы их параметров вместе с лабораторией № 24 ГОСНИТИ обосновывали специалисты Харьковского ГСКБД, Минского тракторного завода, Ярославского моторного завода, Алтайского, Волгоградского, Владимирского, Кишиневского, Челябинского, Чебоксарского тракторных заводов, а также ПО «ЮМЗ», ПО «КамАЗ», НИКТИД, НАТИ и ВИМ.

В создании и реализации средств технической диагностики (СТД) принимали активное участие конструкторы СКБ Минавтотранса РСФСР, СКБ завода «ГАРО», Рижского СКБ «Диагностика», СКБ «Камертон» (Минск).

Ряд простых для комбайнов и автотракторных дизелей СТД разработан в Целинном, Казахстанском, Сибирском, Ивано-Франковском, Малоярославецком филиалах ЦОКТЬБ ГОСНИТИ, а для хлопкоуборочных машин – в Среднеазиатском филиале ГОСНИТИ.

Во многих отраслях (авиация, автомобильный и железнодорожный транспорт, АПК) развивалось виброакустическое диагностирование по амплитудно-частотным характеристикам на оборудовании датской фирмы «Брюль и Кьер» и на приборах шведской корпорации SKF. В СибВИМе школа профессора Б. В. Павлова развила корреляционный анализ вибрации. Но к 90-м гг. это направление сузилось до портативных цифровых виброметров с перестраиваемыми полосовыми фильтрами.

Тепловые методы диагностирования начали развиваться с появлением в конце 70-х гг. уникальных тепловизоров США и шведской фирмы AGA. Но из-за уникальности и дороговизны их применение было крайне ограниченным. В настоящее время имеется несколько импортных портативных аналогов и серия простых дистанционных инфракрасных термометров. Это направление реализуемо для топливной аппаратуры дизелей, газораспределительных механизмов (ГРМ), системы охлаждения, электрооборудования, гидродвигов, подшипниковых опор и узлов трения агрегатов шасси.

Следует отметить значительный вклад сотрудников ГОСНИТИ в разработку и поставку на производство серии барабанных стенов для диагностирования автомобилей и колесных тракторов, расходомеров топлива автотракторных ДВС и других средств.

В ГОСНИТИ и ЛСХИ разработано несколько методов оценки зазоров в подшипниках кривошипно-шатунного механизма, хотя к широкому применению они затруднительны. Альтернатива – виброметры, стетоскопы и органолептика.

Контроль мощностных и топливных показателей тракторных и комбайновых дизелей был прерогативой НАТИ (ГОСТ 18509), но для диагностики бестормозным методом стали решающими портативные индикаторы ИМД-2, ИМД-Ц, ИМД-ЦМ от СибИМЭ, а также метод контроля мощности и топливной экономичности автотракторных дизелей по значениям расхода топлива на холостом ходу, предложенный кандидатом технических наук В. И. Бельских, обоснованный и развитый профессором В. А. Четом.

Схемотехнические решения для средств автоматизированного диагностирования выполнила большая группа специалистов по схемотехнике, цифровым измерениям и алгоритмики: в Киевском СКБ им. Ястребова Минавиапрома Украины и УФ ГОСНИТИ (комплексы «Урожай-1А» и «Урожай-1Т»); в Ленинградском ВНИИЭП (комплексы К736, К738, К748); в Киевском ПО «Точэлектроприбор». Мотор-тестеры разрабатывало СКБ Новгородского завода «ГАРО», СКБ Брянского БЗТО, Минское СКБ «Камертон».

Серию исследовательских и диагностических комплексов разработала и продолжает совершенствовать австрийская фирма AVL. В настоящее время автоматизированное диагностирование осуществляется с помощью встроенных блоков управления машинами,

особенно по легковому автотранспорту и автосамосвалам Caterpillar, Unit Rig, Comatsu, ДСМ и тракторов США, других европейских фирм. В России и других странах СНГ это направление для сельскохозяйственной техники до настоящего времени не получило должного развития.

В военно-промышленном комплексе имеются высокотехнологичные разработки с компьютерными программами измерений инфракрасными, голографическими, термодинамическими, виброакустическими, магнитными, ультразвуковыми и комбинированными методами с пространственным и объемным отображением зоны контроля. Эти достижения перспективны и для гражданской техники.

Значительный вклад в развитие методов диагностирования ДВС по спектральным параметрам масел внесли работы В. В. Чанкина, Э. А. Пахомова, С. К. Кюрегяна, специалистов ПО «ЛОМО», ЦНИИ МПС и ЦНИДИ, сотрудников НАМИ (М. А. Григорьев, Б. М. Бунаков, А. Н. Первушин и др.), ученых ГОСНИТИ (П. Ш. Петросян, К. Ю. Скибневский), ЛСХИ (Н. С. Ждановский, А. В. Николаенко и др.), специалистов ГосНИИ ГА, МАДИ (А. П. Болдин и др.).

В химмотологическом контроле пионерами являются ученые ГосНИИ-25 (К. К. Папок, Е. В. Зусева и др.), ВНИИ НП (В. Д. Резников, Э. Н. Шипулина, О. Н. Цветков), РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина (Г. И. Фукс, И. Г. Фукс, А. А. Гуреев, В. Л. Лашхи), автотранспорта (С. В. Венцель, В. А. Зорин), ЦНИИ МФ (Г. Ш. Розенберг и др.), АПК (Н. И. Итинская, А. В. Кузнецов, М. А. Кульчев, Н. С. Пасечников, Н. М. Хмелевой, В. В. Остриков, А. В. Непогодьева, А. П. Быстрицкая и др.).

В создание нетрадиционной триботехники значительный вклад внесли ученые и специалисты: доктор технических наук Д. Н. Гаркунов, член-корреспондент, доктор технических наук В. И. Ревнивцев, кандидат технических наук Т. Л. Маринич и др.

В разработку нового направления «безразборный ремонт» и его реализации применительно к МТП в сельском хозяйстве и автомобильном транспорте, в создание трибосоставов значительный вклад внесли работы В. И. Балабанова, И. Ф. Белого, А. В. Ващенко, А. А. Гвоздева, А. В. Дунаева, В. Н. Дураджи, Э. Л. Мельникова, А. К. Ольховацкого, В. В. Острикова, О. Г. Павлова, В. В. Полякова, В. В. Сафонова, В. В. Стрельцова, А. Ю. Шабанова, В. А. Чечета и др.

В исследования проблемы «ресурсосбережение при технической эксплуатации МТП» большой вклад внесли работы доктора технических наук, профессора Е. А. Пучина.

Исследования и разработки, выполненные на постсоветском пространстве и за рубежом до 1970 г., послужили фундаментом для создания барабанных стендов, предназначенных для диагностирования энергонасыщенных колесных тракторов, расходомеров топлива, развития средств диагностирования цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) ДВС, а с 80-х гг. – для разработки автоматизированного машинотестера, химмотологического, спектрального и экспресс-контроля масел, нетрадиционной триботехники безразборного ремонта агрегатов МТП АПК.

3.6. Требования к разработке средств диагностирования

В создании перспективных средств диагностирования можно выделить три основных направления:

1) разработка комплектов простых и надежных приборов и устройств, основанных на механических, пневмогидравлических, электрических средствах измерения, применяемых при несложных видах ТО;

2) разработка простых и универсальных электронных приборов, преимущественно в целях общего диагностирования, которые используются для оперативного контроля машин при техническом осмотре, в напряженные периоды работ, при ТО-2, ТО-3;

3) разработка многофункциональных диагностических установок, применяемых при сложном ТО (ТО-3), а также для оценки качества изготовления и ремонта машин.

Также важная задача – повышение контролепригодности техники, решаемая в основном за счет уменьшения вспомогательной трудоемкости на присоединение и отсоединение диагностических средств. На это затрачивается до 80 % оперативного времени при диагностировании. В этом направлении проводятся исследования по спектральному анализу масел, что позволяет по их пробе оценивать динамику нескольких структурных параметров ДВС, КП, ведущих мостов. Широкое применение находит виброакустический контроль.

При разработке средств технической диагностики необходимо придерживаться общих требований к контролепригодности машин:

– при выполнении работ по ТО-1 и ТО-2 тракторов необходимо использовать простые типовые элементы контроля по принципу «исправен–неисправен». При ТО-3 необходимо более высокая точность, особенно при определении ресурсных параметров. В первом случае нужно применять встроенные сигнализаторы и указатели, а также элементы, обеспечивающие удобства контроля;

– чем энергонасыщеннее трактор, тем лучше он должен быть приспособлен к диагностированию, что обуславливается высокой стоимостью простоев и требует применения бортовой системы диагностирования;

– для проверки уровня масла, воды, охлаждающей жидкости следует применять встроенные приборы допускового контроля и указателя уровня, так называемые глазки;

– для различного рода педалей, рычагов и других перемещающихся деталей необходимо применять нанесенные краской метки предельных значений.

Диагностические средства классифицируются в соответствии с шестью признаками:

– по монтажному отношению к объектам диагностирования: встроенные, автономные, смешанные;

– по мобильности: стационарные, передвижные;

– по способу выходной сигнализации: фиксируют одно или два предельных значения параметра, весь диапазон возможных значений, а также записывают наблюдаемые значения параметра;

– в зависимости от физического метода измерения диагностического параметра: механические, электрические, температурные, акустические, тензометрические, оптические, магнитные;

– по периодичности наблюдения: средства непрерывного действия (приборы самой машины), периодического (стетоскопы, диагностические стенды и т. д.), а также наблюдения при отказах (средства поиска неисправностей);

– по отношению к объекту диагностирования: могут носить названия систем, для оценки технического состояния которых служат (стенды диагностирования рулевого управления, тормозных систем и т. д.).

Кроме того, выделяют:

– заводское технологическое диагностирование – при определении технического состояния деталей, сборочных единиц и механизмов машины во время ее изготовления, сборки и заводских испытаний;

– ремонтное диагностирование: предремонтное проводится для определения объема ремонтных работ; ремонтно-технологическое предусматривает контроль отдельных деталей, сборочных единиц во время их ремонта, сборки, обкатки; послеремонтное направлено на определение качества ремонта;

– эксплуатационное диагностирование – при полевых работах (перед, во время и после окончания работ), а также при появлении неисправностей и при плановом ТО;

– специальное диагностирование – в случаях, когда требуется определить техническое состояние машины, на которой проводят исследования или нормирование.

Диагностирование сборочных единиц машины делят на три этапа:

– подготовительный – очистка и мойка машины, внешний осмотр и занесение его результатов в контрольно-диагностическую карту, монтаж датчиков и измерительных приборов;

– основной – установка необходимых режимов работы машины, измерение параметров технического состояния сборочных единиц и агрегатов. Результаты контроля заносятся в контрольно-диагностическую карту;

– заключительный – постановка диагноза, в результате которого определяют характер и объем необходимых работ по поддержанию машины в работоспособном состоянии, прогноз остаточного ресурса сборочных единиц, снятие приборов и датчиков с машины.

Диагностирование и обслуживание самоходных сельскохозяйственных машин имеет много общего с проверкой технического состояния тракторов.

Существующая технология диагностирования технологических агрегатов уборочной техники на основе статических методов и механических устройств имеет большую трудоемкость (7,8 чел.-ч) с частичной разборкой механизмов (до 70 %). Поэтому система мер обеспечения их долговечности в условиях эксплуатации должна основываться на методах и средствах диагностирования, позволяющих автоматизировать процесс получения информации о техническом состоянии, программируемый анализ результатов диагностирования путем сравнения с предыдущими измерениями, формирование командной информации обслуживающему персоналу с перечнем конкретных ремонтно-обслуживающих воздействий.

Для диагностирования технологических агрегатов уборочной техники теоретически обоснованы два метода – кинематический и динамический. В ряде работ исследована и обоснована возможность использования виброакустического метода для диагностирования технического состояния рабочих органов уборочных машин.

Методы диагностирования необходимо разрабатывать для конструктивных подсистем. В подсистеме рабочие органы предназначены для групп технологических агрегатов, объединенных одинаковой кинематикой движения (роторные, возвратно-поступательного действия, плоско-параллельного движения).

Создание электронных диагностических средств целесообразно проводить на основе кинематических и динамических методов.

При исследованиях в БГАТУ установлена функциональная связь диагностических и структурных параметров, определены рациональные зоны установки измерительных преобразователей; области наиболее информативных частот сигналов виброускорения корпусов опорных элементов и несущих конструкций рабочих органов; рациональные кинематические режимы диагностирования; разработаны рекомендации по диагностированию виброакустическим способом с помощью электронных средств в динамическом режиме.

Следует отметить особенности проверки параметров состояния специальных механизмов уборочной техники: режущих, измельчающих, молотильных, транспортирующих и др. При ЕТО комбайнов и других самоходных сельскохозяйственных машин оценивают общее состояние гидросистемы и электрооборудования, проверяют состояние тормозов, натяжение ремней и цепей. При проведении ТО-1 проверяют механизм уравнивания жатки, плотность и уровень электролита в аккумуляторной батарее и давление воздуха в шинах. При ТО-2 проверяют свободный ход и усилие на ободе рулевого колеса, сходимость колес и свободный ход муфты включения и выключения сцепления. Ниже приведено описание некоторых из этих работ.

После эксплуатационной обкатки и при заявочном диагностировании проверяют предохранительные муфты, ход ножа жатки, погнутость валов и биение шкивов (звездочек), состояние подшипниковых узлов, зазоры в сборочных единицах, оценивают состояние узлов гидростатической трансмиссии и гидросистемы рулевого управления.

Проверка погнутости валов и биение шкивов (звездочек). Для проверки биения закрепляют струбцину штатива с индикатором на угольнике или другой детали комбайна. Измерительный стержень индикатора подводят к поверхности вала на расстояние 5–10 мм от конца, проворачивают вал и определяют биение по индикатору. Допустимые величины биения валов: валы молотильного барабана, главного контрпривода, приемного битера, промежуточного и отбойного битеров – 0,3 мм; коленчатые валы соломотрясов, соломонабивателя, половонабивателя, колебательный вал – 0,2; вал вентилятора – 0,4; заднего контрпривода – 1,0 мм. Если биение конца вала невозможно измерить без снятия шкива (звездочки), измеряют биение плоскости шкива (звездочки). Для этого ножку индикатора подводят к поверхности шкива (звездочки) на расстоянии 5–6 мм от края шкива или 3–5 мм от окружности впадин звездочки, проворачивают шкив (звездочку) и определяют биение по индикатору. Для звездочек диаметром до 100, 100–200, 200–300, 300–400 мм допускаются значения осевого биения 0,35; 0,60; 0,75; 1,0 мм соответственно. Для шкивов допускаются значения биения в два раза больше, чем для звездочек.

Проверка узлов подшипников качения. При осмотре подшипникового узла необходимо убедиться в отсутствии трещин в корпусе, течи смазки через уплотнения подшипников. Проверяют затяжку конусной втулки подшипника и ее шплинтовку. Перед определением радиального зазора в подшипнике ослабляют натяжение цепи (ремня), затем резко двумя руками нажимают на звездочку (шкив) вверх и вниз. Если ощущается радиальный зазор в сопряжении, его величину измеряют с помощью индикаторного приспособления и сравнивают с допусковым значением для данного вала. Прилагаемое усилие должно составлять не менее 200–300 Н.

Проверка натяжения и износа цепей. Внешним осмотром оценивают состояние цепных передач. Звенья цепи, имеющие распрессовку валиков, разрывы и деформацию пластин, разрушения роликов, подлежат замене. Излом и выкрашивание зубьев звездочек не допускается. Звездочка натяжного устройства должна находиться в одной плоскости с контуром цепной передачи. Допускается не более 0,2 мм отклонения от плоскости на каждые 100 мм межцентрового расстояния. Натяжение цепи проверяют устройством КИ-11403.01. Наконечник

устройства вставляют между роликами звена в середине ведущей ветви цепи так, чтобы пятка подвижного штока опиралась на ролик (втулку). Затем наклоняют устройством звено вдоль цепи так, чтобы хвостовик штока совпал с меткой на корпусе устройства. По шкале устройства определяют угол наклона цепи, соответствующий степени ее натяжения. У передач с четырьмя звездочками натяжение проверяют по двум ведущим ветвям контура. При отсутствии устройства КИ-11403.01 натяжение цепи проверяют с помощью динамометра ДПУ-0,1, рейки и линейки с пределом измерения 300 мм, измеряя величину прогиба цепи в соответствии с требованиями завода-изготовителя комбайна.

Износ цепи проверяют устройством КИ-11403.03, а при его отсутствии – штангенциркулем по ее удлинению. Для проверки цепь снимают с контура, натягивают с помощью груза массой 30–40 кг и измеряют длину десяти звеньев на трех различных участках. Для цепного контура с числом зубьев большей звездочки менее 30 длина не должна превышать: цепь с шагом 19,05 мм – 196 мм; с шагом 25,4 мм – 262 мм; с шагом 38,1 мм – 392 мм. Для цепного контура с числом зубьев большей звездочки 30 и более длина десяти звеньев не должна превышать 200, 267 и 400 мм соответственно.

Проверка натяжения ремней клиноременных передач. Внешним осмотром оценивается состояние ремней и шкивов. Замасливание, расслоение, глубокие трещины, перекос и перекручивание ремней не допускаются. Шкивы должны располагаться в одной плоскости.

Для проверки натяжения ремня применяют устройство КИ-13918, деревянную рейку, линейку с пределом измерения 300 мм и динамометр ДПУ-0,1. Рейку накладывают на проверяемую ветвь ремня, конец штока устройства КИ-13918 устанавливают перпендикулярно ремню посередине ветви. Усилие, прилагаемое при проверке прогиба ремня, должно составлять 40 Н. При проверке натяжения ремней передач «вал контрпривода вентилятора–колебательный вал очистки» и «вал битера–вал контрпривода вентилятора» усилие должно составлять 100 Н. Величина усилия определяется динамометром ДПУ-0,1. У передач, имеющих автоматическую регулировку натяжения ремней, прогиб не проверяют. Если при контроле и регулировке не удастся обеспечить стрелу прогиба, ремень необходимо заменить. При регулировке натяжения

нового ремня следует прокрутить передачу не менее чем на пять пробогов ремня, после чего определить величину его прогиба.

Проверка предохранительных муфт. Проводится их осмотр. Трещины и обломы фрикционных накладок, повреждение стяжных болтов и пружин не допускаются. После осмотра муфты снимают ремень или цепь привода и определяют момент пробуксовки. Для этого на шкиве или звездочке закрепляют динамометр ДПУ-0,2-2 с помощью зацепа 11382.04.500 и струбцины 11382.04.400, которые входят в комплект КИ-11382. Застопорив вал, через динамометр прикладывают усилие и определяют момент срабатывания муфты.

Проверка режущего аппарата жатки. Состояние лезвий сегментов, ножей, противорежущих пластин (брусьев), пальцев и прижимов спинки ножа проверяют осмотром. Ослабление креплений, деформация деталей не допускаются. Величину прогиба пальцевого бруса, положение рабочих поверхностей вкладышей и носков пальцев устанавливают, натянув тросик (шнур) вдоль пальцевого бруса. Допускается прогиб бруса в вертикальной плоскости 0,5 %, в горизонтальной – 0,1 % его длины. Положение сегментов ножа относительно пальцев и зазоры между сегментами и концами прижимов ножа, передней и задней частями сегмента и вкладышем контролируют с помощью щупов. Зазор между сегментом и вкладышем в передней и задней частях допускается не более 0,5 и 1,5 мм соответственно. В крайних положениях ножа оси сегментов и пальцев должны совпадать, отклонение не должно превышать 5 мм. Величину зазора в подшипниках привода ножа проверяют с помощью индикаторного приспособления, закрепив его на неподвижной части жатки.

Молотильный аппарат. Состояние молотильного барабана, подбарабанья, решет, подвески грохота, клавиш соломотряса комбайнов проверяют внешним осмотром. Трещины на деталях не допускаются. Вмятины на остове барабана и бичах не должны превышать 5 мм по длине и 2 мм по глубине. Для проверки состояния молотильного аппарата снимают ремень со шкива барабана, мелом наносят метку на один из бичей и несколько раз проворачивают барабан. В сбалансированном барабане бич с меткой после каждой остановки барабана должен занимать различные положения. Зазоры между торцами бичей и барабана и панелью комбайна с обеих сторон должны составлять 3–5 мм, а между рифами бичей

и передней планкой подбарабанья при нахождении его в крайнем положении и между жалюзи в крайнем положении – не более 2 мм.

Измельчающий аппарат. При ТО кормоуборочных комбайнов контролируют зазор между ножами и противорежущими пластинами.

Рабочие органы почвообрабатывающих машин. При ТО контролируют толщину лезвий рабочих органов: у лемеха плуга – не более 1 мм, у полольных, односторонних и стрелчатых лап и дисковых ножей – не более 0,5 мм.

3.7. Стенды диагностического контроля выходных параметров тракторов

Независимо от устройства и принципа действия необходимо, чтобы тормозные стенды обеспечивали:

- торможение двигателя в широком диапазоне его загрузки на всех скоростных режимах работы;
- стабильное торможение с достаточно длительной постоянной величиной тормозного момента;
- устойчивое торможение, сохраняющее заданный скоростной режим при небольших кратковременных изменениях нагрузки;
- достаточно точное измерение крутящего момента или окружного усилия;
- прокручивание вала двигателя или возможность его прокручивания от постороннего источника энергии, что необходимо для выполнения многих вспомогательных и подготовительных операций в процессе проведения типовых и научно-исследовательских испытаний;
- полезное использование энергии, получаемой от двигателя в процессе торможения;
- дистанционное управление органами, регулируемыми нагрузкой двигателя;
- сравнительно низкий уровень шума;
- невысокую металлоемкость стенда;
- возможность проведения дополнительных испытаний согласно ГОСТ 17.2.2.02–98, ГОСТ 17.2.2.05–97.

Для сравнения на рис. 3.37 приведена зависимость относительной металлоемкости обкаточно-тормозных стендов от максимальной тормозной мощности.

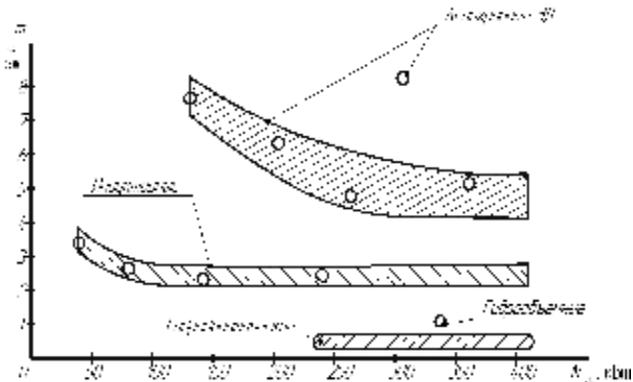


Рис. 3.37. График зависимости относительной металлоемкости тормозных устройств от максимальной тормозной мощности

Из данных рис. 3.37 видно, что наиболее металлоемкими являются стенды на базе асинхронных электродвигателей (ЭД). Гидрообъемные тормозные устройства имеют относительно небольшую металлоемкость. По этому показателю они сравнимы с гидродинамическими тормозными устройствами. Однако гидродинамические стенды не имеют возможности прокручивания коленчатого вала обкатываемого двигателя, к тому же гидрообъемные тормозные устройства обладают рядом преимуществ: малой инерцией, стабильностью управления, высокой динамичностью и низкой ценой за счет недорогой, надежной и массово выпускаемой элементной базы.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод о целесообразности выбора гидрообъемного тормоза в качестве перспективной конструкции современных отечественных обкаточно-тормозных стендов.

Один из главных элементов диагностирования энергонасыщенных тракторов – контроль их выходных показателей, особенно топливно-энергетических, тяговых и тормозных качеств. Это требует должного оснащения постов диагностирования, в т. ч. барабанным стендом для контроля тяговых и тормозных качеств и средством контроля расхода топлива.

Тяговые испытания тракторов распространены во многих странах, проводятся на тракторных заводах (заводские), в НИИ (ведомственные и приемочные), на МИС (ведомственные, приемочные и контрольные) и оценивают показатели тракторов по ГОСТ 7057, стандартам ASAE и SAE. Эти проверки актуальны и в эксплуатации,

позволяя контролировать снижение рабочей производительности машин, состояние дизеля, тормозных систем, других агрегатов и систем для восстановления их исправности при ТО и ТР.

На постсоветском пространстве барабанные стенды для испытаний колесных тракторов до 1970 г. распространения не получили. Единичные стенды имелись на ХТЗ и СевКавМИС. Но для эксплуатационного диагностирования тракторов на большинстве СТОТ в силу уникальности и сложности эти стенды были неприемлемы.

В ГОСНИТИ и на ряде МИС в 60-х гг. было создано несколько стендов для тормозных испытаний дизелей через вал отбора мощности тракторов, но они были непригодны для энергонасыщенных тракторов. Не было серийных барабанных стендов для испытания колесных тракторов и за рубежом.

В 1970 г. Харьковский тракторный завод начал использовать барабанный стенд для тракторов Т-125 (рис. 3.38, 3.39). Стенд имел две подвижные полурамы с 4 барабанами, электросистему постоянного тока на 100 кВт, 4 электромшины постоянного тока, балансирующую электромашину МПБ 32,7/28 на 100 кВт, 8 редукторов, 4 КП трактора Т-74 и одну автомобильную, 9 карданных передач, тензоизмерителей, 10 нагрузочных сопротивлений и реостатов, пневмостанцию, управляющую пневмосистему, аналог японского расходомера топлива (счетчик хода поршня с приборами МЭС-54) и последовательную весовую установку с двойной фильтрацией топлива.

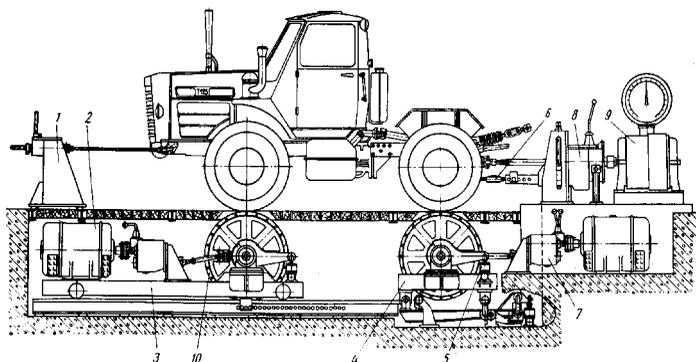


Рис. 3.38. Исследовательский динамометрический стенд для испытаний колесных тракторов 60-х гг. на ХТЗ с установленным на нем трактором Т-125: 1 – причальное устройство; 2 – электрическая тормозная машина; 3, 4 – полурамы передних и задних барабанов; 5 – динамометр; 6 – тензометрическое звено; 7, 8 – КПП трансмиссии стенда и привода балансирующей машины 9 (МПБ 32,7/28); 10 – беговые барабаны

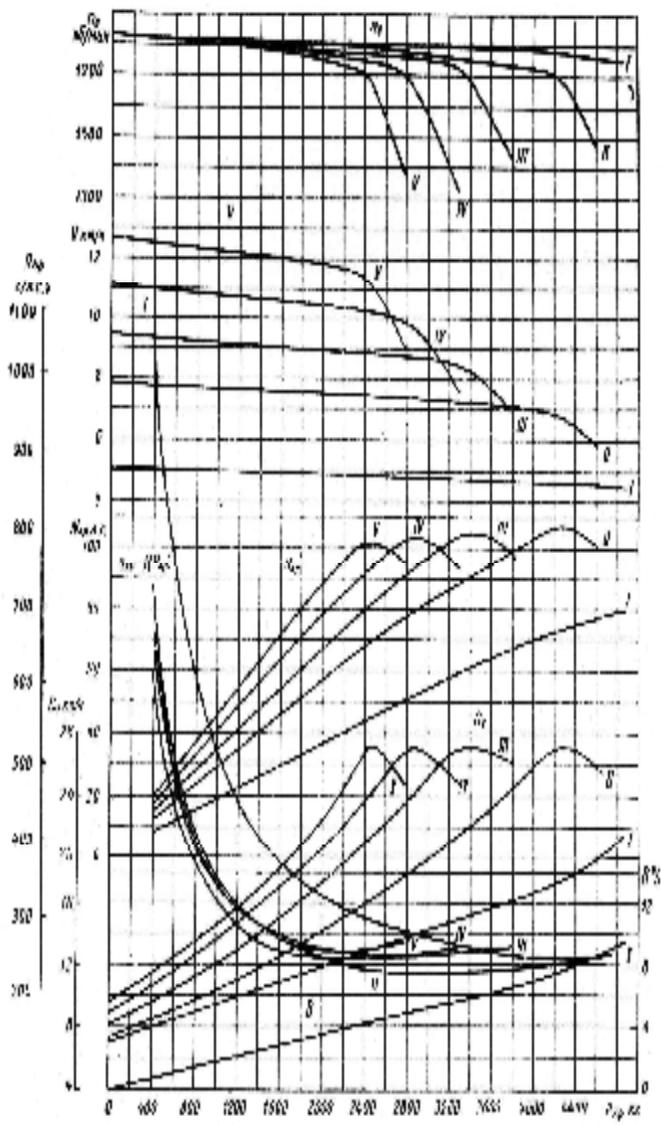


Рис. 3.39. Тяговые характеристики опытного образца трактора Т-125 на исследовательском динамометрическом стенде ХТЗ-ХАДИ (I-V – передачи)

Беговые барабаны диаметром 1206 мм, шириной 1200 мм были облицованы деревом. Масса стенда (без станции постоянного тока) –

более 15 т. Барабаны имели независимый привод, автономное управление и могли попарно блокироваться.

Управление стендом содержало системы контроля температур дизеля, агрегатов шасси и приводов стенда, частоты вращения коленчатого вала дизеля, барабанов и колес трактора, тягового усилия, крутящих моментов на валах шасси трактора и на планетарных редукторах, 10 осциллографов и др. Приведенная погрешность контроля расхода топлива – до ± 2 %, а силы тяги – до $\pm 1,5$ %.

Громоздкость, ограниченность параметров, дороговизна, сложность испытаний двумя операторами для диагностических стендов в АПК были неприемлемы.

Анализ отечественных и зарубежных методов и средств испытаний колесных машин показал, что серийный диагностический барабанный стенд для АПК в начале 70-х гг. нужно было разрабатывать заново, заимствуя у аналогов только некоторые решения по критерию минимума совокупной стоимости измерения, трудозатрат и электроэнергии, в то время как погрешности измерений разрабатываемого стенда и аналогов должны быть сравнимы.

При разработке нового диагностического стенда для колесных тракторов КИ-8927-ГОСНИТИ и технологических рекомендаций по его использованию были обобщены результаты многих исследований и прикладных работ по диагностированию тракторов, автомобилей и их ДВС.

Обоснование параметров стендов требовало решения следующих задач:

- возможность совмещения на одном стенде противоречивых испытаний по тяговым и тормозным показателям тракторов, отличающихся от автомобилей низкими скоростями движения и высокой силой тяги;

- техническое и технико-экономическое обоснование серийного электропривода;

- теоретическое обоснование нагрузочно-скоростных режимов тяговых и тормозных испытаний;

- теоретическое обоснование метода измерений и конструктивной схемы прибора для непрерывного контроля расхода дизельного топлива на 2–65 л/ч.

Макетный образец стенда был изготовлен Береговским опытно-экспериментальным заводом (БОЭЗ), а смонтирован и испытан – на тракторе тягового класса 5 в Светлоградской СТОТ Ставропольского края (рис. 3.40).

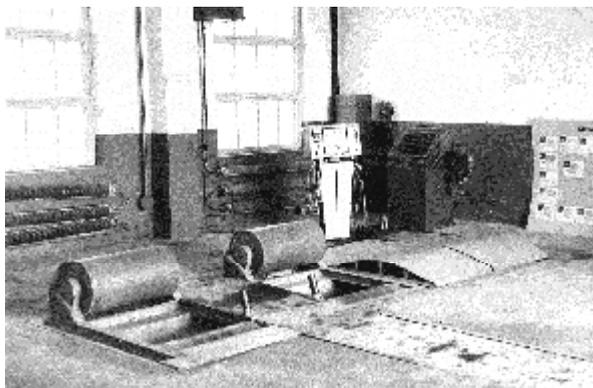


Рис. 3.40. Макетный образец диагностического стенда для колесных тракторов на СТОТ

При испытании были выявлены конструктивные недостатки двухбарабанного стенда, и для опытного образца совмещенного силового реверсивного тягово-тормозного стенда совместно с конструкторами БФ ЦОКТБ ГОСНИТИ был задан 4-барабанный стенд: привод – на передние барабаны; тяговые испытания на высоких скоростях движения вперед, а тормозные – при вращении колес стендом назад (для натягивания колес на приводные барабаны); отношение диаметра всех барабанов блока приводного к диаметру колес трактора тягового класса 5 – не менее 60 %, в соответствии с этим диаметр барабанов – 580 мм; для тракторов Т-40 с неотключаемым передним мостом в техническом задании (ТЗ) был предусмотрен поставляемый по заказу опорный блок без привода; в системе отсоса ОГ задан 2–5-кратный отбор газов; к стационарному пульту управления задана кнопочная станция дистанционного реверсивного управления приводом и системой отсоса ОГ.

Расходомером топлива в ТЗ задан прибор контроля переменного перепада давления потока топлива на нестандартном сужающем устройстве.

Опытный образец стенда, изготовленный в 1974 г., прошел заводские и приемочные испытания на колесных тракторах классов 5 и 3, был запущен в серийное производство, и к 1978 г. было произведено 306 стендов. Общий вид серийного стенда КИ-8927-ГОСНИТИ приведен на рис. 3.41.



Рис. 3.41. Диагностический стенд для колесных тракторов КИ-8927-ГОСНИТИ (привод открыт для демонстрации устройства стенда)

При заводских и приемочных испытаниях опытного образца стенда на БОЭЗ, при эксплуатационных испытаниях серийных стендов на Богодуховской, Щелковской, Новоград-Волинской и других СТОТ определялся диапазон диагностических параметров тракторов. Полученные данные использовались для обоснования их номинальных и допускаемых значений, внесенных в технологию диагностирования колесных тракторов.

С постановкой на производство трактора К-701 в 1985 г. была начата разработка стенда для контроля выходных показателей трактора, на 40 % более мощного и на 12 % более скоростного.

В результате анализа конструктивов и тягово-скоростных параметров трактора К-701 диаметр беговых барабанов в сравнении со стендом КИ-8927-ГОСНИТИ был увеличен до 650 мм, а максимальная скорость испытаний – до 28 км/ч. Вместо системы «сельсин-датчик–сельсин-приемник» задан тензорезисторный силоизмеритель серии ДСТ-400 (4У2.320.396) системы ГСП повышенной точности для измерения крутящего момента на валу электромашины стенда в двигательном и генераторном режимах.

Предусмотрена микропроцессорная система измерения сил на колесах, частоты вращения ротора электромашин для непрерывной индикации тяговой мощности и фиксации максимального ее значения при постепенной загрузке трактора с возможной кратковременной перегрузкой привода стенда.

В ТЗ было задано требование снижения погрешности контроля расхода топлива, а также использован потенциометр для контроля

деформации пружины в устройстве для догрузки задних колес тракторов и контроля сил на тягах навесной системы с выводом измерений на миллиамперметр.

Вместо исходного топливомера 8927.07 из стенда КИ-8927-ГОСНИТИ были заданы разработки расходомеров дизельного топлива (дизтоплива) КИ-8940-ГОСНИТИ (2–20, 10–70 кг/ч) и КИ-8940М-ГОСНИТИ (1–10, 5–20 кг/ч), а также аналогичного расходомера бензина КИ-8943-ГОСНИТИ. Через 10 лет производства топливомера 8927.07 и расходомера КИ-8940-ГОСНИТИ с использованием появившихся возможностей дальнейшего снижения погрешности контроля расхода топлива было разработано ТЗ на усовершенствованные расходомеры дизтоплива КИ-8982-ГОСНИТИ (2–10, 5–30 и 20–60 кг/ч) и бензина КИ-8982-01-ГОСНИТИ (1–5, 3–20 и 10–40 кг/ч).

Для снижения приведенной погрешности измерения расхода с 1,5–2,5 до 0,7–1,5 % при нестандартно малых значениях чисел Рейнольдса с микрорасходами топлива в ТЗ на расходомеры были предложены новые, оправдавшие себя решения, в т. ч. использование диафрагмы со входным, а не с выходным конусом. Оправдало себя и применение в расходомере камерного демпфера пульсаций расхода. Разработка нового стенда на основе опыта эксплуатации первого проводилась с более тщательным учетом требуемых критериев. Например, кроме оптимального отношения диаметра барабанов к диаметру колес машины (0,6–1) требовалось более гарантированно обеспечить условия действия машин на барабанах стенда: надежная устойчивость машины и обеспечение контроля нормативных значений сил при тяговых испытаниях тракторов и при проверке тормозных качеств тракторов; автономный заезд/выезд при застопоренных барабанах.

В конструктивах стенда КИ-8948-ГОСНИТИ и в режимах испытаний тракторов тягового класса 5 вышеприведенные условия были учтены, поэтому при заводских, приемочных и эксплуатационных испытаниях опытного образца стенда устойчивость во всех режимах была подтверждена. А для обеспечения устойчивости трактора тягового класса 3 при тяговых и тормозных испытаниях заднего неотключаемого моста потребовалась догрузка моста догрузочным устройством стенда величиной не менее 500 кгс. Таким образом, проблемы обеспечения надежной устойчивости всех тракторов при тяговых и тормозных испытаниях были разрешены.

Принятые при разработке нового стенда и расходомеров топлива решения достигли цели, что было подтверждено заводскими и государственными приемочными испытаниями стенда КИ-8948-ГОСНИТИ в 1987 г. и расходомеров топлива КИ-8940 в 1988 г., проведенными предприятием А-1686. Сравнительная характеристика обоих стендов приведена в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Показатели стендов КИ-8927-ГОСНИТИ и КИ-8948-ГОСНИТИ

Показатели	Ед. изм.	Стенды	
		КИ-8927	КИ-8948
1. Назначение	–	Контроль выходных параметров колесных тракторов (универсальных пропашных и общего назначения) тяговых классов 0,6; 0,9; 1,4; 3; 5, а также самоходных шасси Т-16, СШ-45 и СШ-75 при ТО-3 и ТР	
2. Тип по методу контроля сил тяги и тормозов, по используемому приводу	–	Барабанный электромашинный реверсивный для проездных и тупиковых постов	
3. Тип электромашины	–	Асинхронная балансирная с фазным ротором АКБ 92-8 УХЛ, управляемая жидкостным реостатом	
4. Количество измерительных каналов	ед.	8	11
5. Изменяемые параметры:			
– тяговые и тормозные силы;	кгс	100–3500	100–1000 и 300–3000
– тяговая мощность на колесах;	л. с.	–	10–100 и 20–200
– расход топлива;	кг/ч	2–20 и 10–70	2–10, 5–30, 20–60
– имитируемая скорость движения;	км/ч	5,5–20,5	6,1–23,3
– токи в бортовой сети тракторов;	А	0–50	0–50 и 0–100

Показатели	Ед. изм.	Стенды	
		КИ-8927	КИ-8948
– напряжение в бортовой сети;	В	0–30	0–30
– усилие на навесной системе	кгс	100–2500	500–5000
6. Приведенные погрешности измерений:			
– усилий на колесах;	%	3	2,5
– тяговой мощности;	%	–	3
– расхода топлива;	%	3	2
– усилия на тягах навесной системы;	%	5	3
– силы тока и напряжения;	%	1,5	1,5
– окружной скорости барабанов	%	5	3
7. Установленная мощность	кВт	61	61
8. Максимальная потребляемая мощность	кВт	75	75
9. Генерируемая мощность	кВт	до 110	до 130
10. Габариты приводного блока с электромашиной	мм	5825×1692×780	4600×2000×1400
11. Масса с реостатом, системой отсоса ОГ, догрузочным устройством, топливомером и топливным баком	кг	6500	7300
12. Размеры поста диагностирования	м	7,5×12 или 9×12	6×12, не менее 30 м ²

С помощью стендов в режиме буксировки тракторов, помимо указанного в табл. 3.5, можно запускать дизели, прокручивать их для проверки ЦПГ, гидросистем навесного механизма и рулевого управления.

Стенды КИ-8927-ГОСНИТИ и КИ-8948-ГОСНИТИ, в отличие от автомобильных, совмещали силовой тяговый и силовой тормозной стенды, имели простой и надежный топливомер непрерывного расхода, более информативный для поиска неисправностей систем питания, чем дискретный (10–100 с) весовой расходомер.

По сравнению с первым стендом второй более компактен, пригоден для поста диагностирования 6-метровой ширины, измеряет и фиксирует максимальную величину тяговой мощности, имеет повышенную точность измерений, расширенный диапазон измерения на приборе усилия навесной системы.

Электромагнитные фиксаторы беговых барабанов в обоих стендах исключили громоздкие подъемники и пневмосистему у автомобильных стендов, что упростило конструкцию тракторных стендов и уменьшило вес на 500 кг. Но это потребовало нового решения задач обеспечения устойчивости тракторов на стендах при контроле и сил тяги, и тормозов.

Для проверки тормозов колесные тракторы общего назначения тяговых классов 3 и 5 устанавливали на приводной блок поочередно обоими мостами, при проверке тягово-экономических качеств – одним постоянно включенным ведущим мостом. Колесные тракторы Т-40А, Т-40АМ, «Беларус-82» с неотключаемыми передними ведущими мостами устанавливали передними колесами на опорный блок.

Перед проверкой тягово-экономических показателей выключают непостоянно включаемый ведущий мост, подсоединяют расходомер топлива, систему отсоса ОГ и трос догрузочного устройства к тягам навесной системы. Провода контроля электрооборудования стенда присоединяют к контрольным точкам электрооборудования трактора, устанавливают упорные башмаки под невращающиеся колеса. Далее пускают и прогревают дизель, определяют потребность дизеля и агрегатов шасси в профилактике или ремонте, контролируют и доводят до нормы тягово-экономические и другие выходные/функциональные показатели трактора, обуславливающие его производительность и безопасность работы.

При тяговых испытаниях устанавливают такой скоростной режим, при котором частота вращения ротора электромашины приближена к

двойной синхронной частоте (1500 мин^{-1}), но не превышает ее. Таким образом, обоснованы промежуточные режимы транспортных скоростей для тяговых испытаний и малые скорости при контроле тормозов. Это предотвращает перегрузку электромашины по крутящему моменту, обеспечивает повышенную устойчивость трактора на беговых барабанах и умеренный износ шин при повышенных силах тяги и торможения колес.

Например, для колесного трактора общего назначения тягового класса 5 выбрана транспортная передача IV-2 (скорость 23,3 км/ч против 20,8 км/ч на стенде КИ-8927-ГОСНИТИ). Для колесного трактора общего назначения тягового класса 3 – транспортная передача III-3 (скорость 22 км/ч против 18,62 км/ч на стенде), что упростило контроль тяговых качеств этого трактора, имеющего облегченный неотключаемый задний мост. Для остальных тракторов приняты максимальные транспортные скорости (табл. 3.12).

Таблица 3.12

Режимы тяговых испытаний тракторов на стендах

Тракторы	КИ-8927-ГОСНИТИ			КИ-8948-ГОСНИТИ		
	Передача	Скорость, км/ч	Сила тяги, Н	Передача	Скорость, км/ч	Сила тяги, Н
К-744	13	18,5	–	14	22,4	–
К-701	13	19,4	26968,28	14	23,3	21574,63
К-700А	14	20,8	21574,63	14	20,8	21574,63
К-700	13	18,0	20299,76	14	21,9	15690,64
Беларус-2022	5	18,62	18681,67	7	22,00	15494,51
Беларус-80.1/82.1	8	17,95	5883,99	8	17,95	5883,99
Беларус-80Х	8	17,4	5883,99	8	17,4	5883,99
МТЗ-50/52	8	13,85	5883,99	8	13,85	5883,99
МТЗ-50Х	8	14,3	5883,99	8	14,3	5883,99
ЮМЗ-6Л	9	19,0	4216,86	9	19,0	4216,86
Т-40М, АМ	5	20,96	2206,49	5	20,96	2206,50
Т-40АНМ	5	18,9	2598,76	5	18,9	2598,76
Т-28Х4М	6	15,5	6109,54	6	15,5	6109,54
Т-25А	6	21,9	1039,50	6	21,9	1039,50
Т-16М	5	16,4	980,66	6	23,3	980,66

Длительность полной проверки трактора на стенде не превышает 2 ч, а проверки тягово-экономических показателей – не более 15 мин.

Стенды КИ-8927-ГОСНИТИ и КИ-8948-ГОСНИТИ не обеспечивают контроль тяговых качеств более мощных тракторов (свыше тягового класса 5), а некоторые универсальные тракторы тяговых классов 1,4 и 3 требуют обязательной догрузки задних мостов усилием на гидронавесной системе величиной не менее 500 кгс.

Конструкция стенда КИ-8948-ГОСНИТИ упрощает тяговые испытания, т. к. при постепенной загрузке трактора фиксируется максимальная тяговая мощность. Кратковременная (до 0,5 мин) проверка на этом заканчивается.

На основании результатов приемочных испытаний стенда КИ-8948-ГОСНИТИ, выполненных в сентябре 1988 г. предприятием А1686 государственной аттестационной комиссией, диагностический стенд для колесных тракторов КИ-8948-ГОСНИТИ, изготовленный Береговским опытно-экспериментальным заводом диагностического и гаражного оборудования УССР, аттестован по высшей категории качества с обозначением государственного Знака качества.

Условия диагностирования и тяговые показатели колесных тракторов на стендах отличаются от режимов и показателей при заводских, приемочных и контрольных испытаниях тракторов на треках или полях. Эти режимы близки, но на стенде трактор неподвижен, а неведущий или не постоянно включаемый мост не работает, поэтому сила тяги и тяговая мощность тракторов на стендах заметно выше.

Опыт эксплуатации первых стендов КИ-8927-ГОСНИТИ показал также необходимость уточнения нормативов тормозных сил и усилий на навесной системе тракторов «Кировец». Были проведены дополнительные исследования тяговых и тормозных качеств тракторов на обоих стендах.

После заводских и приемочных испытаний в 1977 г. стенда КИ-8948-ГОСНИТИ перед постановкой его на производство были уточнены номинальные и допускаемые значения следующих параметров:

- тяговой мощности N_k тракторов на барабанах стенда;
- часового расхода топлива G_m при максимальной тяговой мощности тракторов;
- тормозных сил P_t на колесах тракторов;
- усилий $P_{нав}$, развиваемых гидронавесной системой.

Обоснование допускаемых в эксплуатации отклонений эффективной мощности тракторных дизелей проведено по методике прогнозирования и оптимизации допускаемых значений диагностических параметров состояния машин, разработанной В. М. Михлиным.

Внедрение стендов сопровождалось разработкой и изданием серии справочных материалов ГОСНИТИ и рекомендаций по рациональной организации и технологии диагностирования тракторов с помощью стендов КИ-8927-ГОСНИТИ и КИ-8948-ГОСНИТИ.

Технико-экономическая эффективность диагностических стендов для колесных тракторов определяется следующими показателями:

- снижением трудоемкости диагностирования машин по сравнению с контролем без стенда (по данным английской фирмы «Криптон», общая диагностика автомобилей на стенде занимает до 5 мин, а в дорожных условиях – 30–60 мин; проверка тормозных и тяговых качеств колесных тракторов и определение расхода топлива на стендах КИ-8927-ГОСНИТИ и КИ-8948-ГОСНИТИ также занимает не более 5 мин);

- эффективностью улучшения эксплуатационных показателей (мощность, экономичность, производительность, эксплуатационные расходы), а также надежности работы и безопасности движения машин после регулировки на стендах.

Таким образом, разработка стендов для диагностирования колесных тракторов КИ-8927-ГОСНИТИ и КИ-8948-ГОСНИТИ была удовлетворительной, а аттестация стенда КИ-8948-ГОСНИТИ по высшей категории качества – обоснованной.

Применение указанных стендов на практике позволило контролировать выходные функциональные показатели энергонасыщенных колесных тракторов и повысить культуру их ТО, надежность и безопасность движения.

Разработанные методики и установленные на их основе нормы диагностирования тракторов могут использоваться и в современных условиях. Для оценки выходных параметров современных, особенно импортных, колесных тракторов целесообразно сочетать контроль по прямым и косвенным методам на основе различных физических (электрических, магнитных, оптических, акустических, тепловых и комбинированных) методов, а также использовать встроенные средства диагностирования.

В настоящее время для диагностического контроля выходных параметров тракторов применяют стенды, к которым посредством

вала отбора мощности подключаются дизели. На рынке появились электрические динамометры марки ОТС российского производства (рис. 3.42), а также модернизированные стелды чешского производства MEZSERVIS Vsetin (рис. 3.43). Достоинством этих стелдов является то, что они позволяют производить обкатку и испытания двигателей на любых режимах.

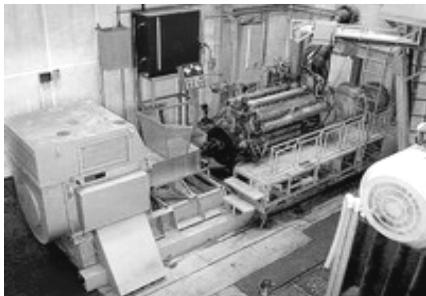


Рис. 3.42. Стелд ОТС

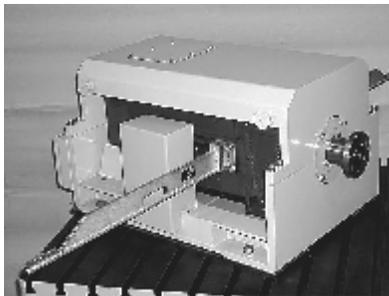


Рис. 3.43. Динамометр MEZSERVIS Vsetin

Недостатки всех электрических обкаточно-тормозных устройств – дороговизна, большие габариты и вес, а также потребление значительного количества электроэнергии, т. к. на них установлены электробалансирные машины большой мощности. Например, стелд КИ-2139БГ весит 2000 кг и требует для размещения площадь около 30 м².

Известны также гидравлические нагружающие устройства (рис. 3.44, 3.45), содержащие корпус, ротор с валом внутри корпуса, подводящие и отводящие трубы, и систему регулирования момента.



Рис. 3.44. Гидравлический тормоз фирмы Horiba

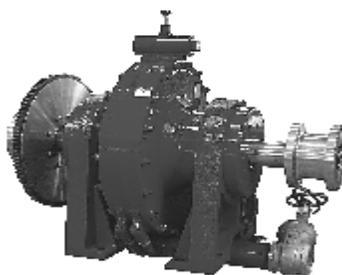


Рис. 3.45. Гидродинамический тормоз фирмы «МИКС Инжиниринг»

В 2017 г. на Международной выставке сельскохозяйственного оборудования «Agritechnica 2017» в г. Ганновере (Германия) демонстрировался передвижной тормозной стенд с вихретоковым тормозом (рис. 3.46).



Рис. 3.46. Передвижной тормозной стенд ZW 500 с вихретоковым тормозом

Стоимость такого стенда превышает 120 тыс. евро, что дорого и недоступно для отечественных предприятий. Кроме того, вихретоковый тормоз при малых габаритах и весе имеет большой недостаток: при его использовании не представляется возможным утилизировать энергию торможения.

В БГАТУ был разработан тормозной стенд для испытания двигателей через вал отбора мощности (рис. 3.47). Работа устройства основана на использовании дросселирования потока жидкости через отверстие постоянного сечения аксиально-плунжерным гидронасосом.

Измерение нагрузки на валу ДВС может осуществляться по давлению в напорной и сливной магистралях (зависимость (3.3)) либо с помощью датчика крутящего момента (ДКМ) М40 (рис. 3.48), установленного на вал отбора мощности (ВОМ) трактора:

$$M_{\text{н}} = 0,126K \frac{d^2 \sqrt{2\Delta p^3 (1 + \beta_{\text{т}}(T - T_1))}}{n r_1}, \quad (3.3)$$

где K – коэффициент взаимовлияния;

d – диаметр дросселя, м; Δp – перепад давления на дросселе, Па;

$\beta_{\text{т}}$ – коэффициент объемного расширения, K^{-1} (для минеральных масел $\beta_{\text{т}} = 8 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$);

T – температура жидкости в момент снятия показаний, К;

r_1 – плотность жидкости при температуре T_1 (для минеральных масел $T_1 = 293 \text{K}$), кг/м^3 ;

n – частота вращения вала насоса, с^{-1} .

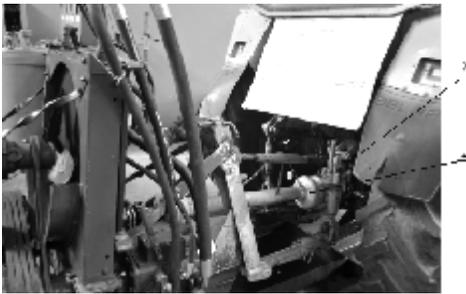


Рис. 3.47. Стенд для испытания двигателей тракторов:
1 – заднее навесное устройство трактора;
2 – карданная передача



Рис. 3.48. Датчик крутящего момента М40

Небольшие габариты и вес аксиально-плунжерных насосов и других комплектующих этого устройства, а также простота конструкции позволяют изготовить его в прицепном варианте, буксируемом микроавтобусом или малотоннажным грузовиком, в которых могут быть размещены различные диагностические средства.

3.8. Средства контроля топливно-энергетических показателей автотракторных дизелей

Расход топлива G_T – один из важнейших показателей не только экономичности двигателей, но и технического состояния топливной аппаратуры, цилиндра-поршневой группы и газораспределительного механизма ДВС. Удельный эффективный расход топлива g_e (г/л. с.·ч или г/кВт·ч) контролируют:

- при определении мощности ДВС согласно ГОСТ 18509 по испытанию тракторных и комбайновых дизелей;
- аналогично при испытании автомобильных ДВС по ГОСТ 23465;
- при диагностировании автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных, строительных и дорожных машин по ГОСТ 25044;
- при диагностировании дизелей тракторов, комбайнов по ОСТ 23.1.54–80.

Массовый расход топлива стоит одним из первых в перечне функциональных параметров по ГОСТ 20760–75 «Техническая диагностика. Тракторы. Параметры и качественные признаки технического состояния».

В целом широкий контроль расхода газов и жидкостей применяется с начала XX в., известна целая гамма расходомеров – более 50 типов. При заводских испытаниях ДВС обкаточно-испытательные

станции моторных заводов имели преимущественно расходомеры на основе торговых весов. Они же использовались и на ремонтно-механических заводах.

В зарубежной испытательной и ремонтной практике также были известны различные весовые расходомеры. Они имели недостаточную точность, поэтому в ГОСНИТИ с начала 70-х гг. предприняли несколько попыток создать более точные объемные расходомеры: колокольных непрерывных показаний, а также с мерной емкостью и измерением времени расхода из нее топлива. Однако колокольный расходомер оказался принципиально ошибочным, а расходомер с мерной емкостью из-за сложности конструкции не имел преимуществ перед весовыми расходомерами.

Известен и ряд других разработок, однако так и не было создано достаточно простой, удобной и в то же время надежной конструкции расходомера, пригодной для широкого применения. Распространены всевозможные мерные бачки или мерные сосуды с тарированной емкостью, расходование некоторого объема топлива из которых определяется по ручному секундомеру или секундомеру, встроенному в оснастку мерного сосуда.

В работах профессора Н. Я. Говорущенко по диагностированию автомобилей была предложена схема расходомера ХАДИ, приведенная на рис. 3.49.

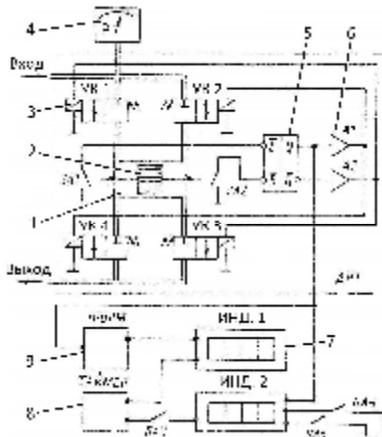


Рис. 3.49. Принципиальная схема поршневого расходомера топлива ХАДИ: 1, 2 – поршеньковый датчик расхода; 3 – группа из 4 электромагнитных клапанов; 4 – манометр давления топлива на входе в расходомер; 5, 6, 8, 9 – электронные блоки расходомера; 7 – цифровые индикаторы израсходованного количества топлива и величины, обратной текущему (мгновенному) значению расхода

Прибор включает дозирующее устройство с поршеньком (датчик расхода топлива – ДРТ), группу из 4 электромагнитных клапанов, 4 электронных блока, 2 цифровых индикатора и манометр давления топлива на входе в прибор. Один цифровой счетчик регистрирует количество израсходованного за 3 мин топлива (до 10 л). Другой счетчик фиксирует время потребления двигателем дозы топлива (мин/л). Эта единица измерения в современных приборах не используется.

Подобная схема была реализована в конце 70-х – начале 80-х гг. в расходомерах ЦМИС и СевКавМИС (приборы ИП-60 и серия их аналогов для нужд МИС АПК), а в 80-е гг. – в венгерских расходомерах EUF-40 и EUF-80. Все эти приборы появились позже серийного производства топливомера 8927.07 БФ ЦОКТЬ ГОСНИТИ. Недостаток этих расходомеров – высокая чувствительность даже к незначительным загрязнениям топлива.

Необходимость контроля расхода топлива усилилась и с появлением нетрудоемкого и достаточно достоверного метода экспресс-контроля топливной экономичности автотракторных дизелей, предложенного кандидатом технических наук В. И. Бельских (а. с. СССР № 521480), разработанного на основании анализа статистики тормозных испытаний автотракторных дизелей на центральной МИС и экспериментально уточненного В. А. Четом.

Сущность метода состоит в том, что с изменением состояния дизеля и атмосферных условий зависимость расхода топлива G_T от мощности дизеля N_e (рис. 3.50) с достаточной для эксплуатационного контроля точностью поднимается эквидистантно (параллельно).

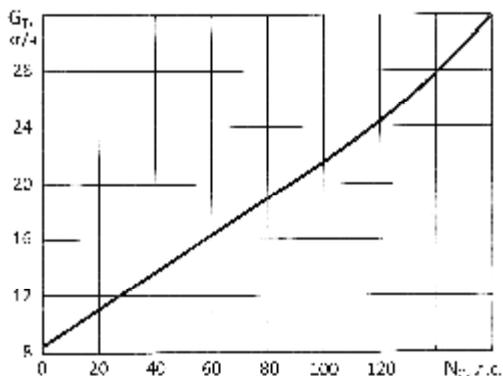


Рис. 3.50. График зависимости расхода топлива дизеля с турбонаддувом с непосредственным впрыском топлива (номинальная мощность – 128 кВт) от его эффективной мощности при $G_{тх} = 8,5$ кг/ч

Эквидистантность позволяет по расходу топлива определять N_e и g_e :

$$N_e = K_2 \sqrt{(G_T - G_{ТХ}) / K_1},$$
$$g_e = \frac{1000G_m}{K_2 \sqrt{(G_T - G_{ТХ}) / K_1}}, \quad (3.4)$$

где G_T , $G_{ТХ}$ – расходы топлива дизелем при номинальной мощности и при номинальной частоте вращения коленчатого вала на холостом ходу соответственно;

K_1 , K_2 – постоянные, близкие для дизелей одного типа.

Метод В. И. Бельских позволяет с достаточной для эксплуатационного контроля точностью безнагрузочно контролировать при номинальной мощности g_e автотракторных дизелей только по значениям расхода топлива при номинальной частоте вращения холостого хода. При этом даже нахождение значения $G_{ТХ}$ в допусковом диапазоне свидетельствует о допустимом значении топливной экономичности дизеля в целом.

Описанный метод ГОСНИТИ отработан на большом числе марок дизелей, а его нормативные показатели утверждены на ведомственном уровне. Данный метод требует расходомера топлива с приведенной погрешностью не более 2,5 %.

Анализ серийных в 70–80-е гг. расходомеров топлива для автотракторных ДВС показал следующие недостатки:

- весовые расходомеры не дают непрерывные показания, что важно при испытаниях для определения значений расхода по мере загрузки ДВС;

- ротаметры непригодны для автотракторных ДВС вследствие неустранимых колебаний поплавка ротаметра из-за пульсирующего характера потока топлива;

- немногие другие уникальные установки на непрерывные расходы топлива, например, в НАТИ, сложны и дорогостоящи, а их серийное вневедомственное производство отсутствует.

В целом в СНГ для автотракторных ДВС после 1980 г. были известны 8 типов приборов, в т. ч. те, что поставлялись из ВНР, НРБ, ЧССР и Японии. Всем им были присущи те или иные недостатки, описанные выше, и проблема расходомерии дизельного топлива и бензинов для диагностирования автотракторных ДВС в начале 70-х гг. еще не была решена.

Измерение расхода топлива автотракторных ДВС осложнялось малыми его величинами (микрорасходами, 1–10 г/с), тогда как в промышленной практике они составляют более 1 м³/ч, где для расходомеров переменного перепада давления метрологически корректно использовать диаметры потоков более 50 мм, а сужающего устройства – более 12,5 мм. Но топливопроводы низкого давления дизелей имеют внутренний диаметр 8 мм, т. е. меньше минимального диаметра стандартного сужающего устройства. Минимальное же число Рейнольдса (Re) для стандартных сужающих устройств при метрологической корректности измерения расхода составляет $1,2 \times 10^4$, а при расходах дизтоплива в автотракторных дизелях – лишь 27–1200, т. е. как минимум на порядок меньше.

Итого при классической проработанности расходомерии с сужающими устройствами их непосредственное применение было невозможным. В целом на начало 70-х гг. практических расходомеров топлива непрерывных показаний для диагностирования МТП в АПК и автомобилей не было, и остро стояла задача их разработки.

Ближайший аналог по образцам газовых реометров (рис. 3.51) впервые был схематично апробирован в 50-е гг. в НАМИ, но из-за нестабильности показаний, большой погрешности и нелинейности шкалы измерений дальнейшего развития не получил.

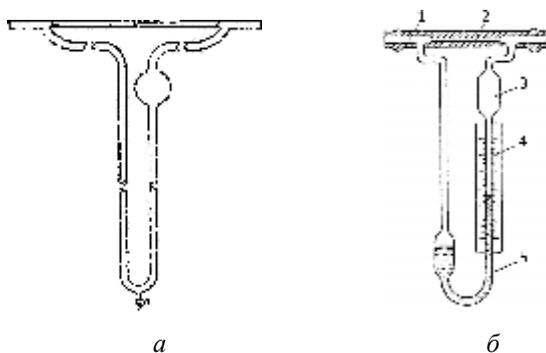


Рис. 3.51. Реометры 50–60-х гг. как расходомеры газов:

a – по данным А. С. Скобло; *б* – по данным П. П. Кремлевского:

1 – канал подачи газа; 2 – капилляр, вместо которого возможна установка диафрагмы; 3 – камера сбора аварийного выброса пьезометрической жидкости (вода, спирт, керосин); 4 – шкала измерения перепада давления пьезометрической жидкости, градуируемая в единицах расхода, обычно в л/мин (по ГОСТ 9932–61); 5 – минусовое колено реометра

Реометры с диафрагмой имели диапазон от 0–4 до 0–160 л/мин с капилляром до 1 л/мин, а приведенную погрешность в диапазоне 30–100 % расхода – до 2 %. Для них справедливо классическое уравнение расхода по расходомерии с сужающими устройствами

$$Q = \alpha F \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}, \quad (3.5)$$

где F – поперечное сечение потока в сужающем устройстве, м;

ΔP – перепад давления на сужающем устройстве расходомера, Па;

ρ – плотность жидкости или газа, кг/м³;

α – коэффициент расхода, функция числа Re (критерий перехода ламинарного течения в турбулентное):

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta}, \quad (3.6)$$

где v – скорость потока, м/с;

d – диаметр отверстия сужающего устройства, м;

η – динамическая вязкость жидкости или газа.

Приняв во внимание реометры и попытку НАМИ, лаборатория диагностики МФ ГОСНИТИ совместно с Береговским филиалом ЦОКТЬ ГОСНИТИ в 1970 г. создала макетный образец реометра как прибора А. И. Петрова (по характеристике ведущего специалиста по расходомерии в СССР П. П. Кремлевского). По результатам испытаний макет был неудачным из-за большой погрешности измерений, нелинейности шкалы расхода и нестабильности показаний при постоянном расходе. Недостатки можно было устранить точным выполнением требований расходомерии и изготовлением прибора в точном машиностроении с ювелирной градуировкой. Учитывались следующие особенности реометров: простота конструкции, отсутствие подвижных частей и дефицитных материалов, возможность производства на обычном машиностроительном заводе, возможность отхода от стандартного использования без калибровки путем подбора диаметров потоков, диаметров сужающих устройств и индивидуальной градуировки приборов.

Другое реализованное преимущество – возможность замены дифманометров ДМ, ДМР U-образным с пьезометрической жидкостью, т. е. дифманометром с видимым уровнем пьезометрической жидкости, как прибор А. И. Петрова.

При разработке прибора учтено, что массовый Q_m (кг/с) и объемный Q_o (м³/с) расходы на стандартном сужающем устройстве определяются классическими формулами:

$$Q_m = \alpha \varepsilon (\pi d^2 / 4) \sqrt{2} \Delta P \rho; \quad (3.7)$$

$$Q_o = \alpha \varepsilon (\pi d^2 / 4) \sqrt{2} \Delta P / \rho, \quad (3.8)$$

где ε – поправка на расширение измеряемой среды, для дизтоплива $\varepsilon = 1$.

В последних редакциях формул (3.11–3.12) величина $\alpha \varepsilon$ обозначается и как коэффициент истечения C .

Приборы переменного перепада давления составляют ²/₃ мирового парка расходомеров, но согласно уравнениям (3.10, 3.12 и 3.13) имеют нелинейную зависимость расхода от перепада давления, что осложняет их применение.

При разработке диагностического стенда для колесных тракторов КИ-8927-ГОСНИТИ на основании изложенного в ТЗ и с учетом требований «Правил 28-64» были заданы и особые условия к расходомеру-реометру на 2–20 и 10–60 кг/ч при числах Рейнольдса, меньших на порядок стандартных:

- диафрагма – с входным, а не с выходным конусом;
- наличие камерного (воздушного) демпфера пульсаций потока;
- шероховатость внутренних поверхностей топливопроводов – не более 0,32 мкм;
- материалы деталей протока топлива в приборе – латунь, используемая в приборостроении;
- длина шкалы расходомера – не менее 500 мм;
- длина прямолинейных участков у сужающих устройств – не менее $6D$ (D – диаметр потоков);
- приведенная погрешность измерений – не более 3 %;
- габариты и масса – ориентировочно 400×150×1000 мм и 10 кг;
- емкость топливного бака – 100 л;
- наличие фильтра тонкой очистки топлива между баком и самим прибором.

На основании разработанных в ТЗ требований лаборатории № 24 в БФ ЦОКТЬ ГОСНИТИ и на БОЭЗ к стенду КИ-8927-ГОСНИТИ была создана установка топливомера 8927.07, прошедшая заводские и приемочные испытания, а через несколько лет удачного серийного апробирования она была переоформлена в самостоятельное товарное изделие – расходомер КИ-8940-ГОСНИТИ. Его характеристики приведены в табл. 3.13 и на рис. 3.52, а, б.

Параметры расходомера дизельного топлива КИ-8940-ГОСНИТИ

Показатель	Ед. изм.	Значение
Класс точности	%	3
Диапазоны измерения	кг/ч	2–20 и 10–70
Диаметр условного прохода топливопроводов	мм	8
Напор топлива при входе в поплавковую камеру	мм	850–1400
Диапазон температуры топлива	°С	10–35
Время установления режима измерений, не более	с	6
Габаритные размеры:		
– расходомера	мм	346×140×550
– расходомера с принадлежностями	мм	850×255×2125
Масса:		
– расходомера	кг	9
– расходомера с принадлежностями	кг	52
Наработка на отказ	ч	2000
Средний срок службы	лет	8
Количество обслуживающего персонала	чел.	Диагност в кабине трактора

По образцу расходомера КИ-8940-ГОСНИТИ через 10 лет был разработан и расходомер бензина КИ-8943-ГОСНИТИ, т. к. в 80-х гг. приемлемых серийных расходомеров бензина не было, что еще раз подтверждает сложность их разработки, а контроль непрерывного расхода бензина в диагностике автомобилей запоздал по сравнению с контролем дизтоплива в диагностике тракторов на 10 лет.

При содействии Ужгородского машиностроительного завода Министерства приборостроения СССР было повышено качество расходомеров и на основании ГПИ, проведенных предприятием А-1686 в сентябре 1986 г., расходомеры КИ-8940-ГОСНИТИ, КИ-8943-ГОСНИТИ производства БОЭЗ были аттестованы по высшей категории качества и внесены в Государственный реестр средств измерений (№ 10730-86).

Расходомеры подлежали обозначению государственным Знаком качества в установленном порядке (решение Государственной аттестационной комиссии, зарегистрированное в Госкомитете СССР по стандартам 25.12.1986, № 105017385).

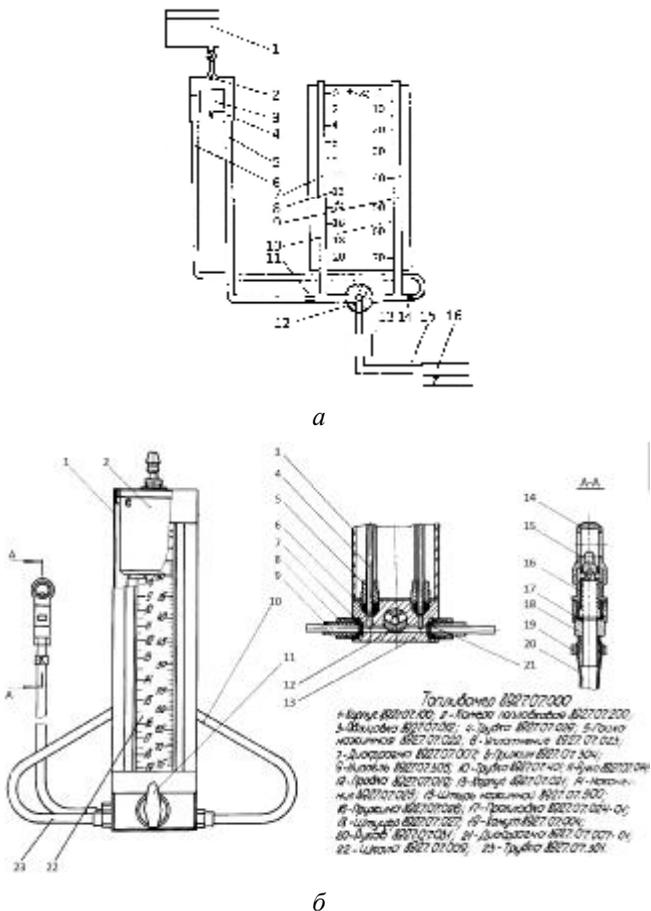


Рис. 3.52. Расходомер КИ-8940-ГОСНИТИ:

- а* – схема гидравлическая; *б* – конструктивное исполнение прибора;
- 1 – бак; 2 – клапан запорный поплавковой камеры; 3 – поплавок; 4 – камера поплавковая; 5, 6 – латунные трубки подвода топлива к диафрагмам;
- 7, 9 – стеклянные трубки дифманометров; 8, 10 – шкалы;
- 11, 14 – диафрагмы-преобразователи расхода в перепад давления;
- 12 – кран-переключатель диапазонов; 13 – демпфер пульсаций забора топлива в дизель; 15 – рукав к двигателю; 16 – наконечник-кран запорный

По ТЗ лаборатории № 24 в 1985 г. БФ ЦОКТБ ГОСНИТИ модернизирован расходомер КИ-8940-ГОСНИТИ и проведены заводские и приемочные испытания:

– расходомера КИ-8940М-ГОСНИТИ (рис. 3.53) на диапазоны измерения 1–10 и 5–20 кг/ч с приведенной погрешностью $\pm 1,5\%$ для реализации бестормозного метода контроля мощности В. И. Бельских по а. с. СССР № 521480;

– расходомер КИ-8940У-ГОСНИТИ с емкостью для дизтоплива на 3 л;

– переносной расходомер КИ-8955-ГОСНИТИ, ТУ 70.0001.846–82, на диапазоны 1–12, 5–40 и 10–65 кг/ч, приведенная погрешность – до 2 % (рис. 3.54, а, б).

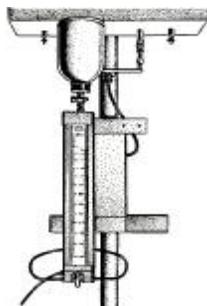
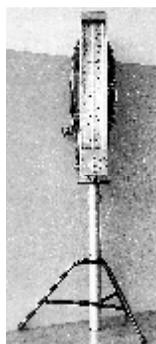
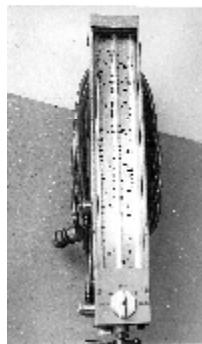


Рис. 3.53. Расходомер КИ-8940М на диапазоны 2–10 и 5–20 кг/ч



а



б

Рис. 3.54. Трехдиапазонный (2–12, 5–40 и 10–65 кг/ч) расходомер топлива КИ-8955-ГОСНИТИ с основной погрешностью измерения до 2 %:

а – внешний вид в сборе; *б* – приборная головка

Для обеспечения служб диагностики более точными расходомерами с внесением в Госреестр средств измерений расходомер КИ-8940-ГОСНИТИ, выпускавшийся в течение 10 лет, и КИ-8943-ГОСНИТИ по ТЗ лаборатории № 24 были доработаны. На их базе были созданы:

- расходомер дизельного топлива КИ-8982-ГОСНИТИ на диапазоны 2–10, 5–30 и 20–60 кг/ч с пределом допускаемой приведенной погрешности $\pm 2\%$;

- расходомер бензина КИ-8982-01-ГОСНИТИ на диапазоны 1–5, 3–20 и 10–40 кг/ч с пределом допускаемой приведенной погрешности $\pm 2\%$.

Указанные расходомеры в сентябре 1988 г. прошли ГПИ, проведенные предприятием А-1686, и было решено:

- диафрагменные расходомеры топлива КИ-8982-ГОСНИТИ и КИ-8982-01-ГОСНИТИ утвердить и внести в Госреестр средств измерений;

- разрешить Береговскому опытно-экспериментальному заводу Госагропрома УССР серийное производство и выпуск в обращение диафрагменных расходомеров топлива КИ-8982-ГОСНИТИ и КИ-8982-01-ГОСНИТИ;

- представить диафрагменные расходомеры топлива КИ-8982-ГОСНИТИ и КИ-8982-01-ГОСНИТИ на высшую категорию качества в установленном порядке;

- после освоения производства расходомеров КИ-8982-ГОСНИТИ и КИ-8982-01-ГОСНИТИ снять с производства и исключить из Госреестра расходомеры КИ-8940-ГОСНИТИ и КИ-8943-ГОСНИТИ.

Расходомер КИ-8940-ГОСНИТИ и его модернизация КИ-8982-ГОСНИТИ – самые простые и дешевые (их производство доступно обычному машиностроительному предприятию).

Анализ тенденций развития расходомеров в настоящее время показывает упрощение их механической части, но повышение ее точности и все большее насыщение микропроцессорами, что существенно расширяет их функции. В связи с этим необходимо отметить недостатки разработанных ГОСНИТИ расходомеров:

- большие размеры и металлоемкость;

- необходимость в собственном топливном баке, что обуславливает стационарность применения, хотя были разработаны и портативные модификации КИ-8940М-ГОСНИТИ, КИ-8940У-ГОСНИТИ, КИ-8955-ГОСНИТИ;

- поплавковая камера не обеспечивает высокую стабильность исходного (нулевого) давления топлива перед сужающим устройством.

Совершенствование расходомеров КИ-8982-ГОСНИТИ возможно путем:

– применения в поплавковой камере золотникового запорного устройства;

– подвески шкалы расходомера на поплавок поплавковой камеры (а. с. № 1654660, расходомер топлива переменного перепада давления для тракторных, комбайновых и автомобильных двигателей, авторы – А. В. Дунаев, Ю. А. Ефимов, А. Г. Линецкий, Е. И. Мотыка, А. С. Дацко);

– градуировкой шкал расходомера в объемных единицах, что позволит исключить погрешность измерения от вариации плотности топлива. Так как дифманометр измеряет перепад давления на диафрагме $\Delta P = \Delta h\rho$, то при переходе на объемное измерение имеем:

$$Q_o = CF \sqrt{\frac{2Dh\rho}{\rho}} = CF\sqrt{2Dh}, \quad (3.9)$$

где вариация плотности топлива на погрешность измерения не влияет, а прибор становится универсальным – для дизельного топлива и бензина. Отпадает дополнительная погрешность измерений от вариации температуры топлива и несоответствия плотности контролируемого топлива плотности градуировочной жидкости, расширяется температурный диапазон нормальной работы расходомера.

В конце 90-х – начале 2000-х гг. стали выпускаться универсальные широкодиапазонные образцовые камерные (роliko-лопастные по терминологии разработчика) расходомеры и счетчики количества жидкостей и газов. Их основа – измерительные преобразователи (датчики) расхода по документации кандидата технических наук В. В. Домогацкого (Московский лесотехнический институт) типа ОР и РЛГ (рис. 3.55).

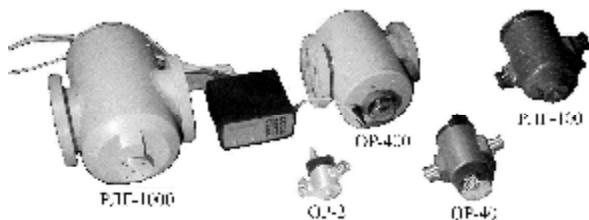


Рис. 3.55. Датчики В. В. Домогацкого расходомеров Московского лесотехнического института (ОР-2, ОР-40, ОР-400, РЛГ-100 и РЛГ-1000) и вторичный прибор МС-75

Широкодиапазонные датчики ОР и РЛГ отличаются высокой точностью, чувствительностью даже к капельным расходам, малой инерционностью роликов-роторов, долговечностью и надежностью, т. к. в них исключено трение скольжения деталей, они не требуют переградуировки в течение длительного времени, работают в диапазоне вязкостей измеряемых сред от 0,1 до 200 сСт. Датчики ОР и РЛГ в прецизионном исполнении повышенной точности могут использоваться в качестве образцовых (эталонных) метрологических средств и заменять собой сложные и дорогостоящие стенды и образцовые (баковые или трубопоршневые) установки.

Датчики комплектуются вторичным прибором МС-75, который регистрирует расход газов/жидкостей в л/ч или л/с, запоминает общий расход сред, прошедших через датчики, время работы, разность расходов двух датчиков.

Отличительные особенности датчиков серии ОР (РЛГ):

- диапазон расхода жидкостей – 0,0875–5000 л/мин (0,7–70 л/мин);
- рабочее давление 2,5–30 МПа (до 10 МПа);
- требуемая тонкость фильтрации измеряемой среды – не хуже 15–20 мкм;
- предел допускаемой относительной погрешности – 0,10–0,25 %;
- габариты, $L \times D$ – от 79×83 до 650×340 мм (148×92 мм);
- масса – от 0,4 до 60 кг (1,5 кг);
- вязкость измеряемой среды – от 0,1 до 200 сСт;
- регистрация величин расхода – вторичными приборами серии МС-75 исполнений 0, 1, 2, 3, А или счетчиком объема марки СЭ-261.

На основе макетного образца датчика ОР-40 в начале 90-х гг. кандидат технических наук В. А. Чечет в ГОСНИТИ создал макетный образец расходомера КИ-12964-ГОСНИТИ.

Возможно применение датчика ОР-100/6 (диапазон расходов – 1,2–11 м³/ч или 20–183 л/мин, предел допускаемой погрешности – 0,25/0,5 %) для контроля картерных газов автотракторных ДВС. Для сохранения работоспособности датчика требуется фильтр-демпфер для освобождения картерных газов от паров воды и масла, а для сохранения паспортной точности измерений необходимо привести в фильтре-демпфере параметры потока газов к нормальным условиям по ГОСТ 2939 ($T = 293$ К, $P = 103,32$ кПа).

В АТП СП «Эрдэнэт» два датчика В. В. Домогацкого ОР-2 и ОР-40 с прибором МС-75 были проверены на стенде КИ-15716-ГОСНИТИ

для испытания топливного насоса высокого давления (ТНВД) с помощью мерника образцового III разряда. Выявлено абсолютно полное совпадение расхода 10 дм^3 по прибору МС-75 с мениском топлива на риске мерника.

Используя датчики ОР и РЛГ, Минское СКБ «Камертон» повторило разработку расходомеров топлива со своим вторичным прибором для многих отраслей промышленности Беларуси, а Московский институт инженеров транспорта взял внедрение расходомеров ЗАО «МЦ-Восток» на железнодорожном транспорте России под свой полный контроль.

Практика контроля и восстановления топливной экономичности автотракторных дизелей показала, что основными факторами приживаемости расходомеров у диагностов являются: надежность и стабильность длительной работы; стойкость к загрязнениям в топливе; малая трудоемкость и удобство присоединения расходомера; отсутствие течи топлива в соединениях расходомерной установки.

Присоединение расходомеров (кроме весовых) к системе топливоподачи автотракторных дизелей для повышенной точности контроля требует перекрытия магистрали перепуска топлива из фильтра тонкой очистки (ФТО) и ТНВД в бак машины, т. к. измерение потока эмульсии в магистрали перепуска – сложная, требующая применения дегазаторов, так и не решенная задача. Например, попытки НАТИ учесть этот перепуск выливались в создание сложных стационарных установок, а в ЦОКТБ ГОСНИТИ эта попытка успеха не имела совсем. Во Франции и в других странах Европы для контроля расхода дизтоплива также неоднократно создавались сложные расходомерные установки с дегазаторами и охладителями, что неприемлемо для рядовой практики.

Закрытие магистрали перепуска создает дополнительную погрешность измерений расхода в напорной магистрали. Определить ее не удалось и, по оценкам, для практики диагностирования автотракторных дизелей ею можно пренебречь. Поэтому магистрали перепуска рекомендуется на время измерений расхода перекрывать. Решением учета перепуска топлива является его ввод в систему топливоподачи после фильтра грубой очистки топлива, а присоединение расходомеров – до него.

Разработка расходомеров моторного топлива продолжается как в России, так и в других странах. Например, для контроля расхода топлива СП «Технотон» выпускает расходомеры DFM.

Расходомеры топлива DFM подразделяются на следующие модели:

1) однокамерные (рис. 3.56) – измеряют объем топлива, протекающего по подающей топливной магистрали;

2) дифференциальные – измеряют расход топлива как разницу объемов топлива, протекающего по подающей и обратной топливным магистралям (дифференциальный расход).

DFM состоит из измерительной камеры кольцевого типа 1, верхней крышки 2 с находящейся внутри микропроцессорной платой, интерфейсного кабеля с разъемом подключения 3 и кронштейна 4.



Рис. 3.56. Расходомер топлива DFM:

1 – измерительная камера кольцевого типа; 2 – верхняя крышка с находящейся внутри микропроцессорной платой; 3 – интерфейсный кабель с разъемом подключения; 4 – кронштейн

Расходомер DFM относится к приборам прямого объемного измерения расхода топлива с измерительной камерой кольцевого типа.

Принцип работы DFM основан на измерении объема топлива, протекающего через измерительную камеру. Под давлением жидкости, поступающей через входной штуцер расходомера во входное отверстие измерительной камеры, кольцо катится по внутренней поверхности камеры и одновременно скользит вдоль перемычки. Кольцо циклически вытесняет жидкость из камеры через ее выходное отверстие в выходной штуцер (рис. 3.57).

За один оборот кольца вытесняется объем жидкости, равный объему камеры, а электронная плата DFM вырабатывает один выходной импульс.



Рис. 3.57. Схема работы измерительной камеры DFM

Установка датчиков DFM в зависимости от топливной системы осуществляется по следующим схемам:

1. Установка по схеме «на разрежение» предполагает установку расходомера на участке топливной системы, где протекание топлива осуществляется за счет разрежения, создаваемого топливным насосом низкого давления (ТННД) – помпой. Схема рекомендуется для установки на двигатель, имеющий ТНВД с механическим приводом плунжера.

Для установки (рис. 3.58) необходимо использовать участок топливопровода между фильтром грубой очистки и входом ТННД.

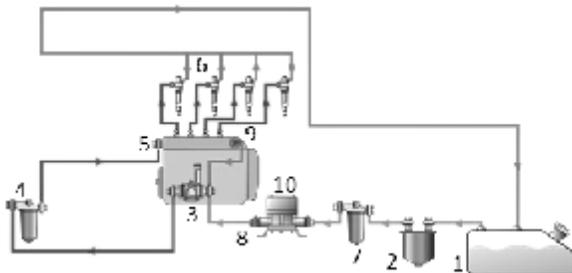


Рис. 3.58. Схема установки DFM «на разрежение»:

- 1 – топливный бак; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – ТННД (помпа) на ТНВД;
 4 – фильтр тонкой очистки; 5 – ТНВД; 6 – форсунки; 7 – дополнительный фильтр тонкой очистки; 8 – обратный клапан; 9 – перепускной клапан;
 10 – расходомер DFM

При исправной работе форсунок их обратка (перепуск излишнего топлива) составляет не более 0,1 % расхода топлива двигателем, поэтому ею можно пренебречь. Однако имеется значительный перепуск топлива из ФТО и ТНВД, которым пренебречь нельзя.

Для предотвращения измерения объема топлива, возвращаемого в бак, необходимо изменить схему обратного топливопровода. Для рассматриваемого случая обратку ТНВД необходимо изменить так, чтобы топливо циркулировало по малому кругу без участия топливного бака путем соединения обратки ТНВД с входом ТННД.

Достоинства схемы:

- минимальное вмешательство в топливную систему;
- простота установки;
- подходит для большинства двигателей.

Недостатки схемы:

- необходимость дополнительного фильтра тонкой очистки, что повышает стоимость установки;
- повышенная нагрузка на ТННД;
- топливо в баке не подогревается топливом из обратной магистрали (иногда требуется установка дополнительного подогревателя).

2. Установка по схеме «на давление» предполагает установку расходомера на участке топливной системы после ТНВД, где протекание топлива осуществляется под давлением. Схема рекомендуется для установки на двигатель, имеющий ТНВД с механическим приводом плунжера.

Для установки (рис. 3.59) необходимо использовать участок топливпровода между фильтром тонкой очистки и входом ТНВД.

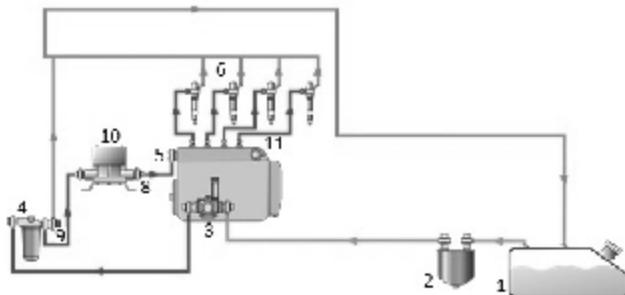


Рис. 3.59. Схема установки DFM «на давление»:

- 1 – топливный бак; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – помпа ТНВД;
4 – фильтр тонкой очистки; 5 – ТНВД; 6 – форсунки; 8 – обратный клапан;
9 – перепускной клапан; 10 – расходомер DFM; 11 – пробка

Обратку из форсунок и ТНВД нужно подавать на вход или на выход из ФТО. Перепуск топлива из ТНВД на короткое время можно перекрыть пробкой ТНВД, втулкой на штуцере магистрали перепуска.

Для нормальной работы измененной топливной системы требуется установить на входе фильтра тонкой очистки перепускной клапан, который будет поддерживать необходимое постоянное давление (1–1,5 атм) на участке «фильтр тонкой очистки–вход ТНВД» и перепускать излишнее топливо в бак. На выходе DFM установить обратный клапан на 0,1–0,35 атм., который предотвратит протекание топлива через DFM в обратном направлении, а также снизит воздействие гидроударов топливной системы на DFM.

Таким образом, нагнетаемые ТНВД излишки топлива будут сбрасываться обратно в топливный бак с входа фильтра тонкой очистки, а через расходомер DFM будет протекать только тот объем топлива, который расходует двигатель.

Достоинства схемы:

- DFМ устанавливается после штатного фильтра тонкой очистки;
- топливо проходит через DFМ под давлением, что уменьшает нагрузку на ТНВД;

- обратка может подогревать топливо в баке.

Недостатки схемы:

- незначительно ухудшается охлаждение ТНВД;
- температура обратки ниже, чем при штатной топливной схеме.

3. Установка по дифференциальной схеме. При дифференциальном измерении схема циркуляции топлива в топливной системе не изменяется. Подающая камера (на корпусе расходомера обозначена буквой *F*) дифференциального DFM устанавливается в разьединение подающей топливной магистрали двигателя. Обратная камера (обозначена буквой *R*) – в разьединение обратной перепускной магистрали. Расход топлива определяется как разница между измеренными значениями расхода в подающей и обратной камерах.

Частные случаи установки DFM по дифференциальной схеме:

1) в топливной системе двигателя с плунжерным ТНВД установка подающей камеры может производиться:

- в магистраль после ТНВД («на давление») (рис. 3.60);
- в магистраль до ТНВД («на разрежение»). Обязательна установка дополнительного фильтра тонкой очистки (рис. 3.61);

2) в топливной системе с насос-форсунками установка подающей камеры может производиться в магистраль после ТНВД («на давление») (рис. 3.62);

3) в топливной системе с Common Rail установка подающей камеры производится в магистраль до ТНВД («на разрежение»). Обязательна установка дополнительного фильтра тонкой очистки (рис. 3.63).

Обратная камера дифференциального DFM во всех случаях устанавливается на участке обратки «выход ТНВД–топливный бак».

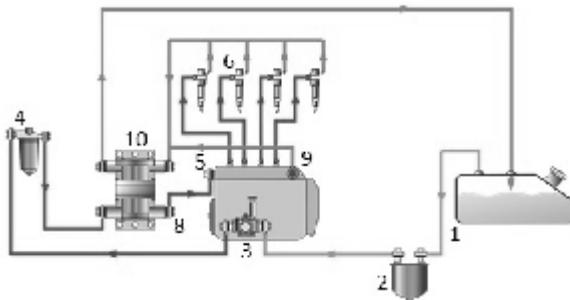


Рис. 3.60. Схема установки подающей камеры «на давление»
(в системе с плунжерным ТНВД):

- 1 – топливный бак; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – помпа ТНВД;
4 – фильтр тонкой очистки; 5 – ТНВД; 6 – форсунки; 8 – обратный клапан;
9 – перепускной клапан; 10 – расходомер DFM

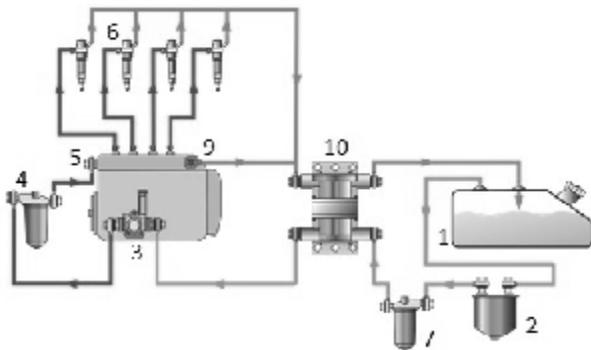


Рис. 3.61. Схема установки подающей камеры «на разрезание»
(в системе с плунжерным ТНВД):

1 – топливный бак; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – помпа ТНВД; 4 – фильтр тонкой очистки; 5 – ТНВД; 6 – форсунки; 7 – дополнительный фильтр тонкой очистки; 8 – обратный клапан; 9 – перепускной клапан; 10 – расходомер DFM

Достоинства схемы:

- отсутствие изменений в топливной системе;
- возможность установки на гарантийные двигатели.

Недостатки схемы:

- более высокая стоимость;
- более высокая погрешность измерения расхода топлива;
- повышение нагрузки на ТНВД за счет дополнительного фильтра тонкой очистки и DFM.

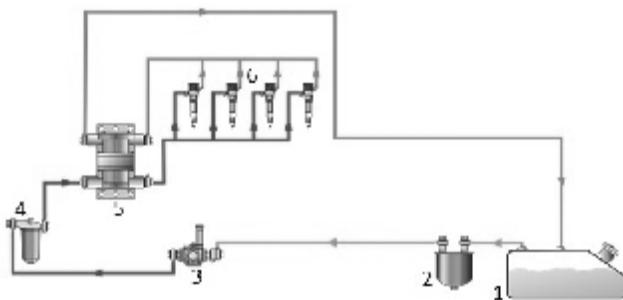


Рис. 3.62. Схема установки подающей камеры «на давление»
(в системе с насос-форсунками):

1 – топливный бак; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – ТНВД;
4 – фильтр тонкой очистки; 5 – расходомер DFM; 6 – насос-форсунки

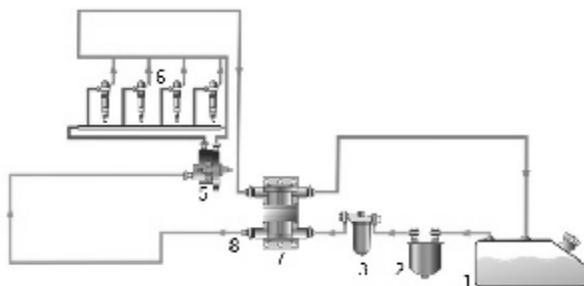


Рис. 3.63. Схема установки подающей камеры «на разрезание»
(в системе с Common Rail):

- 1 – топливный бак; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – фильтр тонкой очистки;
4 – ТНВД; 6 – форсунки; 7 – расходомер DFM

В связи с изложенными трудностями перспективным является контроль массового расхода моторного топлива с помощью прецизионного датчика давления, монтируемого на дне топливного бака машины. При этом исключается какая-либо механическая измерительная часть, без трудностей учитывается перепускаемое топливо, исключаются погрешности контроля с изменением плотности, сорта и температуры топлива, не требуются разборочно-сборочные работы для встраивания чего-либо в топливную магистраль любого ДВС. Контроль расхода топлива может быть непрерывным как в движении, так и при нахождении на стоянке, что реализовано с помощью значительно более сложных приборов.

Предпосылки для создания такого способа контроля известны давно. Так, в 60-х гг. английской фирмой «ФРУД» экспонировался расходомер с мерным цилиндром и датчиком давления на его дне. Такой прием контроля пытался реализовать в ГОСНИТИ кандидат технических наук В. В. Подкопаев. На подобный расходомер получили патент по собственной разработке сотрудники ЦОКТЬ ГОСНИТИ. На современном же уровне такой прием попытался реализовать доктор технических наук В. Э. Шалимов в патенте РФ № 2649044 на расходомер топлива для дизельных двигателей автотранспортных средств.

Комплект внешнего расходомера, представленный на рис. 3.64, имеет пеногасительную камеру к сливной магистрали, из которой топливо поступает в мерный цилиндр. Микропроцессорный прибор подключает четырехканальным электромагнитным клапаном сливную и подающую магистрали к мерному цилиндру. Измерение времени расходования 100 г навески топлива из мерного цилиндра

обеспечивает контроль расхода и работу топливной системы двигателя без воздушных пробок. Однако сложность такого комплекта ограничивает его стационарными условиями.

Для реализации универсального расходомера с датчиком давления на дне бака машины имеются и прецизионные датчики давления на 100 кПа, и микропроцессорная техника.

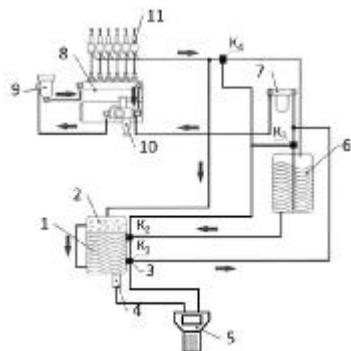


Рис. 3.64. Комплект средств расходомера топлива

для автотракторных дизелей по патенту РФ № 2649044:

- 1 – мерный цилиндр с пеногасительной камерой; 2, 3 – четырехканальные электромагнитные клапаны; 4 – датчик давления; 5 – микропроцессорный измеритель; 6 – топливный бак машины; 7, 9 топливные фильтры дизеля; 8 – ТИВД; 10 – топливоподкачивающий насос; 11 – форсунки дизеля

Измерению расхода топлива сопутствует контроль давления наддува от ТКР дизеля, что требует наличия манометра на 0,06 МПа. Взамен предложено пьезометрическое устройство КИ-13927-ГОСНИТИ для контроля разрежения и давления наддува с пределами измерения $-200 \dots +3000$ мм вод. ст. (0,03 МПа) (рис. 3.65).

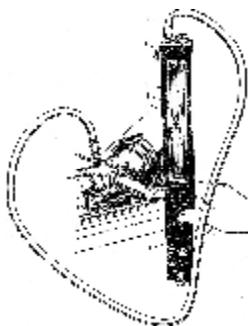


Рис. 3.65. Устройство КИ-13927-ГОСНИТИ для измерения давления наддува дизелей ТКР

Оценка дымности ОГ дизелей

Исследования ГОСНИТИ и ряда других научных учреждений позволили установить, что относительное увеличение дымности ОГ в эксплуатации дизелей удовлетворительно соответствует относительному увеличению удельного расхода топлива. В общем увеличении дымности можно определить значительную долю, соответствующую росту удельного расхода топлива из-за недогорания топлива и сажи, хотя она не только обуславливает дымность ОГ, но и откладывается нагаром в камере сгорания и в выпускном тракте.

Таким образом, ориентировочная оценка топливной экономичности дизелей по дымности ОГ в эксплуатации правомерна. В силу оперативности большего охвата парка машин и совмещения его с экологическим контролем этот метод может стать важным, что наблюдается за рубежом.

В настоящее время имеются портативные дымомеры (например, МЕТА-01 МП), с помощью которых дымность измеряется оперативнее.

Исходя из изложенного, следует подчеркнуть:

1. Расходомеры топлива автотракторных ДВС переменного перепада давления на сужающем устройстве – самые простые, достаточно надежные и точные при их низкой цене, поэтому для современной практики ТО МТП могут быть востребованы.

2. Нормативы расхода топлива современных автотракторных дизелей требуют уточнения с верхними допусками +5 % от номинальных значений для новых дизелей.

4. Топливо-экономические и мощностные показатели автотракторных дизелей достаточно контролировать по бестормозному методу В. И. Бельских, для чего созданы стационарные и переносные расходомеры серии КИ-8940-ГОСНИТИ.

5. Экспресс-оценку топливной экономичности автотракторных дизелей при их диагностировании и инспектировании МТП АПК возможно проводить по дымности ОГ, контролируемой в режиме свободного ускорения коленчатого вала дизелей.

6. Перспективен контроль массового расхода топлива автотракторных ДВС с помощью прецизионного датчика давления, монтируемого на дне топливного бака машин.

3.9. Методы и средства диагностирования цилиндرو-поршневой группы автотракторных ДВС

ЦПГ на 80 % определяет ресурс до первого ремонта ДВС. Для контроля состояния ЦПГ и определения ее остаточного ресурса

с целью поддержания его на должном уровне необходимо совершенствовать методы и средства диагностирования ЦПГ. В настоящее время эта потребность повысилась в связи с расширением так называемого безразборного ремонта ДВС.

В различных отраслях существует множество методов и средств диагностирования ЦПГ, но их авторы субъективны в оценке своих и чужих методов и средств технического диагностирования ЦПГ, не всегда учитывая отзывы и пожелания практиков.

Обширный анализ методов и средств технического диагностирования ЦПГ проведен сотрудниками Иркутского СХИ под руководством доктора технических наук, профессора И. П. Терских. Наиболее значимые из них приведены в табл. 3.14 в хронологической последовательности появления.

Таблица 3.14

Основные методы диагностирования ЦПГ ДВС

Измеряемый параметр	Особенности применения	Недостатки метода	Разрешающая способность*
1	2	3	4
1. Длительность прокрутки ДВС для запуска	Измеряется время от начала прокрутки дизеля до начала самостоятельной его работы	Метод качественный: летом длительность прокрутки мала, а зимой она меняется в связи с изменением температуры и вязкости моторного масла	—
2. Разрежение во впускном коллекторе бензинового ДВС	Присоединяют вакуумметр к впускному коллектору ДВС и при частоте вращения $n_{x \max}$ двигателя измеряют параметр	Обобщенная оценка состояния ЦПГ, ГРМ и воздухоподачи всего ДВС. Для ЦПГ малоинформативна	0,26

Продолжение таблицы 3.14

1	2	3	4
3. Расход масла на угар	Суммируют объемы доливок масла в ДВС и расход топлива за один период, относят расход масла к расходу топлива	Требуется период времени не менее полной рабочей смены	0,85–0,95
4. Дымность ОГ дизелей	Определяют цвет и оптическую плотность ОГ в различных условиях работы дизелей	Трудно объективно выявить интенсивность и оптическую плотность белого, голубого, синего, серого, черного дыма	–
5. Максимальное давление сжатия (компрессия)	Прочно присоединяют наконечник прибора к свечному/форсуночному	Трудоемок для многоцилиндровых дизелей; выявляет в сновном	0,30–0,53
в каждом цилиндре	отверстию в головке цилиндра	аварийные дефекты	
6. Расход газов, прорывающихся из кольцевого уплотнения поршня в картер ДВС	Прогревают дизель, устанавливают номинальную частоту вращения коленчатого вала (коленвала), определяют среднее значение и вариацию расхода	Обобщенная оценка состояния всех цилиндров. Требуется определенность параметров газов по составу, температуре и влажности	0,65–0,78

1	2	3	4
7. Давление газов в картере, скорость его нарастания	То же, измеряют давление газов до 1000 мм вод. ст., время или скорость его нарастания	То же. Высокая погрешность измерения малых давлений	–
8. Утечки воздуха из камеры сгорания через кольцевое уплотнение поршня и клапаны ГРМ	Подают под давлением 1,6 атм. воздух из пневмосети через прибор и измеряют перепад давления на диафрагме прибора	Информативен для дифференциальной оценки ЦПГ, ГРМ, уплотнений камер сгорания. Требуется источник сжатого воздуха	0,85–0,90
9. Амплитуда пульсаций давления газов в картере	Получают осциллограмму пульсаций давления при минимальной частоте вращения коленвала прогретого дизеля	Пригоден для низкооборотных судовых дизелей (частота вращения коленвала – 60–120 мин ⁻¹)	0,65
10. Концентрация в масле продуктов износа деталей ЦПГ	Индуктивными датчиками определяют концентрацию Fe, спектральным анализом – Al, Fe, Cr, а магнитными феррографами – количество и фракционный состав частиц износа	Индуктивный метод малочувствителен; спектральные установки дороги; феррографы в России не производятся	0,30 0,9–0,96 0,90

1	2	3	4
11. Температура газов в камере сжатия на такте сжатия	Измеряют импульсы температур в камере сжатия при прокрутке коленвала ДВС	Трудоемок. Необходима импульсная термоизмерительная аппаратура	Не распространен
12. Соотношение C_xH_y , O_2 , CO_2 и N_2 в ОГ и в картерных газах	Определяют концентрации в картерных газах C_xH_y , O_2 , CO_2 , N_2 и сравнивают их с концентрациями этих газов в ОГ и в воздухе	Требуется сложная газоаналитическая аппаратура. Метод за рамки исследований не вышел	То же
13. Виброакустический параметр	Требуется виброизмерительная аппаратура с индивидуальной частотной и фазовой селекцией вибросигналов	Большие помехи измеряемому вибросигналу от ударных пересопряжений других деталей	0,3–0,5
14. Вакуум в цилиндрах полный	Операции аналогичны контролю компрессии	Трудоемки для многоцилиндровых дизелей	0,6 для ГРМ и гильз
15. Вакуум в цилиндрах остаточный			0,7 для колец
16. Радиоактивность продуктов изнашивания ЦПГ	В моторном масле измеряется радиоактивное излучение изотопов металлов вставок в деталях ДВС или деталей после их нейтронной активации	Требуется специальная аппаратура регистрации и детектирования излучений и особые меры предосторожности	0,90

*Величины отношений пределов изменения диагностических параметров к их предельным (браковочным) значениям.

В табл. 3.15 отражена информативность диагностических параметров ЦПГ различных дизелей, по данным кандидата технических наук И. Н. Аринина.

Таблица 3.15

Информативность диагностических параметров ЦПГ дизелей

Диагностические параметры автотракторных дизелей	Относительное изменение в эксплуатации		Кoeffи- циент информа- тивности
	минималь- ное	максималь- ное	
Угар моторного масла к расходу топлива для обобщенной оценки изношенности ЦПГ всего дизеля, %	0,05	2–5	0,945
Расход картерных газов, л/мин	10	180	0,704
Утечка воздуха из цилиндров, %	10	85	0,706
Компрессия в цилиндрах, кгс/см ²	15	36	0,303
Длительность прокрутки при пуске, с	3	60	–
Дымность ОГ, %	15	100	–
Изменение мощности дизеля, %	85	110	0,06

По многим методам и средствам диагностирования ЦПГ накоплен большой исследовательский и практический опыт с оценками практиков.

Новым методом является установка свечей накаливания с датчиками давления в цилиндре. Примером служат высокотехнологичные свечи BERU 0103010907 для автомобилей OPEL.

На разрежение во впускном тракте бензиновых ДВС наибольшее влияние оказывает не износ ЦПГ, а состав рабочей смеси, угол опережения зажигания, тепловые зазоры ГРМ, дефекты сопряжения «клапан–седло», износ направляющих втулок, когда разрежение может уменьшиться на 60 %. В связи с этим диагностирование дизелей по разрежению во впускном тракте не применялось, но развивался контроль разрежения в цилиндрах приборами типа КИ-5315-ГОСНИТИ.

Учет расхода масла на угар, как показывают исследования и эксплуатационная проверка, является весьма надежными методом и подлежит всеобщему применению.

По результатам наблюдений за группой тракторов «Беларус» в течение 6 лет (наработка 6–7 тыс. ч на один трактор) установлена зависимость расхода масла на угар от наработки T дизеля, ч:

$$g_m = 0,34 + 0,27T. \quad (3.10)$$

В условиях Нечерноземной зоны угар масла дизелей при наработке 2 тыс. ч не превышал 1,2 %, при 5,5 тыс. – достигал 2,5 %, а при 6 тыс. ч – 2,8 %. Для этих дизелей при угаре 3 % дальнейший его рост ускорялся и в отдельных случаях удваивался за несколько десятков часов. Минский моторный завод (МТЗ) рекомендовал замену поршневых колец дизелей при расходе масла на угар в 2,5 % от расхода топлива. По исследованиям ГОСНИТИ, угар масла достигает 5 % (рис. 3.66).

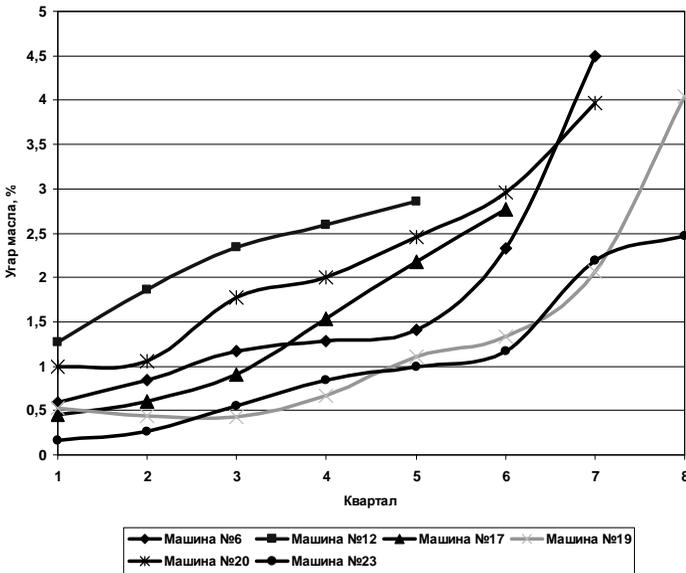


Рис. 3.66. Примеры нарастания угара моторного масла дизелей 8ДМ-21А автосамосвалов БелАЗ (дизель автосамосвала № 23 – новый, остальные – отремонтированные)

Угар моторного масла в течение 7 лет служил надежным диагностическим параметром для определения сроков переборки различных ДВС, в т. ч. дизелей карьерных автосамосвалов (до 6 %), грузовых автомобилей (до 3 %), дорожно-строительных машин (до 4 %), пассажирского и легкового автотранспорта (до 6 %).

При измерении *максимального давления сжатия* популярны компрессиметры и компрессографы для бензиновых ДВС, где степень сжатия невысока, а стартерный пуск резко сокращает трудоемкость

контроля. Но невысокая разрешающая способность метода и трудоемкость контроля ЦПГ дизелей представляют скорее исследовательский интерес к методу, а практики обходятся качественными органолептическими методами.

Нормативами ГОСНИТИ 60–70-х гг. предельное значение компрессии для дизелей составляло 2,157 МПа. Но, по данным профессора ЧГАУ А. К. Ольховацкого, в дизеле ЯМЗ-240Б, для которого был удачно проведен безразборный ремонт, среднее давление компрессии составляло 1,83 МПа, а, по данным профессора МГАУ В. А. Чечета, такому же ремонту поддавались дизели с компрессией 1,67 МПа, поэтому были уточнены предельные и номинальные значения компрессии, соответствующие данным ГосавтотрансНИИпроект, МГАУ и ГНУ ВИМ, по которым максимальные величины составляют 3,53–4,0 МПа.

Для обоснования предельных величин использована зависимость компрессии P_k в ДВС от степени сжатия ϵ и доли утечек воздуха ΔQ_v из камеры сжатия (КС) при адиабатическом сжатии двухатомных газов и воздуха, приведенная И. П. Терских:

$$P_k = P_a \epsilon^{\eta^1} (1 - \Delta Q_v)^{\eta^1}, \quad (3.11)$$

где P_a – давление в конце такта впуска в КС, $P_a = 83,35\text{--}94,14$ кПа;
 η^1 – показатель политропы сжатия на пусковых оборотах дизеля, $\eta^1 = 1,32$;

ΔQ_v – доля утечек из КС (по данным НАТИ, предельное значение – 35 %, а номинальное – 5 %).

Уравнению предельной величины компрессии придан вид:

$$P_{\text{мин}} = 0,93 \epsilon^{1,32} (1 - 0,50)^{1,32} = 0,3999 \epsilon^{1,32}, \quad (3.12)$$

а результаты расчетов нормативов компрессии приведены в табл. 3.16.

Таблица 3.16

Нормативы компрессии для ЦПГ автотракторных ДВС

Давление сжатия в цилиндрах	Абсолютное давление на впуске, атм.	Значения компрессии, МПа, в зависимости от степени сжатия						
		8	9,0	9,5	13,5	16	16,5	17
Минимальное (предельное)	0,93; утечки 50 %	0,62	0,73	0,78	1,24	1,55	1,62	1,68

Давление сжатия в цилиндрах	Абсолютное давление на впуске, атм	Значения компрессии, МПа, в зависимости от степени сжатия						
		8	9,0	9,5	13,5	16	16,5	17
Допускаемое	0,97; утечки 35 %	0,88	1,03	1,11	1,76	2,20	2,29	2,38
Максимальное (номинальное)	0,985; утечки 5 %	1,45	1,70	1,83	2,90	3,63	3,78	3,93
Двигатели	–	ДВС ВАЗ и другие бензиновые			Транспортные дизели	Д-243, Д-245, Д-260	ЯМЗ	Ка-МАЗ-740

Самый распространенный метод диагностирования ЦПГ – *контроль расхода картерных газов*, исследованный в работе [11], а в конце 60-х гг. развитый в ГОСНИТИ с прибором КИ-4887-II (рис. 3.67).

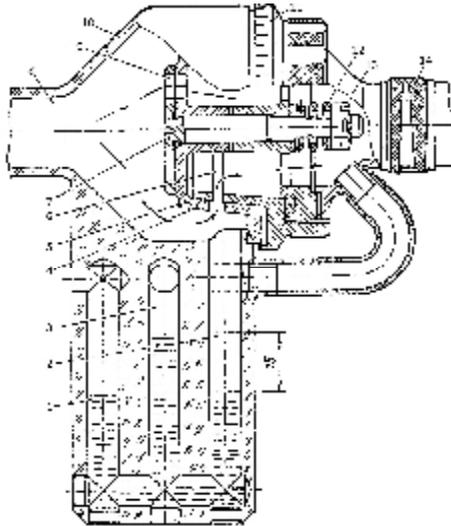


Рис. 3.67. Индикатор расхода картерных газов КИ-4887-II-ГОСНИТИ:
1–3 – каналы пьезометра; 4–6, 14 – детали дросселей; 7, 8, 13 – детали впуска-выпуска газов; 9 – дополнительное калиброванное отверстие; 10 – корпус; 11 – шкала

Далее были разработаны методы диагностирования элементов КС и индикатор КИ-4887-II-ГОСНИТИ (а. с. РФ № 253417, 282715 и 282716). Однако из-за необходимости применения для отсоса газов тяжелой для передвижной диагностической установки КИ-4270-ГОСНИТИ компрессорно-вакуумной станции КИ-13907-ГОСНИТИ и сложной процедуры оперирования с дизелем и двумя дросселями прибор КИ-4887-II-ГОСНИТИ и компрессорно-вакуумная установка были отвергнуты диагностами. Последняя, вызывавшая поломки днища автомобиля УАЗ-456 передвижной установки КИ-4270-ГОСНИТИ, и сам прибор КИ-4887-II-ГОСНИТИ к концу 70-х гг. были сняты с производства, а метод обобщенного контроля ЦПГ оказался не обеспечен. В конце 70-х гг. была начата разработка простого портативного индикатора расхода газов.

Метод контроля состояния ЦПГ *по давлению газов в камере* научно апробирован для контроля обкатки дизелей Д-21 в ЛСХИ и дизелей СМД-60/62 на харьковском ПО «Серп и молот». Метод считался некорректным из-за трудности измерения малых давлений газов (до 60 Па для дизеля Д-21 и до 220 Па для дизелей СМД-60/62 – по данным ЛСХИ; до 600 Па – по данным ЧТЗ), а в особенности из-за неопределенности, как и при контроле расхода картерных газов, условий их контроля, состава, температуры, плотности и влажности картерных газов.

Картерные газы при изношенной ЦПГ могут содержать и пары масел и топлива, а температура газов может варьироваться от температуры масла и охлаждающей жидкости ДВС до температуры деталей ЦПГ. Так, на выходе из картера дизеля Д-243 температура газов при заводских и контрольных испытаниях индикатора расхода газов КИ-13671-ГОСНИТИ составляла 65–150 °С. Доказательством сложности состава картерных газов служат и следующие обобщенные результаты испытаний [30, 36]:

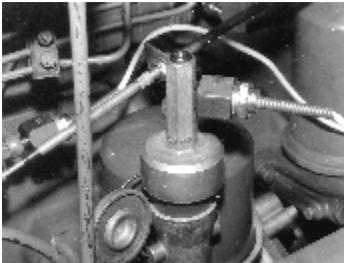
– прозрачный сигнализатор давления газов в первых моделях индикатора КИ-13671-ГОСНИТИ быстро запотевал от конденсации паров воды и моторного масла;

– при подаче потока картерных газов из дизеля Д-243 последовательно через три прибора (ротаметр РЭ-0,025, термоанемометр, индикатор КИ-13671-ГОСНИТИ) каждый последующий показывал меньшие значения;

– при неоднократной проверке индикаторов КИ-4887-II-ГОСНИТИ в них обнаруживалось до 5 мл воды;

– при подаче картерных газов в одних и тех же непрерывных условиях измерения, но без ресивера и через 100-литровый ресивер их выход из ресивера уменьшался вдвое. Все это потребовало более корректного подхода к разработке нового индикатора расхода газов.

Контроль давления газов в картерном пространстве автотракторных дизелей проводился с помощью установки ДИПС КИ-13940-ГОСНИТИ с двумя типами переходных устройств к датчику давления ИПД-2-0,06: в первых исследованиях – контроль давления в герметичном картере дизелей, а позже – перед сужающим устройством (рис. 3.68).



а



б

Рис. 3.68. Контроль давления картерных газов с помощью ДИПС КИ-13940-ГОСНИТИ: *а* – контроль установившегося давления перед диафрагмой; *б* – контроль величины давления через заданное время или скорости нарастания давления в загерметизированном картере

В первом варианте контроля (*а*) измерялось нарастание давления газов за 10 с, но имелись случаи протечки масла из заднего коренного подшипника дизеля, поэтому был сделан переход к контролю меньшего по величине давления перед диафрагмой (*б*). Диафрагмы (табл. 3.17) были взяты в соответствии с данными лаборатории диагностики УкрГОСНИТИ (использованы в диагностической автоматизированной установке «Урожай-1Т»).

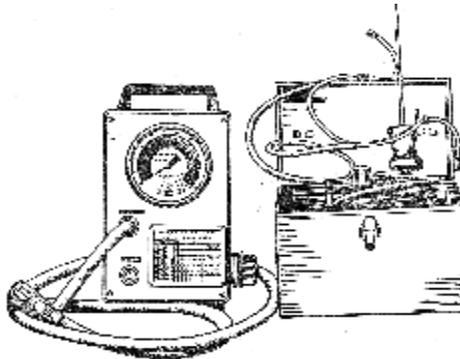
Таблица 3.17

Данные ВНИИВИД для измерения давления картерных газов системами «Урожай-1Т», КИ-13940-ГОСНИТИ и АМТ КИ-13950-ГОСНИТИ

Номер диафрагмы	Диаметр, мм	Марка дизеля	Давление перед диафрагмой, кПа*	
			допускаемое ориентировочное	предельное
1	5,1	ЯМЗ-240Б	15	25
2	4,8	СМД-60, СМД-62	15	20
3	4,4	ЯМЗ-238НБ	20	35
3	4,4	А-41	15	25
4	3,5	СМД-14А	14	23
4	3,5	Д-242, Д-243	14	23

*Номинальное значение – 5,0 кПа.

По методу определения *утечки воздуха из камеры сгорания* хорошие отзывы получили пневмокалибратор К-69М Новгородского завода «ГАРО» и его модернизация – прибор К-272М (рис. 3.69, 3.70). Приборы позволяли выявить на неработоспособном ДВС дефекты поршневых колец, прогары поршней и клапанов, неплотности прокладок головок цилиндров и другие дефекты. Разрешающая способность метода и приборов К-69 (К-69М) Ленфилиала НИИАТ высока, но требуется источник сжатого воздуха.



a

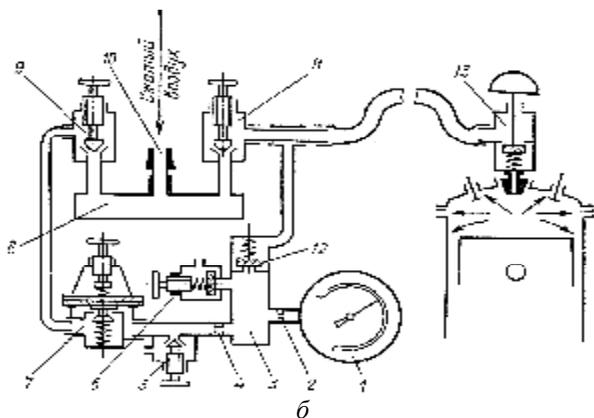


Рис. 3.69. Прибор Ленфилиала НИИАТ:

а – внешний вид; б – схема:

- 1 – манометр, проградуированный в процентах величины расхода воздуха из прибора (при давлении 0,16 МПа показания 0 %, при давлении 0 МПа расход 100 %);
 2, 4 – диафрагмы; 3 – демпферная камера; 5 – регулировочная игла; 6 – регулируемый предохранительный клапан; 7 – редуктор для снижения давления воздуха из пневмосети до диагностического 0,16 МПа; 8 – демпферная камера; 9 – вентиль канала диагностирования; 10 – впускной штуцер; 11 – вентиль канала продувки и прослушивания мест утечек воздуха из камеры сгорания; 12 – нерегулируемый предохранительный клапан; 13 – рукоятка с краном для подачи воздуха в свечное/форсуночное отверстие головки цилиндров ДВС

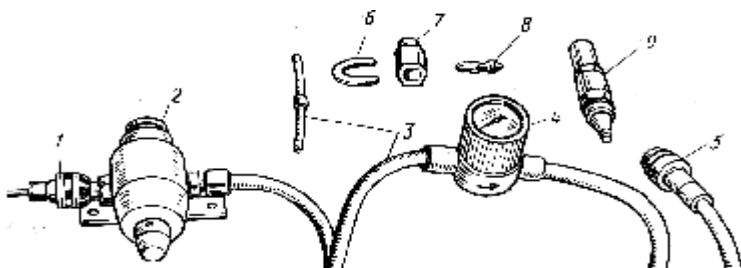


Рис. 3.70. Прибор К-272 как модификация прибора К-69М:

- 1, 5 – присоединительные муфты; 2 – блок питания (редуктор давления и фильтр тонкой очистки воздуха); 3 – воздуховоды; 4 – манометр;
 6, 7, 9 – принадлежности; 8 – калибровочный дроссель

Упрощенный вариант этого пневмотестера – прибор К-272 – производился Новгородским заводом «ГАРО». В настоящее время он может быть заменен приборами ПТ-1 New. Метод может быть

рекомендован к широкому применению, когда сжатый воздух получают из пневмосистем машин, что и реализовано на практике.

Метод *контроля амплитуд давления газов в картере ДВС* обусловлен их импульсным прорывом из КС в картерное пространство на тактах сжатия и рабочего хода поршня ДВС. Для тепловозных тихоходных дизелей с небольшим газодинамическим фоном в картере этот метод защищен десятком авторских свидетельств СССР и зарубежными патентами.

В ЛСХИ пульсации давления картерных газов исследованы с помощью специально созданного электронного прибора. Импульсы давления газов в картерном пространстве воспринимались емкостным датчиком, а регистрация давления производилась на шлейфный или электронно-лучевой осциллограф или индикатор. Для идентификации импульсов по принадлежности к какому-либо цилиндру на осциллографической ленте регистрировали отметки ВМТ цилиндров.

Однако импульсы давления картерных газов величиной 10–200 Па надежно выявляются только на тихоходных судовых дизелях, где возможно достоверное фазовое выделение полезного сигнала из интенсивного газодинамического фона в картере. Для средне- и высокооборотных ДВС метод непригоден из-за высокого газодинамического фона в картере (чередуются амплитуды ударного давления газов от возвратно-поступательно движущихся поршней). Данный метод для автотракторных ДВС предлагалось реализовать в режиме их прокрутки стартером или пусковым ДВС, если подавать сигнал с микрофона в картерном пространстве на измеритель через фильтр с полосой пропускания 1–2 Гц для регистрации только колебаний давления газов без шума в картере.

Концентрация в масле продуктов износа деталей ЦПГ определяется путем анализа проб моторного масла на наличие частиц металлов – продуктов износа. Использование индуктивных датчиков в протоке масла в главной масляной магистрали тракторных дизелей при их обкатке исследовалось в ГОСНИТИ в 60-х годах. Из-за слабой измерительной базы того времени и потому малой чувствительности метод развития не получил.

Спектральный анализ моторных масел для определения содержания продуктов изнашивания ДВС является высокочувствительным методом раннего предупреждения о повышении интенсивности, а главное, в отличие от других, – методом выявления причин

повышенного изнашивания деталей, в т. ч. ЦПГ. Однако он требует наличия спектральной установки, которая при обслуживании более 50 энергонасыщенных машин окупает себя за один сезон.

Зарубежными феррографами визуально определяются количество и распределение по размеру ферромагнитных частиц в следе стекания пробы масла по наклонной прозрачной пластине. Феррографы дополняют спектральный анализ масел, позволяют выявить крупные частицы аварийного изнашивания, что не осуществляется спектральными установками. Так, в установках МФС-7М, МФС-10 и ДФС-500, где в электрической дуге сжигается прилипшее к кварцевому диску масло, в анализ попадают частицы не более 20 мкм.

В связи с этим является актуальной разработка и освоение производства простых феррографов, которые при отсутствии спектральных установок могли бы широко использоваться для экспресс-анализа работавших масел.

Виброакустический метод интенсивно изучался во многих НИИ (авиации, морского флота и др.), а также в вузах. На кафедрах ДВС и ЭМТП ЛСХИ под руководством и при участии профессоров А. В. Николаенко, Н. С. Ждановского и В. А. Аллилуева метод исследован приборами ЭМДП-2, ЭМДП-М с вибродатчиками ИС-313А, а также диагностическим комплексом К-736.

Повторные исследования вибродиагностики ЦПГ были проведены в ГОСНИТИ. Однако при контроле виброимпульсов в полосе 29–32 кГц с датчиков Д-14 на головках болтов крышек блоков цилиндров многих тракторных дизелей комплексом К-736 ленинградского ВНИИЭП (в составе установки КИ-13940-ГОСНИТИ), комплексом К-539 киевского ПО «Точэлектроприбор» (в составе АМТ КИ-13950-ГОСНИТИ) оказалось, что слабые сигналы ЦПГ были скрыты мощными сигналами от процессов сгорания и выпуска, ударов в газораспределительном механизме и форсунках. В современных дизелях с малыми зазорами «поршень–гильза» эти вибросигналы без тщательной частотной и фазовой селекции недоступны в еще большей мере.

В литературе известны идентичные описания органолептического диагностирования ЦПГ по стукам при перекладке поршня в верхней мертвой точке и шумам его колец. Возможно, такой прием оправдывал себя на первых ДВС с большими зазорами в ЦПГ. Практика обслуживания современных автотракторных дизелей не дает оснований

для такой проверки. В 6-, 8- и 12-цилиндровых дизелях сильные вибросигналы порождают удары 12–48 клапанов, 6–12 форсунок, 4–5 шестерен. Удары от перекадки поршней при малых зазорах с гильзами, с масляной прослойкой в их сопряжении в современных ДВС на слух и с помощью стетоскопов практически не слышны.

В целом инструментальная виброакустическая диагностика ЦПГ ДВС, требующая соответствующих вибродатчиков, избирательной микропроцессорной частотной и фазовой селекции вибросигналов, дополнительных трудоемких исследований, дорогих приборов, затрудненной доступностью к оптимальным точкам контроля, на современном этапе состояния инженерной службы АПК имеет ограниченное применение.

Определение *полного и остаточного вакуума в цилиндрах* – новые вакуумные методы контроля разрежения в КС, возникающего при прокрутке коленчатого вала ДВС с последовательной работой атмосферного и вакуумного клапанов приборов типа КИ-5973-ГОСНИТИ.

Методы используются с 90-х гг. профессором МГАУ В. А. Четом с более совершенным, разработанным им же прибором КИ-5973-ГОСНИТИ.

Методы и последний прибор оправдали себя полностью, широко распространены среди практиков по безразборному ремонту ДВС (изготовлено более 3000 шт.).

Установлено, что диагностирование ЦПГ необходимо, когда выявлены: значительная наработка ДВС; снижение мощности дизеля и трудность его пуска; повышенный угар масла и ярко-синий цвет ОГ; большой расход картерных газов; выброс из сапуна, из маслозаливной горловины паров и брызг масла; выброс масла в выпускную трубу; наличие масла на поршне, в ТКР, во впускном коллекторе; блестящие металлы в срезе осадка в центробежном маслоочистителе и на маслофильтрах; повышенное загрязнение маслом воздушного фильтра; ускоренное старение масла и его шлам на деталях ДВС; появление ненормальных стуков и шумов в ЦПГ; замасливание, закоксовывание свечей зажигания или форсунок; бело-голубой дым (не все топливо загорается из-за пониженных компрессии и температуры сжатого воздуха); повышенный удельный расход топлива.

Конечной цели не достигает определение износного состояния ЦПГ без выявления возможных дефектов поршня (прогар), поршневых колец (износ, закоксовывание, залегание, поломки), гильз цилиндров (износ, овальность, прогары), клапанов ГРМ (износ, сколы, трещины, коррозия и прогар фасок, ослабление вставок в

гнездах, неполное закрытие из-за отсутствия тепловых зазоров), трещин в головках и гильзах цилиндров, прогара прокладок и других возможных неисправностей.

Таким образом, необходимо проверять все элементы ЦПГ и КС, а также картерное масло по информативной «капельной пробе». Следует принимать во внимание наличие над поршнем таких лежуплотнителей, как масло, вода, топливо, иначе результаты контроля будут некорректными. Сопоставление результатов контроля пневмоплотности сухих цилиндров и после вливания в них 50 мл масла (другой вариант: вначале замасленных цилиндров, а затем их же после удаления масла, например, продувкой воздухом) позволяет уточнить состояние ЦПГ и ГРМ.

Состояние ЦПГ существенно зависит от закоксованности колец. Оценка их изношенности и уплотняющей способности без раскоксовывания ЦПГ при длительной наработке ДВС зачастую оказывается недостоверной. Поэтому во всех рекомендациях ГОСНИТИ по диагностированию ЦПГ указано, что трактор должен отработать полную смену на вспашке, чтобы в длительном нагруженном и тепловом режиме выжечь нагар и кокс в ЦПГ, и только после этого трактор ставится на техническое диагностирование. В последние годы раскоксовывание ЦПГ облегчено благодаря выпуску промывочных масел ВНИИ НП, препаратов (например, «Лавр» МЛ-202 и многие другие зарубежного производства).

Для расширяющейся практики безразборного ремонта ДВС трибосоствами нужно в первую очередь убедиться в безаварийном состоянии ЦПГ, поэтому значимость раскоксовывания усиливается. Необходимо обеспечить максимальную пневмоплотность, которую могут дать кольца, освобожденные от залегания, закоксованности, защемления в канавках поршня, что происходит при длительной малонагруженной работе машин. Как показал анализ практики безразборного ремонта, если после раскоксовывания параметры ЦПГ улучшились, то ЦПГ безаварийна, и РВС-обработка будет эффективна. Если параметры не изменились, то целесообразно проверить герметичность клапанов ГРМ, если ухудшились – возможна поломка колец, поэтому РВС-обработку до ревизии ЦПГ проводить не следует. Только после раскоксовывания ЦПГ результаты диагностирования соответствуют истинной ее изношенности, а значит, можно определить потребность и вид ее ремонта.

Проведенные ГОСНИТИ исследования и испытания различных автотракторных ДВС показали, что достаточно достоверными,

нетрудоемкими и доступными методами обобщенного контроля изношенности и темпов изнашивания ЦПГ являются расход масла на угар и расход картерных газов.

Анализом результатов измерений утечек воздуха из КС дизеля Д-243, выполненных ГОСНИТИ, подтверждено, что для точного диагноза кольцевого уплотнения поршня пневмокалибраторами К-69М или К-272 необходимо выдувать масло из сопряжений колец, поршня и гильзы – точность диагноза становится идеальной. Стандартное применение этих приборов без продувки несколько дискредитировало пневмотестирование нестабильностью показаний приборов и необходимостью сжатого воздуха.

По приблизительной оценке, разрешающая способность пневмотестирования находится на уровне 0,85, но не учитывается попутное выявление неисправностей всех элементов КС, что недостижимо другими методами. В качестве подтверждения на рис. 3.71 приведено графическое сравнение основных методов диагностирования, составленное по результатам форсированных износных испытаний двигателя ЗИЛ в МАДИ. Данные графика подтверждают пригодность угара масла и расхода картерных газов для реализации в диагностировании автотракторных дизелей.

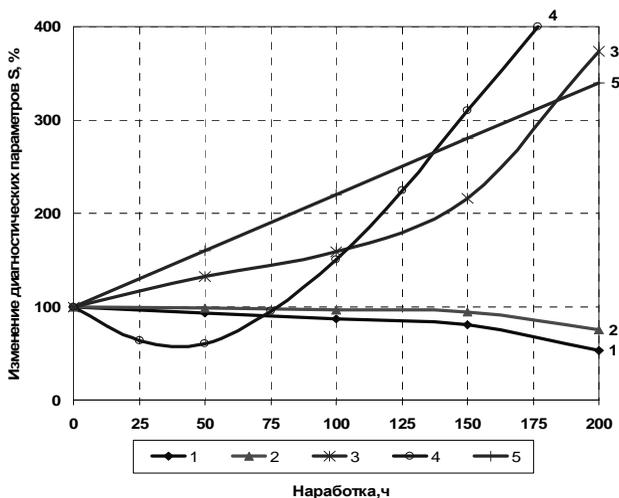


Рис. 3.71. Изменение параметров ЦПГ по наработке ДВС при форсированных износных испытаниях:

- 1 – компрессия; 2 – разрежение во впускном тракте; 3 – прорыв газов в картер;
- 4 – угар масла; 5 – утечка сжатого воздуха при положении поршня в ВМТ

После снятия с производства индикатора КИ-4887-II-ГОСНИТИ для оснащения служб диагностики АПК возникла задача разработки более практичного индикатора. В Целинном филиале ГОСНИТИ был предложен макет прямоточного дроссельного индикатора с поршеньковым сигнализатором давления газов.

Для устранения выявленных недостатков макета индикатора ГОСНИТИ совместно с Целинным филиалом ГОСНИТИ составил ТЗ на корректный индикатор, провел заводские и приемочные испытания. Результатом разработки стал индикатор КИ-13671-ГОСНИТИ (рис. 3.72, *а* и *б*), параметры которого приведены в табл. 3.18.

Согласно исследованиям ТФ ЦОКТБ ГОСНИТИ по сумме показателей (востребованность, удобство применения, ценность и достоверность диагностической информации) индикатор КИ-13671-ГОСНИТИ из 30 средств во всех диагностических комплектах ГОСНИТИ поставлен на третье место (после дроссель-расходомера ДР-70 и прибора электроизмерительного комбинированного Ц-4324).

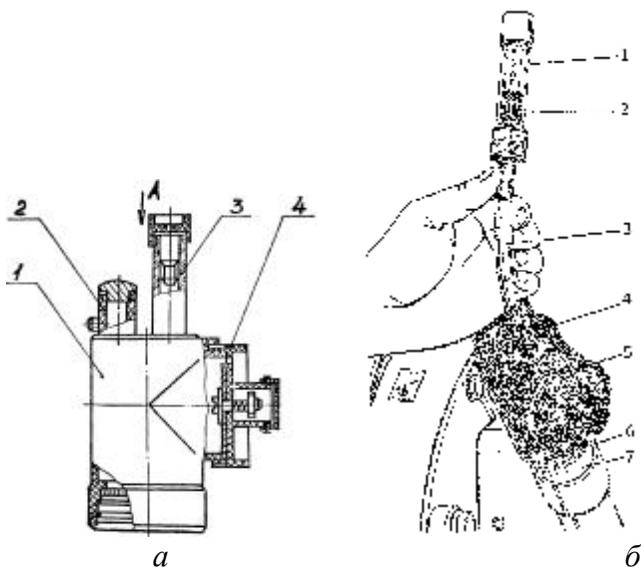


Рис. 3.72. Индикатор КИ-13671-ГОСНИТИ:
а – схема; *б* – вид в работе на дизеле Д-243 на тракторе «Беларус-80»;
 1 – корпус; 2 – дополнительное отверстие на 100 л/мин; 3 – сигнализатор;
 4 – дроссель со шкалой расхода

Характеристика индикатора расхода газов КИ-13671-ГОСНИТИ

Параметр	Значение
1. Пределы измерения, л/мин	30–160
2. Цена деления шкалы расхода, л/мин	5
3. Предел допускаемой основной приведенной погрешности, %	5
4. Давление газов перед дроссельной щелью, мм вод. ст.	16
5. Габаритные размеры, мм	115×75×90
6. Масса, кг, не более:	
– в исполнении со стальным корпусом	0,7
– в исполнении с алюминиевым корпусом	0,4
– в исполнении с пластмассовым корпусом	0,25
7. Принадлежности: комплект конических втулок-переходников и конических пробок из пластмассы в количестве, шт.	6
8. Габариты футляра, мм	150×200×80
9. Полная масса, кг, не более	1,75

По сравнению с индикатором КИ-4887-П-ГОСНИТИ габариты и масса индикатора КИ-13671-ГОСНИТИ меньше соответственно в 1,5 и 10 раз при примерно равных возможностях и с несколько меньшей погрешностью измерений. Трудоемкость измерения сократилась в несколько раз до 2–3 мин, визуально определялось среднее значение расхода.

После дальнейших испытаний и доработок по ТЗ ГОСНИТИ индикатор вместо стального корпуса вначале получил корпус из алюминиевого сплава, затем из полистирола, а также сетчатый фильтр перед цилиндром сигнализатора, уплотнительное кольцо в основании корпуса, геометрически правильную дроссельную щель. Переходники для вертикальной установки индикатора впоследствии были исключены и заменены пластмассовой трубкой – удлинителем к сигнализатору давления, защищая его от паров масла и воды, которая позволяла устанавливать сигнализатор в вертикальное положение. До перехода на полистирол внутренность корпуса прибора для предотвращения конденсации влаги покрывали пленкой солидола.

В связи с ограниченным пределом измерений дроссельной щели на крышку индикатора ввели 4 цилиндра с пробками так, чтобы открытие каждой увеличивало диапазон измерений на 100 л/мин. Испытания индикатора показали, что для диагностирования дизелей ряда маломощных достаточно одного дополнительного отверстия с общим диапазоном расхода 260 л/мин.

К индикатору КИ-13671-ГОСНИТИ в составе автоматизированных средств диагностирования было разработано несколько модификаций (рис. 3.73).

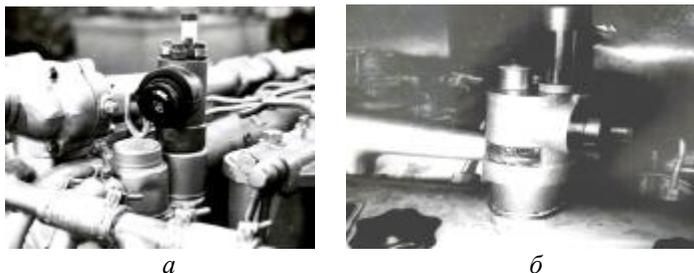


Рис. 3.73. Индикаторы КИ-13671.01-ГОСНИТИ:
а – для ДИПС КИ-13940-ГОСНИТИ; б – для АМТ КИ-13950-ГОСНИТИ

Прибор КИ-13671.01-ГОСНИТИ с потенциометром ПТП-21К к автоматизированным установкам ДИПС и АМТ имел 4 дополнительные отверстия и угловое присоединительное устройство для вертикальной установки индикатора.

Основные характеристики индикатора для автоматизированных установок:

- пределы измерений 1-го диапазона – 30–160 л/мин, 2-го – 130–260 л/мин;
- габаритные размеры – 115×75×190 мм;
- масса – 1,3 кг.

Высокая приведенная погрешность индикатора КИ-13671-ГОСНИТИ (6,5 %), объективно обоснованная при ведомственных приемочных испытаниях, невозможность включения индикатора в Госреестр средств измерений побудили выявить возможности совершенствования индикатора. Главным образом – расширить диапазон расхода на одном сужающем устройстве с постоянством коэффициента истечения C , что было невозможно в конструкции индикатора КИ-13671-ГОСНИТИ, где дуговая дроссельная щель имела максимальный угол раскрытия 170°, увеличить который

было нельзя. Увеличение ширины достаточно большой щели на 1,5 мм нарушало требование расходомерии, устанавливало нестабильность потока, т. к. из турбулентного, требуемого по правилам расходомерии, поток становился ламинарным, что снижало коэффициент Re и точность соответствия расхода перепаду давления.

В результате дальнейшего совершенствования конструкции с учетом выявленных недостатков была предложена и поставлена на производство серийная конструкция индикатора расхода картерных газов КИ-17999-ГОСНИТИ, которая защищена а. с. № 1763928 (рис. 3.74, табл. 3.19).



Рис. 3.74. Серийная конструкция индикатора расхода картерных газов КИ-17999-ГОСНИТИ в соответствии с а. с. СССР № 1763928

Таблица 3.19

Техническая характеристика индикатора КИ-17999-ГОСНИТИ

Параметр	Значение
Диапазон измерения расхода на одном обороте крышки индикатора, л/мин	20–260
Предел основной допускаемой приведенной погрешности, %	± 3
Нормативное давление газов перед кольцевой щелью, мм вод. ст	16
Габаритные размеры, мм	86×221
Размеры в рабочем положении на дизеле, мм, не более	100×250
Масса индикатора, кг, не более	1,0
Масса с принадлежностями, кг, не более	1,5
Наработка на отказ, ч, не менее	500
Контролируемые дизели	ЯМЗ, КамАЗ, ММЗ

Для обоснования комплекса нормативов расхода картерных газов как наиболее оперативного ресурсного параметра ЦПГ ДВС проведено исследование зависимости расхода от эффективной мощности авто-тракторных дизелей и установлена соответствующая корреляционная зависимость (рис. 3.75), что позволило разработать соответствующие нормативы, актуальные и в настоящее время (табл. 3.20) [36].

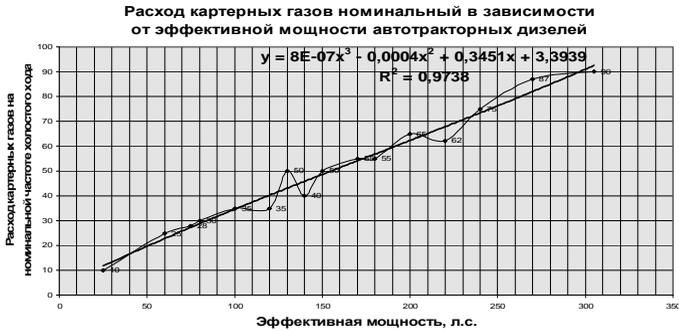


Рис. 3.75. График экспериментальной зависимости номинального значения расхода картерных газов автотракторных дизелей от номинального значения их эффективной мощности по результатам измерений с помощью индикаторов расхода газов КИ-13671-ГОСНИТИ

Таблица 3.20

Нормативные значения расхода картерных газов тракторных дизелей, установленные исследованиями

Марки дизелей	Объем ЦПГ, л	Объем картерного пространства, л	Частота вращения коленвала, мин ⁻¹	Значения расхода, л/мин		
				номинальное	допускаемое	предельное
ЯМЗ-8423	22,3	90	1900	90	145	268
ЯМЗ-240Б	22,3	90	1900	90	180	250
ЯМЗ-8423.10	22,3	90	1900	75	165	235
ЯМЗ-238НБ/НД	14,86	60	1700	65	130	180
Д-260.1	7,125	40	2100	55	120	170
Д-245.12С	4,75	30	2400	35	80	110
Д-243, Д-243Л	4,75	30	2200	28	68	95
Д-144-07, 10, 32	4,15	30	2000	35	80	95
КамАЗ-740	10,85	45	2600	40–45	140	185
ЯМЗ-238М	14,86	60	1900	65–75	130	180
ЯМЗ-236М	11,15	55	1900	45–55	100	145

При диагностировании значительно изношенных ДВС возможны: неудовлетворительная достоверность контроля расхода картерных газов из-за потери некоторого их количества, уходящего из картера, минуя индикатор; неплотности картерного пространства в переднем и заднем уплотнениях коленвала; утечки газов через каналы в блоке цилиндров, связывающие картерное пространство с полостью крышки головки блока и крышки шестерен распределения; утечки через неплотно закрытый сапун и в других местах. Расход газов, измеренный в таких случаях, меньше действительного.

Для обеспечения учета утечек картерных газов через неплотности картерного пространства ДВС предложен наиболее простой индикатор расхода газов (рис. 3.76) со сменными диафрагмами (патент РФ № 2266524, А. В. Дунаев и В. А. Четет).

В предложенном индикаторе отпадает необходимость измерений при минимально возможном перепаде давления картерных газов (измерения возможны во всем диапазоне – от 10 мм до 1 м вод. ст.), поэтому обеспечиваются более стабильные показания индикатора. Это позволяет получить более достоверные результаты измерений, несмотря на двукратное измерение ΔP с двумя установками диафрагм.

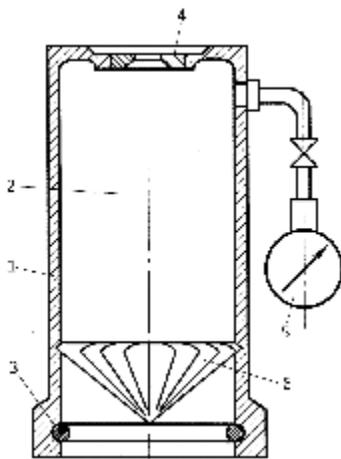


Рис. 3.76. Схема индикатора расхода картерных газов со сменными диафрагмами: 1 – корпус; 2 – внутренняя полость; 3 – уплотнение; 4 – сменная диафрагма; 5 – манометр на давление до 0,01 МПа; 6 – экран с развернутыми лопастями для осаждения брызг масла

3.10. Методы и средства диагностирования топливной аппаратуры дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин

В процессе эксплуатации дизеля большое число нарушений рабочего процесса двигателя связано с неисправностями топливной аппаратуры – 25–50 % от общего числа. Однозначное распознавание неисправности топливной аппаратуры даже при нормальной работоспособности других систем дизеля невозможно. Следует учитывать и то, что плотная компоновка моторного отсека (особенно дизелей импортного производства) и сложность топливной системы являются основными причинами высокой трудоемкости демонтажа узлов топливной аппаратуры. Поэтому принимать решение о необходимости снятия ТНВД и форсунок с дизеля для ремонта нужно весьма осторожно и только по результатам их диагностирования.

Одни и те же внешние признаки нарушения рабочего процесса дизеля могут быть вызваны неисправностями топливоподачи как низкого, так и высокого давления, а также отсутствием компрессии в цилиндрах двигателя. Кроме того, неисправности топливоподачи низкого давления являются причиной нарушения работоспособности элементов системы топливоподачи высокого давления. Аналогичное воздействие наблюдается и внутри системы топливоподачи высокого давления.

Во избежание ошибок при диагностировании предлагается следующий порядок поиска неисправностей, связанных с нарушением нормального рабочего процесса дизельного двигателя:

– диагностирование топливоподачи низкого давления в последовательности: контроль наличия воздуха в системе → проверка топливоподкачивающего насоса → фильтра тонкой очистки топлива → перепускного клапана;

– диагностирование топливоподачи высокого давления в последовательности: ТНВД → форсунки.

Одним из методов диагностирования топливной аппаратуры является оценка по параметрам ОГ. Вместе с тем указанные параметры являются функцией, как топливной аппаратуры, так и технического состояния агрегатов наддува, цилиндро-поршневой группы и др. Только по параметрам ОГ оценить состояние топливной аппаратуры трудно.

Регулировку топливной аппаратуры дизелей во многих случаях контролируют по максимальному давлению сгорания, температуре ОГ за каждым цилиндром и выходу рейки топливного насоса высокого давления. По этим же параметрам осуществляют и оценку технического состояния. Однако повышение температуры ОГ по мере эксплуатации дизеля неизбежно вследствие ухудшения технического состояния других узлов и агрегатов, в т. ч. цилиндро-поршневой группы, газораспределительного механизма, системы воздухообеспечения.

Ухудшение технического состояния дизеля, происходящее в процессе эксплуатации, приводит к тому, что определенные на каком-либо фиксированном режиме параметры и показатели двигателя имеют отличные от исходного значения. Общее снижение индикаторного КПД определяется как изменением состояния внешних по отношению к цилиндру систем, приводящих к отклонению параметров, так и ухудшением состояния топливной аппаратуры в целом.

На рис. 3.77 представлены закономерности изменения индикаторного КПД во втором и третьем цилиндрах судового дизеля 8ЧН 26/26 с учетом наработки. Через 200 ч после начала испытаний индикаторный КПД третьего цилиндра несущественно отличается от исходного значения (сплошная кривая). После 1200 ч работы это отличие составляет всего 0,005. При значительном общем снижении индикаторного КПД, равного 0,038, на долю топливной аппаратуры приходится очень незначительная часть (13 %) этого изменения. Таким образом, ухудшение экономичности вызвано не топливной аппаратурой, а другими элементами конструкции двигателя.

Для второго цилиндра характерно значительное ухудшение экономичности через 1200 ч работы (разность индикаторного КПД равна 0,051) при сравнительно малом изменении состава смеси. Как видно из данных рис. 3.77, основная доля снижения индикаторного КПД приходится на топливную аппаратуру второго цилиндра (примерно 80 %), а остальная часть обусловлена изменением режимных параметров вследствие изменения состояния других агрегатов дизеля.

Приведенная методика и результаты ее опытной проверки позволяют сделать вывод о возможности оценки состояния топливной аппаратуры указанным способом, однако он имеет недостатки. Для оценки конкретных цилиндров необходимо знать температуру газов и состав смеси каждого из них. Оценить состав газов в i -м

цилиндре сложно, особенно для дизелей с импульсной системой наддува при наличии продувки. Неизбежность применения автоматических устройств усложняет систему диагностирования.

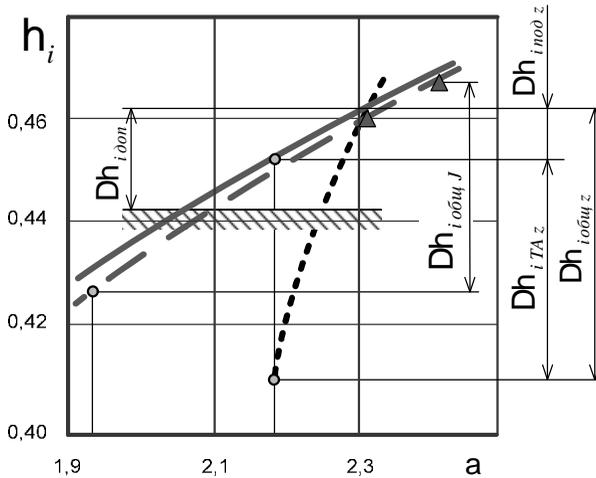


Рис. 3.77. Изменение индикаторного КПД дизеля в зависимости от состава смеси и наработки

Важным параметром, характеризующим работу системы топливоподачи, является продолжительность и опережение подачи топлива. В процессе эксплуатации угол опережения впрыска топлива изменяется вследствие износа прецизионных деталей насоса высокого давления. При эксплуатации автомобильных дизелей рекомендуется определять угол опережения подачи топлива по моментоскопу (метод дает удовлетворительные результаты только при новой плунжерной паре и новом нагнетательном клапане).

Известны методы диагностирования топливных насосов высокого давления, базирующиеся на определении углов опережения подачи топлива и продолжительности впрыска, использование которых связано с минимальным вмешательством в работу топливной аппаратуры. Общий их принцип – датчик монтируют в трубопровод высокого давления или устанавливают в ответвление трубопровода форсунки.

Отрицательная сторона методов определения угла начала впрыска – необходимость доступа к маховику или какому-либо шкиву

двигателя, имеющему угловые метки, по которым стробоскопом делают замеры. Перспективу устранения этого неудобства видят в установке на двигатель импульсного датчика, соответствующего верхней мертвой точке.

Еще один метод диагностирования топливной аппаратуры – с помощью прибора для проверки дизельных форсунок ДД-2110. Прибор позволяет провести диагностику практически всех типов дизельных форсунок и проводить измерения: давление начала впрыска и качество распыления топлива, герметичность запорного конуса (по появлению капли топлива на носике распылителя), гидроплотность (по запорному конусу и направляющей цилиндрической части).

Виброакустический метод дает наиболее достоверные и исчерпывающие результаты диагностирования при использовании комплекта виброакустической аппаратуры. Универсальность метода позволяет использовать разработанные алгоритмы в различных отраслях техники. Недостаток заключается в том, что из-за большой стоимости и сложности, требующей высокой квалификации операторов-диагностов, ее применение возможно только на высокотехнологичных предприятиях технического сервиса.

Спектрографический метод диагностирования предусматривает анализ проб масла и иных жидкостей из полостей механизмов машины с целью выявления интенсивности изнашивания деталей, работающих в соответствующей среде.

Средствами электрографии можно установить темп износа движущихся и сопряженных с ними деталей, трансмиссии и ходовой части машин. Для специального анализа масел применяется установка КИ-13955.

Диагностирование с помощью встроенных контрольно-измерительных приборов (функциональное диагностирование) осуществляется в процессе использования машин по назначению. По указателям температуры судят о состоянии системы охлаждения и режимах загрузки машины; по указателям и сигнализаторам давления – об исправности системы смазки; с помощью тахометров и спидометров контролируют скоростные режимы и степень загрязненности воздушного фильтра и т. д.

Недостаток метода – необходимость частичной или полной разборки, увеличивающей интенсивность изнашивания, нарушение приработки, большая трудоемкость.

Магнитоэлектрический метод диагностирования основан на регистрации изменяющегося магнитного потока в датчике диагностического прибора, взаимодействующего с вращающимися деталями механизмов машины. Метод позволяет регистрировать перемещения, фазовые параметры (момент впрыска, начала подачи топлива, фазы газораспределения) и определять отношение этих параметров к номинальным значениям.

Недостаток метода – большая трудоемкость и невозможность комплексного контроля сложных систем.

Газоаналитический метод заключается в определении скорости потока воздуха, его температуры, давления, а также химического состава выхлопных газов. Имея эталонные данные, можно определить техническое состояние дизельных и бензиновых двигателей и т. д.

Более глубокая проработка данных методов с учетом требований, предъявляемых к ним на основе проведенных выше анализов, позволит получать более полную и точную информацию о работоспособности ТА, ее функционировании и техническом состоянии с учетом всех элементов системы. Поэтому необходимо повышать эффективность использования современных бесконтактных и неразборных методов диагностирования, основанных на анализе выходных параметров, функционально связанных со структурными параметрами.

Рынок оборудования предлагает достаточно широкий спектр приборов как импортного, так и отечественного производства, стоимость которых различна. Рассмотрим оборудование отечественного производителя, предлагающего максимально возможный спектр необходимых приборов для оснащения участка по ремонту топливной аппаратуры.

Спектр выбираемого оборудования должен обеспечить диагностику неисправностей двигателя и топливной аппаратуры, проведение регулировочных и ремонтных работ.

Один из основных приборов на участке по ремонту топливной аппаратуры – стенд для испытания и регулировки ТНВД. Это самый дорогостоящий инструмент в мастерской, и к нему предъявляются жесткие требования. Существуют различные модификации и производители данного типа оборудования, и выбор стенда зависит только от целей и задач топливного участка.

С введением в эксплуатацию современных впрысковых систем Common Rail на стенд возлагается функция проверки и ТНВД, и

форсунок, поэтому к стендам предъявляются такие требования, как оснащение современными блоками управления ТНВД и форсунками, способными генерировать сигналы не только для электромагнитных, но и для пьезоэлектрических инжекторов; безмензурочными высокоточными измерительными системами; системами фильтрации калибровочного масла (соответствие жидкости стандарту ISO 4113 обязательно, запрет на использование дизельного топлива); системой термостабилизации; защитными экранами, т. к. струя тестовой жидкости легко может прошить слой кожи оператора.

Базовым прибором для проведения оперативной диагностики дизельной топливной аппаратуры является механотестер топливной аппаратуры МТА-2 (ДД-2120). Это простой компактный переносной прибор позволяет проводить тестирование состояния форсунок, нагнетательных клапанов и плунжерных пар ТНВД без снятия их с двигателя, что позволяет существенно сэкономить время и средства на проведение диагностики. Вначале осуществляется экспресс-диагностика всех форсунок дизеля, затем с двигателя снимаются только неисправные форсунки.

Мелкое распыливание подаваемого в цилиндр топлива достигается в современных топливных системах за счет больших давлений. Высокое давление обеспечивается наличием малых зазоров между плунжером и втулкой (не более 1–5 мкм). Простота решения герметичности уплотнения является одновременно и недостатком насосов высокого давления, т. к. увеличение кольцевого зазора вследствие износа снижает плотность пары «плунжер–втулка», что сказывается на величине развиваемого давления. Из этого следует основное контрольное мероприятие, определяющее возможность дальнейшей эксплуатации, – проверка плотности. Это относится к прецизионным парам насоса и форсунки. Существует способ проверки плотности плунжерных пар непосредственно на двигателе: необходимо подключить механотестер МТА-2 к секции топливного насоса (можно через трубку высокого давления), выставить проверяемую плунжерную пару в положение, соответствующее середине пути нагнетания топлива, обеспечить в полости нагнетания давление 25 МПа и измерить с помощью секундомера продолжительность снижения давления в интервале от 20 до 15 МПа. Также можно, запустив двигатель, оценить максимальное давление, создаваемое данной плунжерной парой. Проверка проста и не требует больших затрат времени.

Стенд позволяет производить регулировку и диагностику ТНВД дизельных двигателей отечественного и зарубежного производства с количеством секций до 8.

Асинхронный электропривод с преобразователем частоты позволяет плавно регулировать частоту вращения выходного вала стенда, осуществляет стабильность поддержания частоты вращения с минимальными отклонениями, удовлетворяющую стандартам ISO, компактен и прост в управлении.

Стенд оснащен электронной системой управления с обратной связью, что позволяет поддерживать высокую точность вращения выходного вала независимо от нагрузки. Позволяет обслуживать ТНВД двигателей автомобилей, тракторов, комбайнов и другой самоходной сельскохозяйственной техники.

По специальному заказу стенд комплектуется оснасткой для диагностики и регулировки ТНВД зарубежного производства: RabaMan («Икарус»), BoshPes, NP-PE, KP-PE и др.

Техническое состояние форсунок проверяют при выполнении ТО-2, ТО-3 и заявочно. Неисправную форсунку можно определить путем последовательного отключения цилиндров: ослабить гайку у топливпровода высокого давления проверяемой форсунки так, чтобы топливо выходило наружу, минуя форсунку, что вызовет выключение цилиндра двигателя. Если при выключении двигателя изменения в работе двигателя нет, то форсунка неисправна, если же увеличатся перебои и неравномерность работы – исправна.

Для объективной проверки технического состояния форсунки с целью определения герметичности, давления начала подъема иглы форсунки и качества распыливания используют прибор КП 1609А (рис. 3.78). В настоящее время для испытания и регулировки форсунок автотракторных дизельных двигателей на стационарных и передвижных установках используется настольный стенд с ручным приводом PS400A/S60H в диапазоне измерения давления 0–60 МПа (рис. 3.78, б).

При определении герметичности форсунки прибором КП 1609А необходимо:

- установить форсунку на прибор;
- закручивая регулировочный винт форсунки, одновременно рычагом 4 увеличивать давление до 30 МПа;
- прекратить подкачку, наблюдая за снижением давления;
- при достижении значения 28 МПа включить секундомер, а при 23 МПа – выключить.

Время падения давления топлива для изношенных форсунок должно составлять не менее 5 с, а для новых распылителей – не менее 15–20 с.

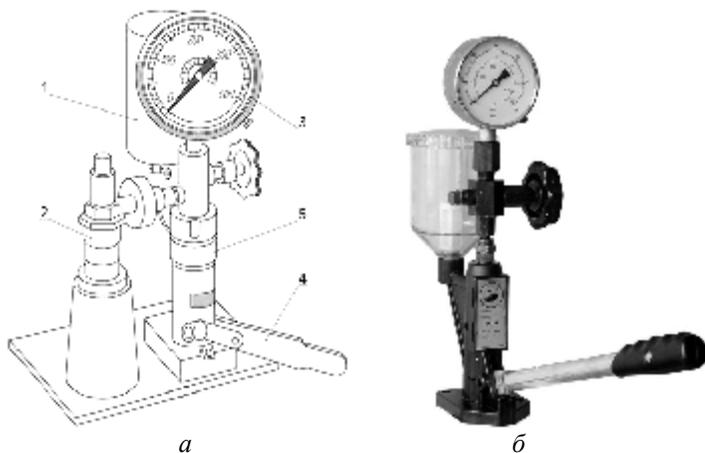


Рис. 3.78. Прибор КП 1609А (а) и настольный стенд PS400А/S60Н (б) для проверки и регулировки форсунок:
1 – бачок для топлива; 2 – проверяемая форсунка; 3 – манометр; 4 – рычаг;
5 – корпус прибора

Быстрое падение давления указывает на нарушение герметичности сопряжений форсунки. Увлажнение носика распылителя свидетельствует о неплотном прилегании запорной части иглы, что устраняется притиркой. Выход топлива из-под гайки пружины указывает на неплотность прилегания направляющей части иглы к корпусу распылителя форсунки.

Давление начала подъема иглы форсунки, равное $(15 \pm 0,5)$ МПа, проверяют по его значению в момент начала впрыска топлива в следующей последовательности:

- установить форсунку на прибор;
- снять колпак форсунки и отпустить контргайку регулировочного винта пружины;
- рычагом 4 прибора медленно повышать давление, наблюдая за показаниями манометра 3, и определить давление начала подъема иглы, при котором начинается впрыск топлива;
- установить требуемое давление форсунки регулировочным винтом. При малом давлении впрыска регулировочный винт с помощью отвертки вворачивают, при большом – отворачивают;

– затянуть контргайку (момент затяжки – 7–8 Н·м) и вновь проверить давление начала подъема иглы.

Качество распыливания топлива считается удовлетворительным, если топливо впрыскивается в атмосферу в туманообразном состоянии и равномерно распределяется по поперечному сечению конуса струи. Начало и конец впрыска должны быть четкими, понижение давления при впрыске топлива должно составлять 0,8–1,7 МПа без подтекания топлива.

Для проверки качества распыливания топлива необходимо рычагом 4 прибора сделать несколько резких впрысков топлива через форсунку, а затем, качая рычагом 70–80 ходов в минуту, наблюдать за характером впрыска. Если качество распыливания плохое, необходимо отремонтировать или заменить форсунку.

Для диагностирования прецизионных пар ТНВД и форсунок дизеля предлагается устройство КИ-28180-ГОСНИТИ (рис. 3.79, табл. 3.21). Оно предназначено для диагностирования топливной аппаратуры дизелей при ТО и ремонте тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. Устройство позволяет диагностировать, производить простейшие регулировки и дефектацию элементов, сопряжений топливной аппаратуры дизелей, работающих при давлении до 25 МПа. Обеспечивает контроль и регулировку:

– без снятия с дизеля (давление начала впрыска топлива распылителя форсунки, оценка гидроплотности сопряжений нагнетательного клапана, плунжерной пары ТНВД, исправность топливных трубок);

– при снятии форсунки с дизеля (качество распыла, герметичность запирающего конуса и иглы распылителя).

Устройство может использоваться при ТО и экспресс-ремонте топливной аппаратуры в полевых условиях.

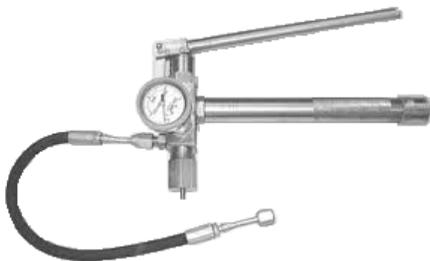


Рис. 3.79. Устройство для диагностирования прецизионных пар ТНВД и форсунок дизеля КИ-28180-ГОСНИТИ

Техническая характеристика КИ-28180-ГОСНИТИ

Параметр	Значение
Максимальное усилие на рычаге, Н	117,6
Емкость резервуара для топлива, л	0,12
Диапазон измерения топлива, МПа	0–39,2
Количество обслуживающего персонала, чел.	1
Габаритные размеры, мм	82×182×475
Масса, не более, кг	2,3
Срок службы, лет	10

Механотестер МТА-2 (рис. 3.80) позволяет оценить текущее состояние форсунки (давление начала впрыска топлива, герметичность запирающего конуса, герметичность корпуса и иглы распылителя, качество распыла топлива, гидроплотность распылителя), состояние ТНВД (проверка гидроплотности нагнетательного клапана, плунжерной пары, гидроплотности сопряжений «плунжер–дозатор», «плунжер–гильза», определить максимальное давление, создаваемое плунжерной парой (на рядном насосе с создаваемым давлением до 500 атм.)). При установке на верстаке механотестер МТА-2 превращается в стационарный аналог ДД-2110.

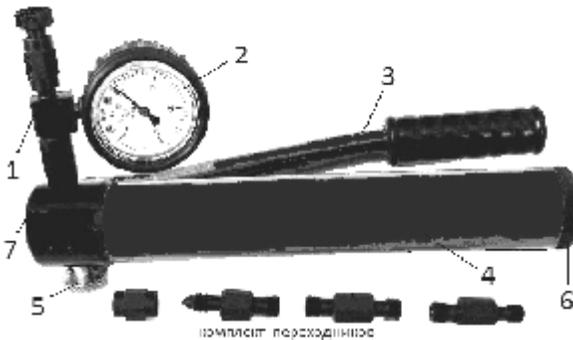


Рис. 3.80. Механотестер МТА-2:

- 1 – корпус; 2 – манометр; 3 – подвижная рукоятка (рычаг);
4 – топливный бачок; 5 – дроссельный винт

Внутри корпуса механотестера установлена плунжерная пара, обеспечивающая создание давления рабочей жидкости в полости

«Р», которое фиксируется манометром 2 за счет перемещения рукоятки 3. Рабочая жидкость находится в бачке 4 и подается в полость плунжерной пары. В корпусе установлен дроссельный кран, его положение («Открыть» – «Закрыть») регулируется поворотом дросельного винта 5: при повороте в положение «Открыть» открывается запорный клапан и сбрасывается давление в полости «Р», удаляя топливо обратно в бачок. Для создания испытательного давления необходимо при помощи рукоятки привести плунжер в возвратно-поступательное движение. Под воздействием разряжения топливо из бачка-резервуара по трубопроводу поступает в полость плунжерной пары и через нагнетательный клапан подается к переходнику. Наличие набора переходников различной конфигурации и с различной резьбой позволяет после отсоединения трубопровода высокого давления подсоединить механотестер к форсунке дизеля или ТНВД и провести диагностирование непосредственно на двигателе.

Последовательность работы механотестера:

1. *Подключение механотестера к форсунке.*

1.1. Отсоедините топливопровод высокого давления от штуцера форсунки, отсоедините от механотестера заглушку (выкрутив соединительную гайку), и подсоедините механотестер к форсунке напрямую или через удлинитель.

1.2. В момент начала жесткого закрепления тестера ориентируйте его таким образом, чтобы уровень топлива в топливном бачке МТА-2 превысил входной канал. Обеспечьте полноамплитудную свободу перемещения рукоятки.

1.3. Если проверяемые элементы системы топливоподдачи высокого давления идентичны по геометрическим условиям подключения, то при повторении подключения откручивайте гайку только у штуцера форсунки или у штуцера топливного насоса. По завершении проверки перед полным отключением тестера необходимо ослабить и крепление переходного устройства.

2. *Оценка технического состояния форсунки.*

2.1. Оценка качества распыла и давления начала впрыска. Выполните с помощью рукоятки привода плунжера несколько плавных возвратно-поступательных движений, обеспечив в полости нагнетания давление $(8,0 \pm 2,0)$ МПа. Затем быстро, но с применением малых усилий (во избежание падения достигнутого давления и повреждения устройства) переместите рукоятку привода плунжера до момента

начала нагнетания топлива. На оставшемся пути активного хода плунжера переместите рукоятку резко – у исправной форсунки должен прослушиваться четкий прерывистый звук высокого тона. Операцию выполните два раза. Отсутствие упомянутого звука или изменение его характера указывает на плохое качество распыливания топлива и, как следствие, на необходимость выяснения причины неисправности или затяжки гайки распылителя после демонтажа форсунки. Зафиксируйте значение показания манометра, соответствующее давлению начала впрыска топлива форсункой, при необходимости отрегулируйте форсунку. Давление начала впрыска топлива форсунками должно соответствовать значениям, приведенным в эксплуатационно-технической документации на соответствующий двигатель. При несоответствии величины давления начала впрыска установленным значением отрегулировать форсунку. Наиболее вероятная причина пониженного давления впрыска – уменьшение упругости пружины форсунки. Пониженное давление впрыска топлива форсункой вызывает увеличение удельного расхода топлива.

2.2. Проверка качества распыливания топлива со снятием форсунок с дизеля. Снимите форсунку с двигателя, поместите носиком в прозрачную цилиндрическую колбу и подсоедините механотестер. Наблюдайте за процессом впрыскивания. Хороший распыл топлива при впрыскивании в атмосферу как при испытании форсунок на дизеле, так и при их проверке на стенде характеризуется следующими признаками: туманообразное состояние топлива в струе; отсутствие различных глазом отдельных вылетающих капель и местных сгущений топлива; четкий, резкий звук (отсечка) при впрыскивании; отсутствие подтекания топлива при выходе струй из отверстий распылителя перед началом и по окончании впрыскивания. Для удобства наблюдения за качеством распыливания рекомендуется направить форсунку на лист чистой бумаги. Следы топлива на бумаге должны быть одинаковой густоты и располагаться на равном расстоянии от центра. Если форсунка не дает равномерного по окружности распыливания, ее разбирают, отверстия сопла прочищают тонкой мягкой проволокой. При большой разработке сопловых отверстий увеличивается их суммарное сечение и нарушается правильная форма сверления, что вызывает снижение скорости выхода топлива из форсунки и, следовательно, ухудшает качество распыла. В этом случае сопло обычно заменяют запасным.

2.3. Оценка гидроплотности распылителя (проверка герметичности (зазора) цилиндрической части иглы и корпуса распылителя). Выполните несколько плавных возвратно-поступательных движений рукоятки, обеспечив в полости нагнетания давление 25 МПа. Измерьте с помощью секундомера время падения давления в интервале от 20 до 18 МПа – не менее 10 с. Время снижения давления у форсунок с многодырчатыми распылителями замеряют при давлении от 35 до 30 МПа – не менее 15 с. При несоответствии значения параметра или качественного признака заданным условиям принимают, что сопряжение «игла–корпус распылителя» негерметично. Негерметичность возникает преимущественно из-за износа цилиндрической части иглы и корпуса распылителя, а также из-за наличия на сопрягаемых поверхностях грязи и частичек металла.

2.4. Проверка герметичности запирающего конуса иглы распылителя:

– по времени падения давления в форсунке. Выполните несколько плавных возвратно-поступательных движений рукоятки, обеспечив в полости нагнетания давление 17 МПа. Определите время падения давления в интервале от 15 до 10 МПа – не менее 15 с. Если быстрое падение давления наблюдается при малых и больших давлениях, то распылитель подлежит замене. При несовпадении признаков, во избежание ошибочного диагноза, выполните 1–2 резких впрыскивания топлива и повторите испытания на герметичность. Если распылитель по признакам качества распыливания и гидравлической плотности удовлетворяет требованиям, а давление впрыскивания не соответствует допускаемым значениям и отличается на 0,5–0,75 МПа от номинального, то отрегулируйте затяжку пружины форсунки, не снимая ее с дизеля;

– по обнаружению топлива на торце (носике) корпуса распылителя. Снимите форсунку с дизеля, подсоедините ее к механотестеру, создайте в форсунке давление (например, завинчивая ее регулировочный винт при отпущенной контргайке) на 1,0–1,5 МПа больше давления начала впрыска и проверьте герметичность по условию: в течение 20 с на торце (носике) корпуса распылителя не должно наблюдаться подтекания топлива или потения указанной части форсунки. При несоответствии значения параметра или качественного признака заданным условиям принимают, что запирающий конус иглы распылителя негерметичен. Негерметичность

возникает из-за значительного ослабления пружины, заедания иглы в направляющем отверстии распылителя, наличия на поверхности седла распылителя грязи и частичек металла, из-за неравномерной выработки уплотняющего конуса иглы и седла распылителя.

3. Проверка гидроплотности нагнетательного клапана (кроме топливного насоса типа НД).

3.1. Отсоедините топливопровод высокого давления от штуцера секции ТНВД и присоедините к нему механотестер (табл. 3.22).

3.2. Переведите рычаг управления регулятором топливного насоса высокого давления в положение, соответствующее выключенной подаче топлива.

3.3. Выполните рукояткой несколько плавных рабочих движений, обеспечив в полости нагнетания давление 18,0–20,0 МПа. Измерьте с помощью секундомера продолжительность снижения давления в интервале от 15 до 10 МПа – не менее 10 с. В случае, если после подтяжки штуцера нагнетательного клапана и повторной проверки результаты измерения повторяются, необходима замена клапана.

Таблица 3.22

Техническая характеристика механотестера

Параметр	Значение
Давление на выходе, МПа, номинальное/максимальное	17,0–20,0/25,0
Подача плунжерной пары, см ³	0,59
Усилие на рычаге, кН, при номинальном/максимальном давлении	9–11/13,7
Рабочая жидкость	Дизельное топливо
Емкость резервуара, л	0,132
Размеры резьб для подсоединения	M12×1,5/M14×1,5/M16×1,5
Габаритные размеры (длина×высота×ширина), мм	187×394×60
Масса, кг	3

4. Оценка гидроплотности плунжерных пар топливного насоса высокого давления.

4.1. Отсоедините топливопровод высокого давления у штуцера топливного насоса. Удалите воздух из системы топливоподдачи низкого давления с помощью насоса ручной подкачки.

4.2. Установите рычаг управления регулятором топливного насоса в положение включенной подачи топлива и, прокручивая коленчатый вал вручную, поставьте проверяемую плунжерную пару в положение, соответствующее середине пути нагнетания топлива. Момент подачи топлива определяют по началу подъема уровня топлива в конусном канале штуцера и дополнительному повороту вала топливного насоса на одно деление угловой отметки на лимбе регулятора.

4.3. Подсоедините механотестер к штуцеру топливного насоса высокого давления. Выполните рукояткой несколько плавных рабочих движений, обеспечив в полости нагнетания давление 25 МПа.

4.4. Измерьте с помощью секундомера продолжительность снижения давления в интервале от 20 до 15 МПа – не менее 15 с. В противном случае плунжерная пара требует замены.

Компьютерное диагностирование топливной аппаратуры дизелей

Оптимальным способом выяснения факторов, которые приводят к поломкам дизеля, является компьютерное диагностирование его электронных систем. Оно позволяет оценить общее техническое состояние двигателя, проверить все блоки управления, отдельные узлы и детали при помощи мощного компьютера-сканера. Такой сканер выполняет многоступенчатое обследование агрегата, проверяя по очереди работу топливной системы, а затем и управляющей. Важной частью обследования является именно диагностирование топливной аппаратуры дизельных двигателей, неполадки в которой встречаются достаточно часто.

В ходе диагностической процедуры обязательно выполняются следующие действия:

- анализ функционирования форсунок (их электрической части);
- снятие показаний со всех имеющихся датчиков температуры;
- установление показателей компрессии в блоке двигателя (в цилиндрах);
- замер величин вакуумных преобразователей.

Основные дефекты форсунок Common Rail (рис. 3.81):

- а) засорение топливных каналов;
- б) нестабильная работа соленоида электромагнитного клапана;
- в) неисправность электронного блока управления;
- г) износ уплотнительных колец;
- д) зависание иглы распылителя;

- е) большая неравномерность подачи топлива;
- ж) износ клапана;
- и) образование нагара на корпусе распылителя;
- к) износ запорного конуса иглы и корпуса распылителя;
- л) закоксовывание сопловых отверстий корпуса распылителя.

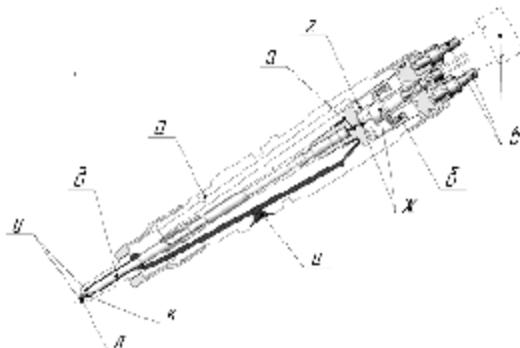


Рис. 3.81. Основные дефекты форсунки Common Rail

Компьютерное диагностическое оборудование для дизельных двигателей собирает сведения о выявленных неполадках, выводит данные о них на дисплей и дает подробные инструкции по устранению дефектов.

Преимущество компьютерного диагностирования дизельного двигателя заключается в том, что двигатель не требуется разбирать. Компьютерное оборудование подключается к агрегату и через некоторое время выдает данные об ошибках в функционировании системы и всех имеющихся неисправностях узлов.

На практике широко используются сканеры «АВТОАС-КАРГО», Cummins INLINE 5, Bosch KTS TRUCK, TEXA, JALTEST, предназначенные для диагностирования и обслуживания полного спектра дизельных двигателей автомобилей и автобусов КамАЗ, МАЗ, ГАЗ, ПАЗ, ЛиАЗ, УРАЛ (рис. 3.82, а-г).

Для испытания форсунок Common Rail производства Bosch, Delphi, Denso, Siemens с рабочим давлением до 180 МПа (1800 бар) в условиях дилерских технических центров и ремонтных предприятий как один из вариантов можно использовать стенд CR-JET 4E (рис. 3.83).



Рис. 3.82. Сканеры для диагностики систем управления двигателями:
 а – автосканер «АВТОАС-КАРГО»; б – системный сканер Bosch KTS TRUCK;
 в – системный сканер TEXA; з – сканер JALTEST

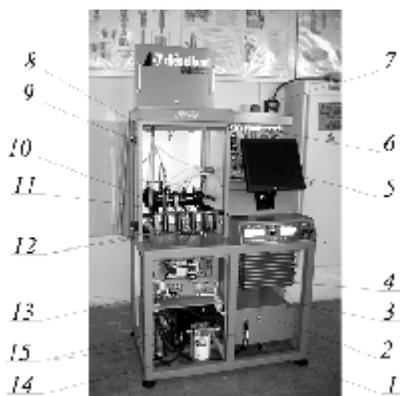


Рис. 3.83. Диагностический стенд для испытания форсунок CR-JET 4E:
 1 – рама; 2 – бак тестовой жидкости; 3 – электродвигатель; 4 – радиатор
 охлаждения; 5 – монитор компьютера; 6 – системный блок; 7 – блок питания;
 8 – контроллер управления; 9 – защитный экран; 10 – накопитель давления
 «РЭИЛ»; 11 – держатель форсунок; 12 – адаптеры установки форсунок;
 13 – контроллер управления форсунками; 14 – фильтр тестовой жидкости;
 15 – датчик контроля тестовой жидкости

Определение параметров работы форсунок производится по электронной программе, состоящей из тест-планов для каждого типа форсунок в ручном или автоматическом режиме.

Техническая характеристика стенда:

- количество диагностируемых форсунок – 4;
- система измерения – электронная;
- диапазон импульсов открытия форсунки – $60\text{--}1500\text{ мин}^{-1}$;
- диапазон длительности импульса открытия форсунки – $100\text{--}3000\text{ мкс}$;
- диапазон регулирования давления тестовой жидкости – $0\text{--}180\text{ МПа}$;
- мощность электродвигателя – 4 кВт.

Тест проводится для одной форсунки последовательно на следующих режимах:

– LEAK TEST – тестирование гидроплотности форсунки путем замера времени изменения давления от одного порога до другого. Задаются два порога давления: верхний и нижний. Время, за которое давление снизится от верхнего до нижнего порога, отображается на дисплее;

– VL – тестирование форсунки при максимальной нагрузке;

– EM – тестирование форсунки при средних нагрузках в режиме «точка эмиссии»;

– LL – тестирование форсунки при пусковой подаче в режиме холостого хода;

– VE – тестирование предварительного (пилотного) впрыска топлива.

По окончании испытаний программа сравнивает полученные результаты с данными выбранного тест-плана и в основном меню окрашивает изображение мерной пробирки зеленым цветом для исправной форсунки или красным – для неисправной.

Перед диагностированием форсунок рекомендуется произвести их очистку на стенде для ультразвуковой очистки форсунок ДД-2200 (рис. 3.84).



Рис. 3.84. Стенд для ультразвуковой очистки ДД-2200:

- 1 – панель управления; 2 – ультразвуковая ванна; 3 – кассета; 4 – крышка;
5 – форсунка

Техническая характеристика стенда:

- количество одновременно очищаемых форсунок – до 8;
- объем ультразвуковой ванны – 1 л;
- рабочая жидкость – «Прима Люкс»;
- частота ультразвуковых колебаний – 40 кГц;
- количество программ очистки – 3.

Для очистки форсунки устанавливаются в кассету и погружаются в ультразвуковую ванну. Нажатием на кнопки «Выбор» и «Уст» на панели управления производится выбор и установка режима «Очистка», а затем с их же помощью – выбор и установка одной из программ очистки («500», «Волна 1», «Волна 2») и времени очистки.

После диагностирования и выявления дефектов работоспособность форсунок восстанавливается заменой дефектных деталей и сборочных единиц: иглы и корпуса распылителя; электромагнитного клапана; уплотнительных колец; седла и клапана; электронного блока управления.

Особенность сборки форсунок – соблюдение размеров утопания (выступания) деталей в корпусе с точностью 0,01 мм, что требует применения фирменного измерительного инструмента и приспособлений.

Также многообразие стендов для проверки ТНВД и форсунок представлено не только различными предприятиями-изготовителями, но и странами, на территории которых изготавливают высокоточное оборудование:

- Республика Беларусь: оборудование торговой марки «ПОТОК» – стенды для тестирования инжекторов ПОТОК-CRI-SMART, блоки дооснащения для модернизации всех типов дизельных стендов (ПОТОК CR-2 – блок управления стендом, инжекторами и ТНВД, FMx – безмензурочная система измерения производительности форсунок, PF – безмензурочная система измерения производительности ТНВД с применением высокоточных датчиков типа OVAL);
- Германия: Bosch EPS 815, EPS 708, EPS 200, флагман – DCI 700;
- Великобритания: HARTRIDGE IFT 70, CRI-PC, AVM-2PC;
- Италия: RABOTTI TEC PUMP, TEC101, TEC201;
- Греция: CARBON ZAPP CRU-4R, CRU-2R, DS2-R2;
- Турция: Maktest, C-MAX.

Актуальными являются вопросы модернизации стендов с доведением их до современного уровня. Пример модернизации устаревшего дизельного стенда C-MAX-2012-CR-PC, выполненной сотрудниками БГАТУ с использованием блоков управления и измерения «ПОТОК» белорусского производства, приведен на рис. 3.85.

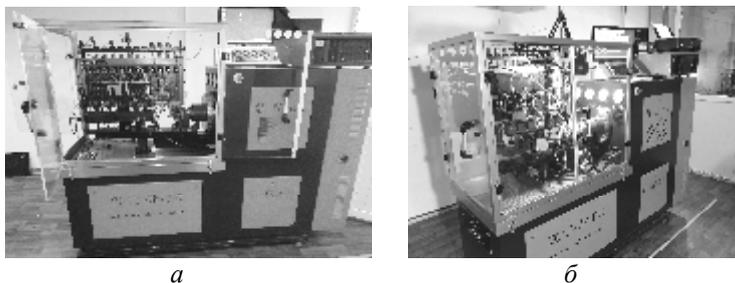


Рис. 3.85. Общий вид стенда: *а* – до модернизации; *б* – после модернизации

После выполнения работ по модернизации точность измерения существенно выросла, практически в 10 раз увеличилось количество тест-планов, появилась возможность измерять производительность тестируемого ТНВД электронными блоками, проверять насосфорсунки с определением ВР-сигнала, кодировать электромагнитные и пьезоэлектрические инжекторы и др.

3.11. Методы и средства диагностирования и испытания гидрооборудования тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин

Диагностирование неисправностей гидрораспределителей EHS

На тракторах «Беларус-3022/3522» установлен электрогидравлический интегральный блок, состоящий из четырех секций распределителя типа EHS с электронно-гидравлическим управлением расходом жидкости, электрогидравлического регулятора ENR и электромагнитного редуционного клапана.

В каждой секции распределителя EHS в ее нижней части в области электрического разъема расположен индикатор кодов неисправностей (рис. 3.86). При наличии в секции неисправности индикатор выдает кодовую информацию. Код неисправности состоит из двух цифр. Считывание кода осуществляется подсчитыванием вспышек индикатора: первая цифра (количество вспышек с короткой паузой между ними) – длинная пауза – вторая цифра (количество вспышек с короткой паузой между ними). Например, для индикации кода «23» система активизирует индикатор следующим образом: две вспышки – пауза – три вспышки. При отсутствии неисправностей в распределительной секции индикатор включен.

В зависимости от степени сложности неисправности может происходить блокирование работы данной секции или одновременно нескольких секций.

Логическое содержание функции контроля технического состояния и режимов зарубежных тракторов БЭС заключается в том, что на основе измерений текущих значений ряда параметров оценивается ситуация по признаку наличия (или отсутствия) отклонений, требующих немедленного (или отложенного) вмешательства в виде изменения режимов работы или проведения необходимых операций обслуживания и ремонта. Во втором случае уровень идентификации причин возникших отклонений довольно неглубок и, как правило, требует от обслуживающего персонала дополнительных действий для конкретизации возникшей неисправности. Теоретических пределов для углубления этого уровня не существует.

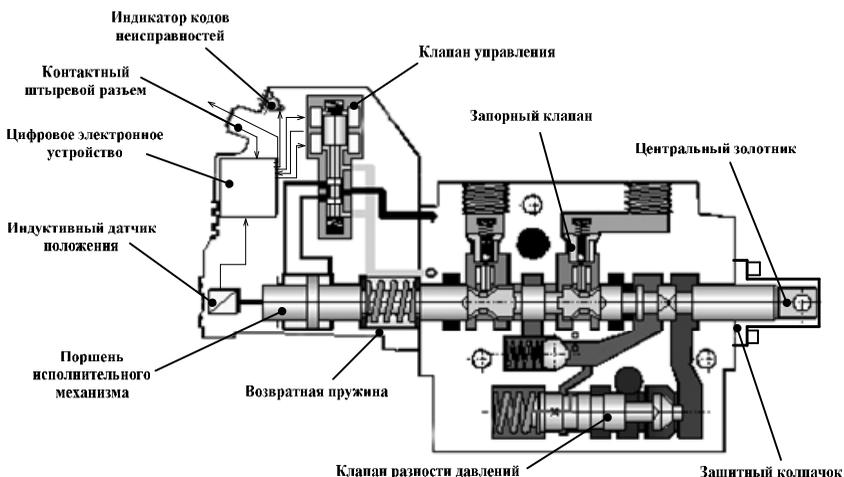


Рис. 3.86. Секция распределителя EHS

В советский период были разработаны специальные экспертные системы («базы знаний»), не только помогавшие принимать решения на основе объективных данных из внешних электронных диагностических устройств, но и позволявшие оператору вводить информацию качественного характера в целях углубленной диагностики и выявления причины отказа.

Естественное ограничение возможного углубления контроля и идентификации причин неисправностей с использованием БЭС – усложнение (значит, и удорожание) конструкции трактора из-за

расширения номенклатуры установленных датчиков, т. к. стоимость собственно электронного блока сравнительно невелика. Определенные ограничения накладывает и квалификация оператора, которая существенно ниже, чем квалификация мастера-диагноста. Рациональная загрузка квалифицированного специалиста с учетом реальной частоты возникновения отказов возможна только при обслуживании достаточно большого парка тракторов.

Практика обслуживания и ремонта современной автомобильной техники, активно оснащаемой за последние годы БЭС, показывает рациональность разделения функций бортовых технических средств, нацеленных на облегчение и информационное обеспечение оператора (водителя) и внешнего контрольно-диагностического оборудования (на станциях ТО), ориентированного на работу мастера-диагноста и позволяющего углубленно оценивать техническое состояние машины и ее составных частей.

Для тракторной и самоходной сельскохозяйственной техники, несмотря на особенности ее использования, сохранится на достаточно длительную перспективу целесообразность ограничения (в разумных пределах) функции контроля технического состояния, реализуемой БЭС. Функции БЭС современных мощных тракторов в части контроля технического состояния (диагностирования) должны ограничиваться решением следующих основных задач:

- непрерывный контроль предельных (критических) параметров основных агрегатов и узлов с индикацией выхода их за допустимые пределы и аварийная автоматическая остановка с учетом обеспечения безопасности (давление в главной масляной магистрали двигателя и в системе принудительной смазки трансмиссии, температура масла в гидросистеме и др.);

- непрерывный контроль параметров (состояний), выход которых за оптимальные пределы (переход в недопустимые состояния) существенно снижает ресурс основных агрегатов и узлов (например, засоренность фильтрующих элементов), с индикацией необходимости изменения режимов работы и/или проведения внеочередного обслуживания «так скоро, как это возможно»;

- учет наработки трактора с момента последнего ТО с индикацией величины допустимой наработки до очередного планового ТО (для заданной периодичности).

Наряду с этим должна быть обеспечена приспособленность конструкции трактора и другой самоходной сельскохозяйственной

техники к проведению диагностирования с использованием внешних технических средств для углубленной оценки технического состояния и поиска неисправностей.

Перед началом сезона сельскохозяйственных работ или другого ответственного периода использования рачительный хозяин стремится провести обслуживание и ремонт машины по потребности, с учетом ее фактического технического состояния, выявленного без разборки с помощью встроенных или временно подключаемых средств диагностирования. Немаловажно выяснить, хватит ли оставшегося запаса работоспособности основных агрегатов и узлов для выполнения запланированного объема работ без необходимости их капитального ремонта. Ответ на этот вопрос должен иметь количественное выражение в любом устраивающем пользователя виде: например, в форме указания объема работы (в принятых единицах учета наработки), в течение которого вероятность ресурсного отказа агрегата или узла не превысит заданную, достаточно малую величину (например, 10 %).

Многочисленные исследования, выполненные в период отсутствия БЭС, показали возможность и целесообразность периодического проведения ресурсного диагностирования тракторов с оценкой остаточного ресурса. Наиболее точны прогнозы остаточного ресурса на основе данных о динамике изменения по наработке (реализации) диагностического параметра для конкретного экземпляра машины. По такой реализации может быть получена аппроксимирующая функция, описывающая тенденцию изменения параметра по наработке трактора. Вид такой функции (как правило, степенной) выбирают исходя из результатов специальных исследований по совокупности наблюдений за партией однотипных машин, а коэффициенты рассчитывают или уточняют по данным о конкретной машине. Также на основе специальных исследований устанавливают взаимосвязь между диагностическим и соответствующим структурным параметрами (например, величиной износа). С помощью технико-экономических расчетов обосновывают предельные и/или допустимые исходя из заданной величины остаточного ресурса значения диагностического параметра с учетом его взаимосвязи со структурным параметром.

Наиболее проработаны вопросы ресурсного диагностирования тракторных дизелей по износу деталей цилиндро-поршневой группы (диагностические параметры – снижение герметичности компрессии,

возрастание прорыва картерных газов и др.) и увеличению зазоров в подшипниках коленчатого вала (в простейшем варианте – по снижению давления масла в главной масляной магистрали).

Некоторые из диагностических параметров, характеризующих динамику расходования ресурса основных агрегатов и узлов трактора, в соответствии с изложенными требованиями должны непрерывно контролироваться БЭС в целях предотвращения аварийных отказов (например, давление масла в главной масляной магистрали). Однако для решения задач ресурсного диагностирования принципиально важно получать данные о значениях такого параметра с некоторой разумной периодичностью, определяющейся динамикой его изменения по наработке. Кроме того, периодические измерения диагностического параметра (например, того же давления масла), используемого для целей ресурсного диагностирования, должны осуществляться при идентичных или специальных тестовых режимах работы трактора (в рассматриваемом примере – в заданном скоростном и нагрузочном режиме работы двигателя при определенном его тепловом состоянии). Перспективные БЭС должны обеспечивать возможность периодической фиксации или некоторого усреднения непрерывно контролируемых параметров, используемых для ресурсного диагностирования. Следует также обеспечить возможность переноса этой информации во внешнее диагностическое устройство с последующим использованием для прогноза остаточного ресурса наряду с данными, получаемыми внешними контрольно-диагностическими средствами, присоединяемыми к соответствующим точкам.

Оптимизация номенклатуры параметров, хранения их значений и обмена с внешними устройствами

Для оценки технической реализуемости изложенных требований необходимо при использовании БЭС определить структуру аппаратного обеспечения и, главным образом, номенклатуру измеряемых параметров (датчиков), способ организации и емкость памяти, средства обмена информацией с внешними устройствами. Нужны также алгоритмы, по которым текущие значения измеряемых параметров будут пересчитываться в один или несколько показателей, характеризующих величину израсходованного (или остаточного) ресурса.

Маловероятна необходимость и возможность существенного расширения номенклатуры параметров и датчиков для ресурсного

диагностирования в сравнении с перечнем известных параметров и режимов работы. Может потребоваться дополнить номенклатуру параметрами, более полно отражающими условия работы машины.

Более сложен вопрос организации необходимой памяти для хранения диагностической информации. По объему поступающей информации рассматриваемая система существенно превзойдет бортовые регистраторы самолетов («черные ящики») – хотя бы потому, что длительность самого дальнего полета несоизмерима с длительностью наблюдения за работой трактора. Кроме того, условия работы трактора отличаются от условий работы самолета гораздо более высокой динамичностью изменения (для трактора они могут иметь частотный состав с полосой до 5 Гц, в то время как в режиме установившегося полета самолета ширина полосы изменения условий не превышает долей 1 Гц). Поэтому для трактора квантование поступающей информации по времени в соответствии с теоремой Котельникова должно происходить не более чем за 30–40 мс. При этом даже один параметр за одну восьмичасовую смену работы трактора при измерении с погрешностью порядка 3 % по пятиразрядному АЦП с учетом не менее чем трехразрядного кодирования даст почти целый мегабайт информации. Организовать запоминающее устройство такой емкости на борту трактора, где весьма проблематично использовать накопители на гибких магнитных дисках или на компакт-дисках с лазерной записью в условиях обычной эксплуатации, будет непросто. В этом направлении можно обратить внимание на накопители флеш-дисков, однако и их возможности ограничены.

Для долговременного хранения должны предназначаться не текущие значения измеряемых параметров, а некоторые приведенные или усредненные показатели, обладающие малой динамичностью изменения. Для хранения информации о динамике изменений каждого из таких параметров в течение всего срока службы трактора потребуется счетчик не сложнее пятиразрядного десятичного. Наличие подобной информации позволит более просто и эффективно применять разработанные методы прогнозирования остаточного ресурса (индивидуальный прогноз по реализации изменения параметра).

Применение БЭС на мощных сельскохозяйственных и промышленных тракторах открывает и новые возможности решения задачи прогнозирования остаточного ресурса. Как известно, для учета наработки

трактора используются счетчики (ч), по существу определяющие суммарное число оборотов коленчатого вала, а в современной электронной аппаратуре – суммарное астрономическое время работы двигателя. И в том и в другом случае показатель наработки (в т. ч. используемый в качестве аргумента в математических моделях прогнозирования остаточного ресурса) далеко не в полной мере отражает реальный процесс расходования ресурса основных агрегатов и узлов трактора. Разработанные методики ускоренных полигонных испытаний сельскохозяйственных тракторов на надежность обеспечивали коэффициент ускорения (по сравнению с реальной эксплуатацией) не менее 5 по трактору в целом. При этом для ряда агрегатов и узлов коэффициенты ускорения на принятых режимах ускоренных испытаний существенно превышали усредненный коэффициент ускорения по трактору в целом. Поэтому представляет интерес перспектива получения с помощью БЭС информации для расчета некоторой обобщенной характеристики, определяющей процесс расходования ресурса основных агрегатов и узлов конкретного трактора в зависимости от условий его эксплуатации.

Постановка задачи комплексной оценки технического состояния трактора по динамике изменения диагностических параметров с учетом условий использования и режимов работы с помощью бортовой электронной аппаратуры вполне правомерна, однако требует проведения достаточно обширных исследований.

В качестве рабочей гипотезы для оценки динамики расходования ресурса основных агрегатов и узлов предлагается принять принцип регистрации приведенной наработки, в определении которой участвуют параметры, характеризующие режимы работы.

На первом этапе работ целесообразно создание и использование специальной аппаратуры для накопления существенно больших объемов информации и отыскания закономерностей, характеризующих процесс расходования ресурса и позволяющих оценить приведенную наработку основных агрегатов и узлов трактора.

Одно из направлений дальнейшего развития изложенного подхода – отыскание способов интерактивного взаимодействия пользователей с бортовой аппаратурой данного назначения.

Учитывая опыт разработок методик ускоренных испытаний тракторов и их основных агрегатов, к числу основных факторов, контролируемых при испытаниях, следует отнести:

- нагрузочный и скоростной режимы работы двигателя, число циклов сброса и набора его нагрузки и частоты вращения;
- продолжительность работы двигателя при неоптимальном тепловом режиме (холодные пуски, перегревы);
- повышенная запыленность воздуха (оцениваемая, например, по наработке до достижения заданной засоренности воздухоочистителя) и продолжительность работы трактора после индикации засоренности фильтрующих элементов;
- отклонения от заданной периодичности ТО;
- некоторая характеристика степени нагруженности ходовой и несущей систем вследствие неровностей почвы и неоптимального скоростного режима движения и др.

При эксплуатации машин с такой аппаратурой можно будет решать задачи уточнения заложенных алгоритмов, а также отыскивать возможности корректировки показателя приведенной наработки при обслуживании или ремонте по потребности (в зависимости от содержания этих действий остаточный ресурс должен возрасти, однако при условии структурированности интерактивного процесса ввода в аппаратуру необходимой информации, отражающей содержание и характер выполненных работ). Зафиксированное скачкообразное улучшение диагностических параметров после проведенного обслуживания или ремонта будет подтверждением их эффективности и может быть использовано для корректировки величины остаточного ресурса. Соотношение приведенной и традиционно определяемой наработок может служить некоторой обобщенной характеристикой условий эксплуатации трактора и его основных агрегатов. Такая характеристика может оказаться полезной для оценки рациональной загрузки трактора и его агрегатирования с различными машинами или использования на тех или иных видах работ, а также для оценки квалификации и добросовестности работы оператора и решения других задач.

Для разработчика трактора такая обобщенная, а тем более дифференцированная, оценка условий реальной эксплуатации также будет представлять несомненный интерес, т. к. позволит выбрать наиболее рациональные решения в ходе проектирования и доводки новых машин.

Изложенный подход к прогнозированию остаточного ресурса по технической сущности достаточно близок к традиционному методу прогнозирования остаточного ресурса конкретной машины по

динамике изменения диагностических параметров. Действительно, эта динамика отражает в обобщенном виде индивидуальный процесс расходования ресурса под воздействием комплекса факторов, характеризующих условия работы конкретной машины. В то же время оснащение тракторов БЭС открывает дополнительные возможности индивидуального учета специфических условий работы каждой машины и получения на этой основе более точных прогнозов относительно ее дальнейшей работоспособности. Это позволяет предусмотреть при разработке БЭС возможности решения не только упомянутых типовых задач контроля технического состояния машины и информирования оператора, но и более сложных перспективных задач прогнозирования остаточного ресурса и оценки условий эксплуатации.

Контроль гидроприводов рулевого управления, навесной системы, коробок передач, гидростатической трансмиссии комбайнов в связи со сложностью и опасностью их испытаний под высоким давлением проводят только заявочно.

Методы контроля включают измерения давления и пульсации давления рабочих жидкостей на линиях нагнетания и слива в контрольных отверстиях или при разъединении маслопроводов с включением в работу агрегатов гидроприводов, контроль температуры, вспенивания жидкостей и их загрязненности (КИ-28067-ГОСНИТИ ИЗЖ Жигулевского филиала ВНИИРЭА), а также контроль утечек визуально и ультразвуковым индикатором ИКУ-1Д.

В настоящее время для испытания гидрооборудования сельскохозяйственной техники используются стенды КИ-4815М-ГОСНИТИ, КИ-28097-01М-03М-ГОСНИТИ, СГН-2м ЗАО ПО «Стендовое оборудование», стенд УГИ 400-16-С01 «ССМ-Тяжмаш», СИ-НМ-В-1-20/250/60,5-Т Уральского инжинирингового центра, универсальный стенд для обкатки, регулировки и проверки гидроагрегатов Пензенского РМЗ, стенд ООО «Мастер Механика», стенд, используемый сервисными центрами ОАО «Пневмострой-машина», испытательный стенд «Бош Рексрот» (Германия).

Особенность универсального стенда для обкатки, регулировки и проверки гидроагрегатов Пензенского РМЗ заключается в возможности проверки, настройки и регулировки большого количества гидравлической аппаратуры: насосов, гидромоторов, распределителей и др. Стенд рассчитан также на испытание насосных и моторных

многопоточных установок и агрегатов типа УНА с возможностью изменения частоты вращения от 400 до 1500 об/мин при помощи пускового масляного реостата, создания сопротивления в нагнетающей магистрали до 40 МПа, измерения температуры рабочей жидкости, частоты вращения приводного вала и мощности приводного двигателя.

Недостатками стенда являются его громоздкость, требующая больших площадей; ограниченный диапазон регулирования частоты вращения, не позволяющий испытывать современные высокооборотистые гидромашины; длительный процесс проверки из-за большого количества операций по настройке стенда.

Стенды КИ-4815М-ГОСНИТИ, КИ-28097-01М-03М-ГОСНИТИ (рис. 3.87) для испытаний объемных гидроприводов и аксиально-поршневых гидромашин с мощным приводным двигателем и дополнительной приставкой также имеют большие габариты и изготавливаются на базе стендов КИ-4815-ГОСНИТИ, выпускаемых ранее серийно, поэтому на данных стендах возможно испытание только небольшой номенклатуры гидромашин. Двигатели стендов имеют мощность в 22 и 45 кВт, в то время как гидромашины с рабочим объемом более 90 см³ потребляют мощность не менее 70 кВт. Одна линия высокого давления также не позволяет применять стенд для испытания многопоточных гидромашин, отсутствует возможность проверки регуляторов насоса, а также регулирования частоты вращения приводного двигателя, что не позволяет использовать на данном стенде методики проверки заводов-изготовителей и не дает возможности проверить все технические характеристики гидроагрегатов.



Рис. 3.87. Стенд КИ-28097-ГОСНИТИ

Стенды «ССМ-Тяжмаш» и «УГИ» предназначены для испытания насосов и гидромоторов после текущего и капитального ремонта, для определения следующих параметров: отсутствие повышенной вибрации, ударов, стуков, резкого шума, толчков давления в магистралях, повышенного нагрева (функциональные параметры); отсутствие каплеобразования из-под крышек, пробок, фланцев, через стыки корпусных деталей (параметры герметичности); величина подачи рабочей жидкости и ее равномерность при заданном направлении вращения выходного вала, изменение значения подачи рабочей жидкости при работе механизмов регулирования, реакция на изменение нагрузки (давления на выходе), изменение частоты вращения выходного звена гидромотора при изменении расхода рабочей жидкости, подводимого к рабочим полостям. Но данные стенды, как и стенд Пензенского РМЗ, громоздки, имеют небольшой диапазон регулирования частоты вращения и измерения крутящего момента, несмотря на то что имеют мощные приводные двигатели – 60,5 кВт. К недостаткам стендов можно отнести и невозможность регулирования температуры рабочей жидкости в большом диапазоне, отсутствие второй гидролинии для испытания регуляторов насосов.

Наиболее полно оценивают работоспособность аксиально-поршневых гидромашин стенды ПО «Стендовое оборудование» и ООО «Мастер Механика».

Стенд СГН-2м производства ПО «Стендовое оборудование» (рис. 3.88) предназначен для послеремонтной обкатки, регулировки и контрольных испытаний насосов и распределительно-регулирующей гидроаппаратуры рабочего оборудования тракторов, грузовых автомобилей и машин сельскохозяйственного назначения.



Рис. 3.88. Стенд СГН-2м

Основная отличительная особенность стенда СГН-2м – применение электропривода с микропроцессорным блоком управления частотой вращения и электронной системой измерения.

К преимуществам стенда относится то, что регулируемая частота вращения выходного вала дает возможность проводить щадящую послеремонтную обкатку аксиально-плунжерных и поршневых насосов, имеющих прецизионные соединения деталей качающих узлов, обеспечивая тем самым повышенный ресурс их работы (особенно актуально для дорогостоящих насосов производства зарубежных фирм). Есть возможность проводить испытания разных типов насосов в соответствии с техническими требованиями на испытания при номинальной частоте вращения приводного вала.

Применение статопараметрического метода диагностирования гидропривода требует обязательного измерения расхода задрессированного потока жидкости.

Учеными сделан большой вклад в развитие расходомерии. Особо следует отметить труды П. П. Кремлевского, П. В. Лобачева, Б. М. Левина, А. М. Лопатина, Н. И. Бражникова, И. Д. Вельта, В. Г. Цейтлина, Н. Bluschke, R. G. Folsom, F. Herning, H. Kruppe, G. Ruppel, C. Scott, T. J. Williams, R. Witte. Благодаря их исследованиям созданы и применяются в различных отраслях промышленности расходомеры с большим разнообразием конструкций, основанных на различных методах измерений. Их можно условно разделить на четыре группы:

1) приборы с механическим движением рабочего объема: тахометрические и силовые;

2) приборы, основанные на гидродинамических методах: переменного перепада давления, переменного уровня, обтекания, вихревые, парциальные;

3) приборы, в которых используются физические явления, не относящиеся к механическим и гидродинамическим: тепловые, электромагнитные, акустические, оптические, ядерно-магнитные, ионизационные;

4) приборы, основанные на особых методах: корреляционные, концентрационные.

Оценивая существующие приборы для измерения расхода, нужно, прежде всего, учитывать условия, в которых проводится ТО мобильных машин. Не только в поле, но и на территории машинного двора практически невозможно обеспечить надежную защиту

этих приборов от повреждающего воздействия таких внешних факторов, как низкие температуры, атмосферные осадки, запыленность воздушной среды, вибрации, случайные удары при монтаже.

Небольшой имеющийся опыт применения импортных переносных приборов для контроля технического состояния МТП свидетельствует о том, что эти приборы несовместимы с условиями эксплуатации машин, т. к. содержат легко повреждаемые электрические преобразователи, элементы электроники и сложные коммуникации. По этой причине эксплуатационные и ремонтные предприятия часто отказываются от приобретения таких средств диагностики.

Предварительный анализ показывает, что большинство из перечисленных выше приборов не нуждается в подробном рассмотрении, т. к. явно не соответствует условиям применения в гидроприводе мобильных машин. Отдельные средства, не отраженные в научных работах, нашли достаточно широкое практическое применение и требуют определенного внимания. Далее рассматриваются только расходомеры переменного перепада давления, тахометрические и вихревые.

Расходомеры переменного перепада давления основаны на зависимости расхода от перепада давления, создаваемого специальным сопротивлением внутри трубопровода или самим элементом трубопровода. В состав такого расходомера входят: сужающее устройство, создающее перепад давления; дифманометр, преобразующий этот перепад сначала в перемещение подвижного элемента, а затем с помощью индукционного преобразователя – в электрический сигнал; измерительный прибор, регистрирующий величину этого сигнала.

Тахометрическими называют расходомеры, имеющие вращающийся элемент, частота вращения которого пропорциональна объемному расходу. По конструкции вращающегося элемента эти расходомеры подразделяют на камерные, турбинные, шариковые и роторно-шаровые.

Камерные тахометрические расходомеры снабжаются ротором в виде блока цилиндров, шестерен или др. Жидкость заполняет рабочие камеры и таким образом разделяется на порции, перемещаемые от входа к выходу за счет вращения ротора. По этому принципу построены, например, счетчики количества топлива в раздаточных бензоколонках. В составе стационарного оборудования для диагностирования гидроприводов часто используют обычные серийные низкомоментные гидромоторы, соединенные с тахогенераторами. Наряду с простотой, достаточной точностью, доступностью и сравнительно небольшой

стоимостью таких расходомеров у них есть существенные недостатки – громоздкость и тяжеловесность, что исключает возможность их применения в качестве переносных средств диагностирования.

Турбинные тахометрические расходомеры применяются для трубопроводов диаметром от 0,004 до 0,750 м. Они работают в широком диапазоне температуры и давления. Датчик такого расходомера представляет собой корпус в виде патрубка, внутри которого помещена турбинка, выполненная из ферромагнитного материала. На наружной поверхности корпуса устанавливается индукционный преобразователь. Отечественная промышленность выпускала ряд турбинных датчиков расхода с диапазоном измерения от 0,12 до 6,0 дм³/с при рабочем давлении до 40 МПа.

Основной недостаток турбинных расходомеров, затрудняющий их широкое применение в гидроприводе мобильных машин, – требование строгого ограничения загрязненности рабочей жидкости, что часто оказывается невыполнимым.

Свободными от этого недостатка считаются шариковые тахометрические расходомеры. Наиболее широкое применение имеют шариковые расходомеры с винтовым направляющим аппаратом. Поток жидкости, закрученный этим аппаратом, приводит во вращение ферромагнитный шарик. Частота вращения шарика по кругу внутри трубы преобразуется индукционным или индуктивным преобразователем в электрический частотный сигнал.

Анализ существующих конструкций шариковых тахометрических расходомеров позволяет сделать вывод о принципиальной возможности их применения в составе переносных средств измерения расхода рабочей жидкости мобильных машин. Следует, однако, учитывать, что общим недостатком всех тахометрических приборов, ограничивающим их применение, является значительная зависимость точности измерений от вязкости контролируемой жидкости и необходимость использования электрических преобразователей.

К расходомерам обтекания относят приборы, чувствительный элемент которых воспринимает динамическое давление потока и отклоняется под его воздействием, причем величина отклонения зависит от расхода. По принципу действия они разделяются на приборы постоянного перепада давления, поплавково-пружинные, шариковые и с поворотной лопастью.

Недостатком всех расходомеров обтекания является зависимость показаний прибора от его ориентации в пространстве, что

исключает возможность их использования в составе переносных средств диагностирования гидропривода.

Вихревые расходомеры, предложенные сравнительно недавно, широкого распространения не получили. Эти приборы основаны на зависимости частоты колебаний давления от расхода. Колебания давления возникают в результате вихреобразования струи в потоке. Как показывает опыт, вихревые расходомеры имеют большую погрешность при измерении расхода в пульсирующих потоках, достигающую $\pm 40\%$. На работу вихревых расходомеров существенное влияние оказывают помехи, создаваемые различными элементами гидропривода при работе: вибрация, толчки, удары и т. п.

Все рассмотренные приборы, кроме расходомеров переменного перепада давления и камерных расходомеров, отличаются сложной конструкцией и высокой стоимостью. Обычные расходомеры переменного перепада давления имеют простые первичные преобразователи, но конструкция приборов сильно усложняется за счет наличия вторичного преобразователя – дифманометра, из-за чего исключается возможность применения этих расходомеров в составе переносных средств диагностики.

Эксплуатационные и ремонтные предприятия в первую очередь нуждаются в переносных средствах диагностики – простых, дешевых, защищенных от повреждений, даже в ущерб точности измерений. В этом смысле наибольший интерес представляют дроссели-расходомеры типа ДР-70, ДР-90, КИ-1078 и другие, построенные на принципе переменного перепада давления. Эти приборы особенно широко применяются в практике эксплуатации сельскохозяйственных машин.

Дроссель КИ-1078-ГОСНИТИ имеет прецизионную пару – поворотный плунжер и гильзу. Плунжер, соединенный с рукояткой и шкалой расхода, имеет на торце косой срез, который частично или полностью перекрывает дроссельное выходное отверстие гильзы. При выполнении измерений отверстие постепенно закрывают до тех пор, пока давление в гидросистеме не установится на уровне номинального (16 МПа). На шкале лимба отмечается фактический расход. Шкала построена в расчете на применение в гидроприводе дизельного летнего масла ДП-11 (М10В₂), которое имеет вязкость 60–70 мм²/с при 50 °С. К достоинствам этих приборов относится простота конструкции и компактность. Недостатком конструкции является сильное влияние вязкости жидкости на точность измерений, поэтому условия испытаний (сорт масла, температура) строго регламентированы. Другой недостаток – угол поворота плунжера

ограничен (120°), вследствие чего приборы такого типа отличаются низкой чувствительностью. Кроме того, предел измерения расхода у ДР-90 – $1,5 \text{ дм}^3/\text{с}$, что недостаточно для диагностирования гидроприводов большинства мобильных машин, в т. ч. комбайнов.

Цифровые гидротестеры Webtec (рис. 3.89) измеряют поток, давление и температуру. Тестеры предназначены для удобного контроля работы гидравлических насосов, двигателей, клапанов и гидростатических передач.



Рис. 3.89. Гидротестеры Webtec

Гидротестеры имеют упрощенные элементы управления и могут выявлять неисправности гидравлической системы, сокращать время простоя и помогать в профилактическом обслуживании.

Тестеры содержат блок турбинного расходомера до 800 л/мин и большой легко читаемый жидкокристаллический дисплей, который показывает поток и температуру. Блок турбины выполнен из высокопрочного алюминия, внутри размещается шестилопастная турбина, вращающаяся на валу и подшипнике из нержавеющей стали. Встроенные выпрямители потока уменьшают поток турбулентности и позволяют точно измерять расход в обоих направлениях.

Гидротестеры имеют встроенный нагружающий клапан для имитации рабочего давления машины. Встроенные защитные диски защищают машину и оператора в случае избыточного давления, позволяя маслам безопасно обходить нагружающий клапан без утечки из гидравлического контура.

В эксплуатационных условиях широкое применение нашли дроссели-расходомеры типа ДР-70, ДР-90, КИ-1078 и другие, построенные на принципе переменного перепада давления, особенно для диагностирования отдельно-агрегатной гидравлической системы тракторов (гидравлические насосы типа НШ, гидрораспределители, ГОРУ). Для диагностирования ГСТ не применяются из-за

сильного влияния вязкости жидкости на точность измерений и низкого предела измерений расхода жидкости.

В некоторых райагросервисах и передовых хозяйствах Республики Беларусь встречаются стенды КИ-4815М, КИ-28097-01М-03М-ГОСНИТИ. Они также применяются для диагностирования раздельно-агрегатной гидравлической системы тракторов, но только в частичном режиме с низкой точностью. Электродвигатели стендов имеют мощность в 22 и 45 кВт, что недостаточно для нагружения ГСТ.

Гидротестеры Webtec применяются в основном специализированными сервисными службами ввиду их большой стоимости. Данными гидротестерами возможно продиагностировать гидроагрегаты непосредственно на мобильном энергетическом средстве. К недостаткам следует отнести то, что турбинный расходомер имеет строгие ограничения по диапазону измерений и загрязненности рабочей жидкости, что часто оказывается невыполнимым.

В БГАТУ разработано диагностическое устройство [25, 84] (рис. 3.90–3.92), позволяющее в эксплуатационных условиях проводить объективное безразборное диагностирование аксиально-плунжерных насосов и моторов и при необходимости производить их послеремонтную обкатку.

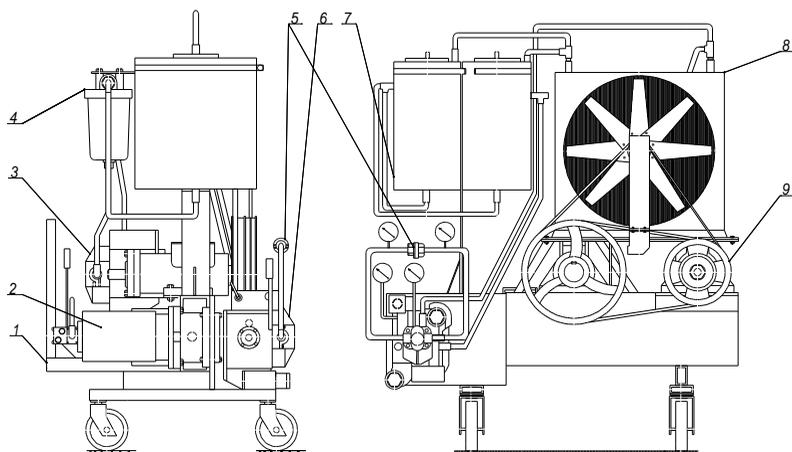


Рис. 3.90. Диагностическое устройство:

- 1 – рама с рамкой автосцепки; 2 – диагностируемый аксиально-плунжерный гидромотор; 3 – диагностируемый аксиально-плунжерный насос; 4 – фильтр;
- 5 – нагрузочный дроссель-расходомер; 6 – гидравлический тормоз; 7 – гидробаки;
- 8 – радиатор охлаждения рабочей жидкости; 9 – ременная передача

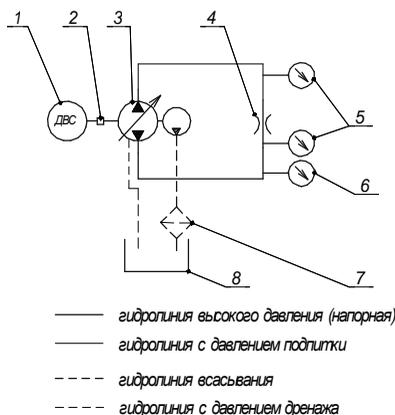


Рис. 3.91. Схема диагностического устройства (диагностика гидронасоса):
 1 – двигатель внутреннего сгорания трактора; 2 – тахометр; 3 – диагностируемый регулируемый аксиально-плунжерный насос; 4 – дроссель постоянного сечения;
 5 – манометры; 6 – термометр; 7 – фильтр; 8 – гидробак

Работа устройства основана на использовании дросселирования потока жидкости через отверстие постоянного сечения для создания нагрузки на валу гидронасоса и гидромотора. Гидравлическая схема обкаточно-диагностического устройства приведена на рис. 3.92.

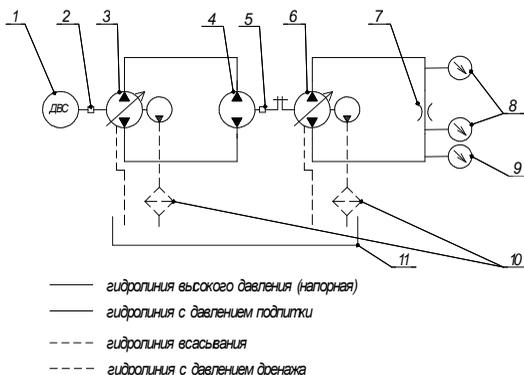


Рис. 3.92. Гидравлическая схема диагностического устройства (диагностика гидромотора):

- 1 – двигатель внутреннего сгорания трактора; 2 – тахометр;
 3 – эталонный регулируемый аксиально-плунжерный насос (объемный КПД 0,96);
 4 – проверяемый аксиально-плунжерный гидромотор; 5 – муфта с тахометром;
 6 – нагрузочный гидронасос; 7 – дроссель постоянного сечения; 8 – манометры;
 9 – термометр; 10 – фильтр; 11 – гидробак

Работает схема диагностики гидронасоса (см. рис. 3.91) следующим образом: привод гидронасоса 3 целесообразно осуществлять от двигателя внутреннего сгорания 1 посредством ВОМ трактора, т. к. диагностирование агрегатов гидрообъемной трансмиссии на предприятиях системы «агросервис» и в хозяйствах производится эпизодически и требует мощности привода свыше 75 кВт.

Так как подача аксиально-плунжерного насоса регулируемая, то представляется возможным для загрузки использовать дроссель постоянного сечения 4. ВОМ трактора вращает вал насоса 3. Рычаг гидрораспределителя диагностируемого гидронасоса 3 находится в вертикальном положении, когда его подача практически равна нулю.

Медленно поворачивая рычаг гидрораспределителя насоса 3, давление увеличивают до номинального значения и следят за давлением по показанию манометров 5. При известных значениях площади сечения дросселя 4 с учетом вязкости жидкости и минимально допустимого объемного КПД насоса по развиваемому в системе давлению делают заключение о состоянии насоса.

Схема диагностики гидромотора (см. рис. 3.92) работает следующим образом: эталонный насос 3 с коэффициентом подачи $\eta_0 = 0,96$, приводящийся от двигателя внутреннего сгорания 1 через ВОМ, по рукавам высокого давления подает рабочую жидкость в гидромотор 4 и вращает его вал, который через муфту с тахометром 5 соединен с гидронасосом 6, выполняющим роль гидравлического тормоза.

Медленно наклоняя рычаг гидрораспределителя насоса 3 до максимальной подачи, достигают максимальной частоты вращения вала гидромотора. Рычаг гидрораспределителя нагрузочного гидронасоса 6 находится в вертикальном положении, когда его подача практически равна нулю.

Медленно поворачивая рычаг гидрораспределителя насоса 6, давление увеличивают до номинального значения. За давлением следят по показанию манометров 8 и контролируют температуру рабочей жидкости по термометру 9. По развиваемой валом гидромотора частоте вращения под номинальной нагрузкой делают заключение о его техническом состоянии.

4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

4.1. Задачи, сущность прогнозирования технического состояния и показателей надежности машин

Теория прогнозирования – составная часть общей теории автоматизированного контроля, которую успешно используют во всех отраслях науки и техники. Под теорией прогнозирования технического состояния машин понимается совокупность правил и приемов для определения характеристик изменения состояния машины с опережением этого процесса по времени.

Основной задачей прогнозирования является установление оптимальных управляющих характеристик состояния машины (например, допустимых размеров деталей, изменение количественных параметров состояния отдельных элементов, периодичности технического обслуживания и диагностирования) с целью получения максимального эффекта по заранее выбранному критерию (например, экономическому или техническому). Поэтому теорию прогнозирования успешно применяют для управления надежностью машин путем сужения или расширения диапазонов допустимых при техническом обслуживании или ремонте значений параметров технического состояния элементов (размеров деталей, зазоров в сопряжениях, давления масла, расхода топлива, количества прорывающихся в картер газов и т. д.).

В результате прогнозирования технического состояния машин устанавливают (предсказывают) сроки безотказной работы составных частей машины до очередного технического обслуживания или ремонта, что позволяет предотвратить преждевременные отказы.

При прогнозировании обязательны три этапа:

1. Исследование динамики состояния машины в целом, выявление и уточнение характеристик изменения параметров состояния ее элементов.

2. Устанавливают допустимые изменения параметров состояния элементов, разрабатывают или выбирают методы и средства измерения, производят измерения параметров технического состояния, выбирают методы прогнозирования, а также способы проверки надежности и достоверности прогноза.

3. Прогнозируют изменение различных параметров состояния элементов, анализируют прогнозы по отдельным элементам и составным частям, обобщая их на техническое состояние всей машины.

Следовательно, первый этап прогнозирования направлен в прошлое, второй (диагностика) – в настоящее, этап прогноза – в будущее, причем будущее в виде прогноза возвращается к настоящему.

Для получения достоверного прогноза необходимо выбрать метод прогнозирования, который позволяет с определенной погрешностью установить состояние элемента в будущем, в частности установить момент отказа элемента (машины).

При выборе методов прогнозирования следует учитывать:

- а) задачи прогнозирования;
- б) количество имеющей информации;
- в) характер реального процесса изменения параметра состояния элемента.

Для решения задач в области диагностики машин необходимо использовать простые и достаточно точные методы прогнозирования. Методы должны быть универсальными, пригодными для оценки состояния любых деталей и узлов машины. Крайне важно при прогнозе свести к минимуму вычислительные операции. В связи с этим предварительно составляются таблицы и разрабатываются номограммы, с помощью которых решают две задачи.

Первая задача – по исходным данным устанавливаются допустимое изменение параметра. Вторая задача – определяют остаточный ресурс элемента.

4.2. Прогнозирование по среднему статистическому изменению параметра и по реализации изменения параметра

Прогнозирование по среднему статистическому измерению параметра - это предсказание изменения какого-либо параметра машины на основании большого количества опытных данных, обработанных статистически.

По результатам диагностирования сравнивают измеренное значение параметра с его допустимым значением. Если его значение не превышает допустимого, то сопряжение (узел) не требует никакого воздействия. Если же он больше допустимого, то узел подлежит профилактике или ремонту. Из-за простоты этот метод используется чаще всего.

Прогнозирование изменения по реализации параметра, то есть по индивидуальному изменению параметра. Это – предсказание

изменения какого-то параметра машины на будущее, зная его состояние на момент замера и характер изменения. Этот метод применяют для прогнозирования надежной работы машины в течение заданной наработки и остаточного ресурса до капитального ремонта (КР). Метод более точный, но спрогнозировать работу всех элементов машины практически невозможно. Применяется для наиболее ответственных и сложных узлов.

Если известен характер изменения параметра в будущем (рис. 4.1), то остаточный ресурс

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{исп}} \frac{\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{з}}}{\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{п}}} \cdot \frac{1}{\alpha}, \quad \text{ч}, \quad (4.1)$$

где $t_{\text{исп}}$ – использованный ресурс;

α – показатель степени, характеризующий закономерность изменения параметра.

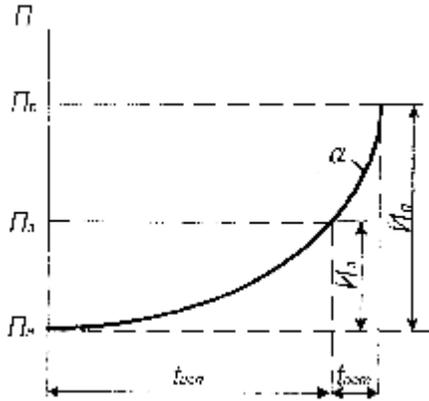


Рис. 4.1. График изменения параметра состояния машины в зависимости от наработки:

$\Pi_{\text{н}}$, $\Pi_{\text{з}}$, $\Pi_{\text{п}}$ – номинальное (начальное), замеренное и предельное значения параметра; $I_{\text{п}} = \Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{н}}$ – предельно допустимое изменение параметра; $I_{\text{з}} = \Pi_{\text{з}} - \Pi_{\text{н}}$ – изменение параметра на момент замера

Если наработка машины с начала эксплуатации $t_{\text{исп}}$ неизвестна, то необходимо сделать два замера параметра через определенную наработку:

$$t_{\text{ост}}^{\phi} = t_{\text{исп}}^{\phi} \sqrt{\frac{\Pi_{\text{II}} - \Pi_{\text{H}}}{\Pi_{\phi} - \Pi_{\phi}^{\frac{1}{2}}}} \quad (4.2)$$

где $t_{\text{ост}}^{\phi}$ – остаточный ресурс после 2-го замера;

$t_{\text{исп}}^{\phi}$ – ресурс, использованный между двумя замерами;

Π_{ϕ} , $\Pi_{\phi}^{\frac{1}{2}}$ – значения параметра при 1-м и 2-м замерах.

На основании этих зависимостей составлены номограммы, которыми пользуются мастера-диагносты.

4.3. Прогнозирование остаточного ресурса агрегатов машин при известной наработке от начала эксплуатации

При прогнозировании ресурса при известной наработке от начала эксплуатации принимают, что изменение параметра элемента (износ детали) происходит по зависимости (рис. 4.2).

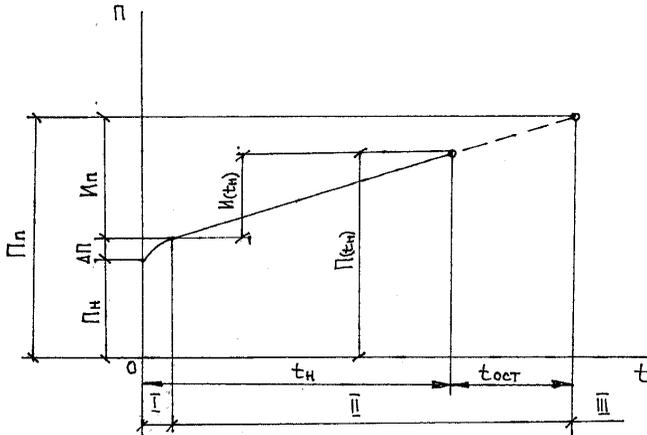


Рис. 4.2. Схема прогнозирования остаточного ресурса при известной наработке от начала эксплуатации:

I – этап приработки; II – этап нормальной работы с установившейся скоростью изменения параметра состояния; III – этап, при котором наступает предельное состояние диагностируемой составной части

Остаточный ресурс определяется по формуле

$$t_{\text{ост}} = t_H \frac{\frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{т/п}}} \cdot \frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{т/п}}}}{\frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{т/п}}}} - 1 \cdot \frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{т/п}}} \quad (4.3)$$

При $\alpha > 1$ и $\alpha < 1$ зависимость значений параметров технического состояния составных частей машины от продолжительности работы (наработки) имеет криволинейный характер, причем при $\alpha > 1$ кривая обращена выпуклостью вниз, при $\alpha < 1$ – вверх. При $\alpha = 1$ указанная зависимость линейна.

Следовательно, для определения остаточного ресурса сопряжения необходимо измерить значение соответствующего параметра $\Pi(t_H)$ и знать наработку (t_H) к моменту измерения.

Значения остальных параметров (Π_n – номинальное значение параметра состояния; Π_p – предельное значение параметра состояния; $\Delta\Pi$ – показатель изменения параметра за период приработки; α – показатель степени функции изменения параметра состояния) должны быть заданы, либо взяты из технологической карты диагностирования. При отсутствии данных по номинальным значениям отдельных параметров их допускается принять по чертежам технической документации либо руководству по эксплуатации соответствующих машин.

С целью облегчения и ускорения расчетов разработаны таблицы

значений $\frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{т/п}}} \cdot \frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{т/п}}}$ (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Значения $\frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{т/п}}}$ при определении остаточного ресурса

$\frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{т}}}$	Значения при показателе степени α									
	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,5
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	17,78	10,0	8,3	6,81	5,88	5,19	4,65	3,87	3,16	2,51
9	15,59	9,0	7,39	6,23	5,42	4,8	4,33	3,64	3,0	2,41
8	13,45	8,0	6,63	5,66	4,96	4,42	4,01	3,40	2,83	2,3
7	11,39	7,0	5,88	5,06	4,46	4,01	3,66	3,14	2,65	2,2
6	9,39	6,0	5,11	4,45	3,97	3,60	3,33	2,87	2,45	2,2
5	7,48	5,0	4,33	3,83	3,45	3,16	2,92	2,58	2,24	1,9

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	5,66	4,0	3,53	3,17	2,9	2,69	2,52	2,26	2,0	1,74
3	3,95	3,0	2,72	2,49	2,33	2,19	2,08	1,91	1,73	1,55
2,8	3,62	2,8	2,55	2,36	2,21	2,09	1,99	1,84	1,67	1,51
2,5	3,14	2,5	2,3	2,17	2,02	1,92	1,84	1,71	1,58	1,44
2,2	2,68	2,2	2,05	1,93	1,83	1,74	1,69	1,59	1,48	1,37
2,0	2,38	2,00	1,88	1,78	1,70	1,64	1,59	1,50	1,41	1,32
1,9	2,23	1,90	1,79	1,71	1,64	1,58	1,54	1,46	1,38	1,29
1,8	2,08	1,80	1,71	1,63	1,57	1,52	1,48	1,41	1,34	1,27
1,7	1,94	1,70	1,62	1,56	1,50	1,46	1,42	1,37	1,30	1,24
1,6	1,80	1,60	1,53	1,48	1,44	1,40	1,37	1,32	1,27	1,21
1,5	1,66	1,50	1,45	1,40	1,37	1,34	1,31	1,27	1,22	1,18
1,4	1,52	1,40	1,36	1,33	1,30	1,27	1,25	1,21	1,18	1,14
1,3	1,39	1,30	1,27	1,24	1,22	1,20	1,14	1,17	1,14	1,11
1,25	1,32	1,25	1,23	1,20	1,19	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10
1,2	1,25	1,20	1,18	1,16	1,15	1,14	1,13	1,11	1,10	1,08
1,15	1,19	1,15	1,13	1,13	1,11	1,11	1,11	1,09	1,09	1,06
1,1	1,13	1,10	1,09	1,08	1,08	1,07	1,07	1,06	1,05	1,04

Значение показателя степени α определяют по результатам многократных измерений значений состояния одноименных элементов. Для некоторых параметров технического состояния отдельных составных частей тракторов и сельхозмашин значения приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Значения показателя α для различных параметров составных частей тракторов и сельхозмашин

Параметр технического состояния	α
Угар картерного масла	2,0
Мощность двигателя	0,8
Расход газов, прорывающихся в картер:	
· до замены колец	1,3
· после замены колец	1,5
Зазоры в кривошипно-шатунном механизме	1,4

Параметр технического состояния	α
Зазор между клапаном и коромыслом механизма газораспределения	1,1
Износ опорных поверхностей тарелки клапана газораспределения и посадочного гнезда (утопание клапанов)	1,6
Износ кулачков распределительного вала по высоте	1,1
Износ гусеничных и втулочно-роликовых цепей (увеличение шага)	1,0
Износ плунжерных пар	1,1
Радиальный зазор в подшипниках качения	1,5
Износ посадочных гнезд корпусных деталей	1,0
Износ зубьев шестерен по толщине	1,5
Износ шлицевых валов	1,1
Износ валов, пальцев и осей	1,4
Износ накладок тормозов и дисков муфт сцепления	1,0

4.4. Прогнозирование остаточного ресурса агрегатов машин при неизвестной наработке от начала эксплуатации

При прогнозировании ресурса при неизвестной наработке от начала эксплуатации принимают, что изменение параметра элемента происходит по зависимости (рис. 4.3).

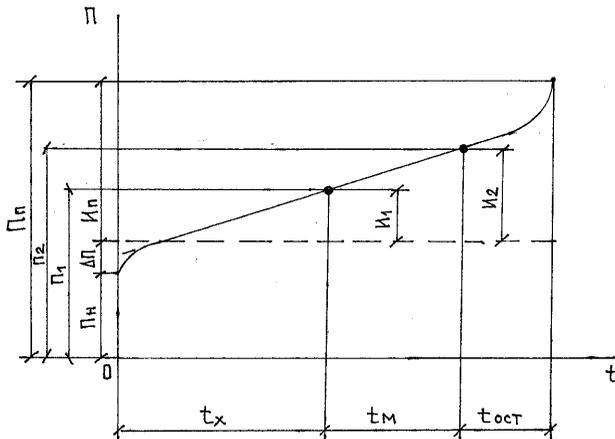


Рис. 4.3. Схема прогнозирования остаточного ресурса при неизвестной наработке от начала эксплуатации

Для данного случая остаточный ресурс определяют по значениям параметров состояния, устанавливаемым при двукратном диагностировании и наработке t_m между первым и вторым измерениями.

Например, на двигатель при текущем ремонте установлены детали цилиндрико-поршневой группы с допусковым износом, т. е. пригодные к дальнейшей эксплуатации, наработка их с начала эксплуатации неизвестна. При очередном диагностировании провели первую проверку технического состояния ЦПГ, а после отработки двигателем еще одного максимального срока t_m повторно измерили тот же параметр.

Для данного случая согласно схеме (см. рис. 4.3):

Π_1 – значение параметра, измеренное при первой проверке технического состояния ЦПГ;

Π_2 – то же при повторной проверке технического состояния ЦПГ;

$I_1 = \Pi_1 - \Pi_n$ – изменение параметра от начала эксплуатации до первой проверки;

$I_2 = \Pi_2 - \Pi_n$ – то же от начала эксплуатации до второй проверки;

t_m – межконтрольная наработка (наработка ЦПГ между первой и второй проверками);

t_x – наработка от начала эксплуатации до первой проверки (величина неизвестная).

Остаточный ресурс определяется по формуле

$$t_{\text{ост}} = t_M \frac{1}{\frac{I_2}{I_1} - 1} + 1 \frac{I_2}{I_1} \frac{I_1}{I_2} - 1 t_x, \quad (4.4)$$

при $\alpha = 1$

$$t_{\text{ост}} = t_M \frac{\Pi_1 - \Pi_2}{\Pi_2 - \Pi_1}. \quad (4.5)$$

Следовательно, при неизвестной наработке от начала эксплуатации для определения остаточного ресурса необходимо измерить значение контролируемого параметра не менее двух раз и знать наработку между этими измерениями. Остальные значения параметра принимают, как и в предыдущем случае.

4.5. Прогнозирование остаточного ресурса агрегатов с учетом случайного характера изменения параметра

Ввиду большого разнообразия условий эксплуатации машин в сельском хозяйстве, режимов работы и технического состояния деталей, динамика контролируемых параметров носит случайный характер. Кроме того, вследствие резкого изменения условий эксплуатации и нагрузочных режимов работы машин, а также в связи с заменой или переукомплектацией деталей при устранении отказов и ремонте составных частей значения параметров часто меняются не плавно, а скачкообразно. Отсюда следует, что скорость изменения параметров состояния одноименных сборочных единиц однотипных машин при одной и той же наработке неодинакова.

Случайный характер изменения параметров технического состояния составных частей машин, несмотря на периодический контроль, техническое обслуживание, замену и восстановление деталей, неизбежно приводит к рассеиванию межремонтных сроков службы составных частей. Это обуславливает, с одной стороны, неполное использование их ресурсов, а с другой – возникновение отказов в процессе эксплуатации.

Влияние случайных факторов, вызывающих значительные отклонения скорости изменения контролируемого параметра от полученной закономерности, приводит к большим отклонениям результатов измерений от соответствующих точек, лежащих на теоретической кривой.

Следовательно, если проверить прогнозирование на основе плавной кривой реализации, как это рассматривалось выше, то результаты будут иметь приближенные значения. Чтобы получить точные результаты, необходимо учесть случайные отклонения измеряемых параметров от теоретической плавной кривой, характеризующие погрешностью измерения. Остаточный ресурс в таких случаях определяют с заданной доверительной вероятностью, которая характеризует долю одноименных составных частей из некоторой совокупности, которые проработают определенный заданный ресурс. Например, при доверительной вероятности 0,90 отказы будут лишь в 10 случаях из 100.

При нормальном законе распределения погрешности прогнозирования остаточный ресурс при любой доверительной вероятности определяется по формуле

$$t_{\text{ост}} = t_n \sqrt{\frac{I_{\text{п}} + Bn_z}{I_{(t_n)} + Bn_z + 1}} - 1 \quad (4.6)$$

где B – характеристика распределения остаточного ресурса, зависящая от доверительной вероятности;

v_z – коэффициент вариации.

Значение B при различных значениях доверительной вероятности F_0 (B) приведено в табл. 4.3. При выборе доверительной вероятности F_0 (B) в каждом конкретном случае исходят из издержек, вызванных отказом составной части, из условия обеспечения безопасности работ и пр.

Чем больше издержки, наблюдаемые при отказе, тем больше должна быть доверительная вероятность. Для особо ответственных частей, устранение отказа которых требует больших издержек, а также для сопряжений, влияющих на технику безопасности при работе машины, доверительная вероятность должна быть не менее 0,95, для менее ответственных деталей – 0,60...0,95, малоответственных – 0,30...0,60.

Таблица 4.3

Значение нормированной величины B от доверительной вероятности F_0 (B)

F_0 (B)	B	F_0 (B)	B	F_0 (B)	B
0,60	0,253	0,90	1,282	0,96	1,751
0,65	0,385	0,91	1,341	0,97	1,881
0,70	0,524	0,92	1,405	0,98	2,054
0,75	0,674	0,93	1,476	0,99	2,326
0,80	0,842	0,94	1,555	0,995	2,576
0,85	1,036	0,95	1,645	0,999	3,090

При прогнозировании остаточного ресурса с учетом случайного характера изменения параметра можно также пользоваться данными [37]. Для этого при известной наработке от начала эксплуатации вместо величины $I_{\text{п}}$ используют $\frac{I_{\text{п}}}{I_{(t_n)}} + Bn_z$, а вместо $I_{(t_n)}$ используют $Bv_z + 1$.

4.6. Методика определения остаточного ресурса деталей, обеспечения долговечности, безотказности и экономичности работы дизельных двигателей

Область применения

Настоящая методика может применяться для комплексного диагностирования дизельных двигателей для определения их остаточного ресурса, обеспечения долговечности, безотказности и экономичности. Комплексное диагностирование двигателей, узлов и агрегатов на основании настоящей методики должно внедряться на территории Республики Беларусь с перспективой внедрения на территории зарубежных государств.

Методика разработана с учетом передового мирового опыта и включает термины и определения, общие положения, порядок определения остаточного ресурса, примеры определения остаточного ресурса, рекомендации по использованию остаточного ресурса.

Термины и определения

В настоящей методике применены следующие термины с соответствующими определениями.

Амплитуда колебаний – наибольшее значение величины колебаний, характеризующее уровень вибрации.

Амплитудный спектр – спектр, в котором амплитуды характеризуют гармонические составляющие колебаний.

Антифазные вибрации – два синхронных колебания со сдвигом равным π в любой момент времени.

Биения – гармонические колебания с совпадающими или близкими частотами, амплитуда которых является периодически изменяющейся величиной.

Виброакустическая диагностика – техническая диагностика, базирующаяся на комплексном анализе вибрации и акустического сигнала целевого объекта.

Вибрационная устойчивость – свойство целевого объекта сохранять исправное и работоспособное состояние при заданном уровне вибрации.

Вибрация – колебания скалярных величин, характеризующих объект.

Виброакустический метод диагностирования – основанный на неразрушающих принципах контроля технического состояния объекта диагностирования анализа параметров вибрации и звукового сигнала.

Виброакустический прибор неразрушающего контроля (многоканальная система с гибкой структурой) – средство неразрушающего

контроля, состоящее из контактного датчика температуры, вибродатчика, микрофона и тепловизионного сенсора.

Виброперемещение – описывающее вибрацию перемещение в пространстве.

Виброскорость – первая производная виброперемещения по времени.

Виброускорение – вторая производная виброперемещения по времени или первая производная виброскорости по времени.

Гармоника – составляющая периодических колебаний, частота которой кратна частоте анализируемых периодических колебаний.

Гармонические колебания – колебания, величина которых изменяется по гармоническому закону.

Гармонический анализ колебаний – колебания, представленные как сумма колебаний.

Допустимое значение параметра – значение, при котором узлы дизельного двигателя работают безотказно, и обеспечивается эффективная работа без осуществления дополнительных регулировочных операций.

Механические колебания – колебания, характеризующие механическую систему.

Номер гармоники – отношение частоты гармоники к частоте периодических колебаний, выраженное целым числом.

Номинальное значение параметра – значение, при котором дизельный двигатель обеспечивает наилучшие технико-экономические показатели работы согласно нормативно-технической документации.

Нормальное значение параметра – промежуточное значение параметра, которое не выходит за допустимые пределы согласно нормативно-технической документации.

Размах колебаний – величина, равная разности максимума и минимума колеблющейся величины.

Предельное значение параметра – значение, при котором происходит резкое уменьшение экономичности двигателя, существует угроза безопасности или происходит интенсивный износ деталей.

Свободные колебания – вибрация системы без поступления внешнего воздействия.

Сигнал виброакустического прибора неразрушающего контроля (многоканальной системы с гибкой структурой) – сигнал, связанный функционально с параметрами объекта контроля.

Фаза гармонических колебаний – величина, равная аргументу синуса, пропорционального колеблющейся величине.

Общие положения

Методика определения остаточного ресурса предназначена для установления продолжительности безотказной работы дизельных двигателей до наступления очередного технического обслуживания или планового ремонта. Учитывая, что диагностирование остаточного ресурса позволяет исключить отказы в работе двигателя, тем самым обеспечивается *долговечность* работы, т. е. сохраняется работоспособность дизельного двигателя до наступления предельного состояния. Кроме того, за счет поддержания двигателя не только в работоспособном, но и исправном состоянии посредством виброакустического диагностирования, обеспечивается состояние, при котором дизельный двигатель соответствует всем требованиям конструкторской или нормативно-технической документации, что означает функционирование двигателя в экономичном режиме.

Таким образом, виброакустическая диагностика предназначена для предупреждения возможных отказов и поддержания эксплуатационных параметров двигателей в пределах, установленных нормативной документацией.

Диагностирование ресурса дизельного двигателя целесообразно осуществлять за счет комплексного анализа различных по природе сигналов: измерение вибрации двигателя в различных точках – вибродатчиком; акустические сигналы – микрофоном, наблюдение за распределением температуры – тепловизионным сенсором. Предлагается оценивать остаточный ресурс узлов дизеля на основе распознавания образов дефектов и анализа динамики деформации формы сегментированных областей в интегрированном потоке изображений скейлограмм сигналов виброакустических датчиков и гистограмм сигналов тепловизионных сенсоров.

Подготовка исходных данных

Для определения остаточного ресурса дизельного двигателя при известной наработке от начала эксплуатации необходимо иметь исходные данные, характеризующие исходное значение параметра, значение параметра в момент контроля, использованный ресурс объекта диагностирования, предельное значение измеряемого параметра, а также показатель, характеризующий закономерность изменения значений контролируемого параметра.

4.6.1. Показатель, характеризующий закономерность изменения значений контролируемого параметра

Для определения остаточного ресурса дизельного двигателя необходимо владеть информацией о закономерности изменения значений контролируемого параметра α . В табл. 4.2 (см. выше) представлены значения показателя α , полученные по результатам испытаний в ГОСНИТИ, а также значения показателя α для форсунок дизельных двигателей, полученные в ходе выполнения исследований.

4.6.2. Исползованный ресурс исследуемого узла дизельного двигателя

4.6.2.1. Ресурс, использованный от начала эксплуатации

Ресурс, использованный от начала эксплуатации T_{ISP} , принимается равным наработке узла или механизма дизельного двигателя, являющегося объектом виброакустических исследований, от начала эксплуатации до момента контроля

4.6.2.2. Ресурс, использованный между двумя контрольными проверками

В случае если отсутствуют сведения о наработке узла или механизма от начала эксплуатации до момента контроля, то проводят измерения в два этапа и определяют значение контролируемого параметра при первом и втором измерениях. Исползованный ресурс T_{ISP}' в этом случае принимают равным наработке между двумя контрольными измерениями.

4.6.3. Номинальное и предельное значения контролируемого параметра

В качестве критерия для определения состояния контролируемого объекта могут быть приняты различные характеристики и свойства виброакустического сигнала, например, амплитуда колебаний, особенности амплитудного спектра, антифазные вибрации, биения и другие критерии.

Номинальное значение контролируемого параметра P_H соответствует значению свойства виброакустического сигнала, который снят с нового узла или механизма дизельного двигателя.

Предельное значение контролируемого параметра P_P соответствует значению свойства виброакустического сигнала, который снят с предельно изношенного и подлежащего выбраковке узла или механизма дизельного двигателя.

4.6.4. Измеренное значение контролируемого параметра

Измеренное значение контролируемого параметра соответствует значению свойства виброакустического сигнала, снятого непосредственно в момент наблюдения за состоянием узла или механизма дизельного двигателя.

4.6.4.1. Измеренное значение контролируемого параметра на примере обработки вибрационного сигнала при известной наработке от начала эксплуатации

Если на момент контроля известна наработка исследуемого объекта от начала эксплуатации, то проводится замер параметра, соответствующего свойству виброакустического сигнала в один этап. Определение свойства виброакустического сигнала, которое является критерием для определения остаточного ресурса узлов дизельного двигателя, приведем на следующем примере.

Результаты спектрального анализа виброакустических свойств представлены на рис. 4.4 и 4.5 для изношенной форсунки и форсунки с наработкой $T_{ISP} = 1200$ ч соответственно.

Анализ спектров показывает, что при включении компрессора, когда форсунка находится под минимальным давлением, вибрационные возмущения по амплитуде имеют минимальные значения. Для форсунки с наработкой на частоте 200 Гц характерны большие по амплитуде возмущения, достигающие $P = 10$ единиц, для аналогичных условий у новой форсунки амплитуда не превышает $P_H = 6$ единиц (см. рис. 4.5).

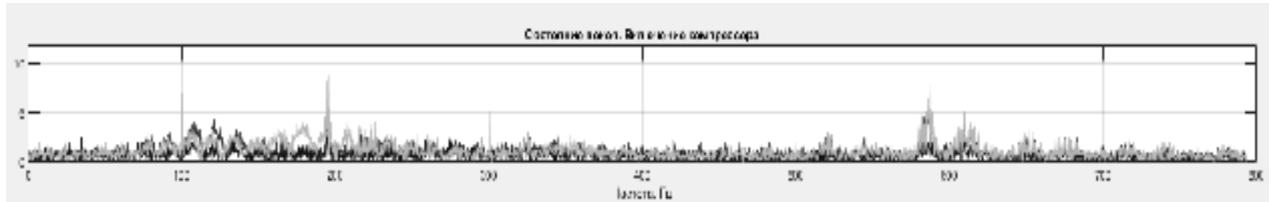


Рис. 4.4. Результаты спектрального анализа исследования форсунки с наработкой $T_{ISP} = 1200$ ч при различных условиях работы (изменение давления)

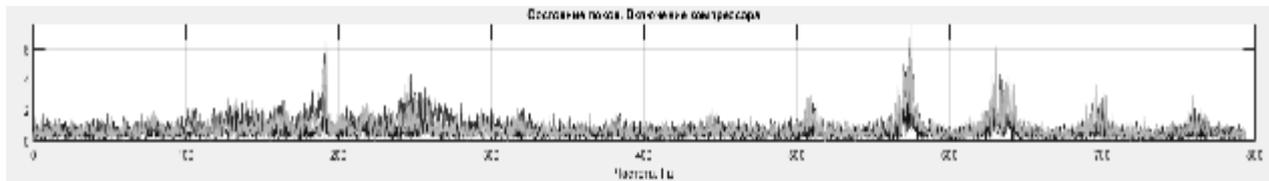


Рис. 4.5. Результаты спектрального анализа исследования новой форсунки при различных условиях работы (изменение давления)

Таким образом, результаты спектрального анализа вибрации новой форсунки и форсунки с наработкой позволяют собрать необходимые данные для определения остаточного ресурса. Наиболее приемлемым для вычисления критерием в рассмотренном примере являются амплитудные возмущения на момент включения компрессора. При этом установлено, что на момент включения компрессора при испытании форсунки, подлежащей выбраковке, амплитудные возмущения составляют $P_p = 15$ единиц.

4.6.4.2. Порядок определения измеренного значения контролируемого параметра на примере обработки акустического сигнала при неизвестной наработке от начала эксплуатации

Если на момент проведения испытаний наработка для исследуемого узла от начала эксплуатации неизвестна, то замеры производятся в два этапа.

Пример по результатам измерения акустического сигнала: на рис. 4.6 и 4.7 представлены результаты: сверху – акустический сигнал, в нижней части графика – спектр сигнала.

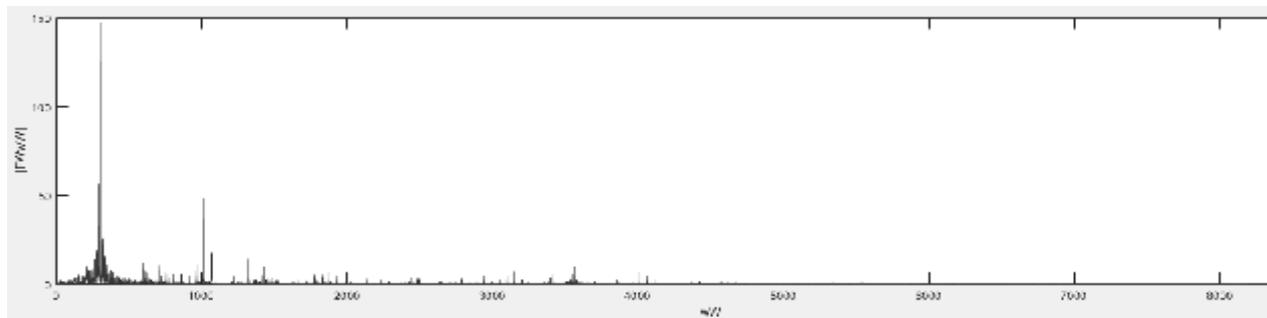


Рис. 4.6. Результаты акустических исследований форсунки с неизвестной наработкой через 125 ч после первых измерений (второй этап)

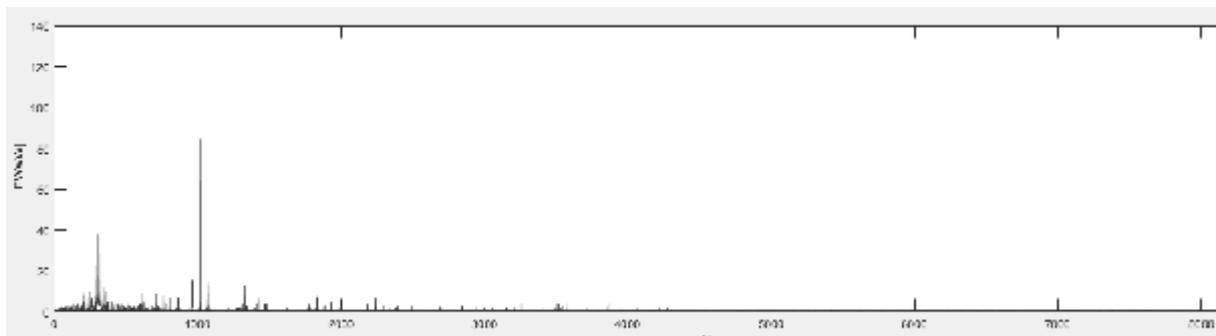


Рис. 4.7. Результаты акустических исследований новой форсунки

Результаты акустических исследований показывают, что амплитуда колебаний акустического сигнала для форсунки с неизвестной наработкой составляет порядка $P' = 120$, а через 125 ч работы при повторном контроле $P'' = 150$ единиц (см. рис. 4.6), в то время как новая форсунка (номинал) работает тише – до $P_H = 118$ единиц на низких частотах – до 250 Гц (см. рис. 4.7).

Дополнительно определена амплитуда колебаний акустического сигнала для форсунки, подлежащей выбраковке, которая составляет $P_P = 300$ единиц. Таким образом, собранные данные можно использовать для определения остаточного ресурса форсунки при неизвестной наработке от начала эксплуатации.

4.6.5. Вычисление изменения значения контролируемого параметра

Вычисление изменения значения контролируемого параметра также зависит от того, известна ли наработка узла от начала эксплуатации.

4.6.5.1. Определение изменения параметра при известной наработке от начала эксплуатации

В случае если наработка от начала эксплуатации для исследуемого узла дизельного двигателя известна, то после определения в соответствии с рекомендациями пункта 4.6.4.1 значений P , P_H и P_P вычисляют отклонение измеряемого параметра P от номинала P_H по формуле

$$I = P - P_H. \quad (4.7)$$

Затем определяют предельное изменение значения по формуле

$$I_P = P_P - P_H. \quad (4.8)$$

4.6.5.2. Определение изменения параметра при неизвестной наработке от начала эксплуатации

В случае если наработка от начала эксплуатации для исследуемого узла дизельного двигателя неизвестна, то после определения в соответствии с рекомендациями пункта 4.6.4.2 значений P' , P'' , P_H и

P_p вычисляют отклонение измеряемого параметра P' и параметра P'' от номинала P_H по формуле

$$I' = P' - P_H, \quad (4.9)$$

$$I'' = P'' - P_H. \quad (4.10)$$

Затем определяют предельное изменение значения по формуле (4.8) пункта 4.6.5.1.

4.6.6. Определение остаточного ресурса

Если наработка от начала эксплуатации узла или механизма дизельного двигателя известна, то после определения значения переменных в соответствии с пунктами 4.6.1, 4.6.2.2, 4.6.5.1 вычисляют остаточный ресурс по формуле 4.3.

Если наработка от начала эксплуатации узла или механизма дизельного двигателя неизвестна, то после определения значения переменных в соответствии с пунктами 4.6.1, 4.6.2.2, 4.6.5.2 вычисляют остаточный ресурс по формуле 4.4.

4.7. Примеры расчета остаточного ресурса

4.7.1. Пример расчета остаточного ресурса при известной наработке от начала эксплуатации

Результаты спектрального анализа показали, что предельное (выбраковочное) значение амплитуды колебания форсунки на частоте 200 Гц составляет $P_p = 15$ единиц. Номинальное значение амплитуды колебаний на названной частоте составляет $P_H = 6$ единиц, что соответствует амплитуде колебания новой форсунки. На испытания была поставлена изношенная форсунка, у которой наблюдалось нарушение подвижности иглы. Согласно табл. 4.2 для данного дефекта значение показателя α , характеризующего закономерность изменения значений контролируемого параметра, составляет $\alpha = 1,4$. Результаты виброакустического диагностирования показали, что для испытуемой форсунки амплитуда колебаний составила $P = 10$ единиц на частоте вращения 200 Гц. Использованный ресурс форсунки к моменту измерений составлял $T_I = 1200$ ч.

Для определения остаточного ресурса подсчитаем изменение значения амплитуды колебаний на частоте 200 Гц для испытуемой форсунки (отклонение от номинала):

$$I = P - P_H = 10 - 6 = 4.$$

Предельное изменение значения параметра составит

$$I_P = P_P - P_H = 15 - 6 = 9.$$

$$T_{OST} = T_l \frac{I_P}{I} - 1200 \frac{I_P}{I} = 941,6 \text{ ч.}$$

4.7.2. Пример расчета остаточного ресурса при неизвестной наработке от начала эксплуатации

Для прогнозирования остаточного ресурса форсунок, для которых отсутствуют данные об использованном ресурсе с начала эксплуатации, проводят контроль в два этапа с целью определения наработки между первым и вторым измерениями.

Результаты спектрального анализа акустического сигнала форсунок показали, что на частоте до 250 Гц амплитуда колебания акустического сигнала для новой форсунки составляет $P_H = 118$ единиц, что можно считать номинальным значением данного параметра. Предельное значение параметра, при котором форсунка подлежит выбраковке, составляет $P_P = 300$ единиц. Пользуясь полученными данными, определим остаточный ресурс форсунки, для которой неизвестна наработка с начала эксплуатации.

При проведении очередного технического обслуживания замеры акустический сигнал форсунки. Результаты спектрального анализа показали, что для испытуемой форсунки на частоте до 250 Гц амплитуда колебаний составляет $P' = 120$ единиц. Через 125 ч при проведении номерного технического обслуживания провели повторные измерения, при которых амплитуда колебаний на указанной частоте составила $P'' = 150$ единицы. При этом наблюдался дефект – ухудшение факела распыла, в этой связи по табл. 4.2 значение показателя, характеризующего закономерность изменения значений

контролируемого параметра, приняли $\alpha = 1,1$. Значение использованного ресурса принимаем равным ресурсу, использованному между первым и вторым контролем значения параметра $T_{ISP}' = 125$ ч.

Определяем значение изменения параметра амплитуды акустического сигнала к моменту первого и второго измерений, а также предельное значение изменения параметра

$$I' = P' - P_H = 120 - 118 = 2.$$

$$I'' = P'' - P_H = 150 - 118 = 32.$$

$$I_p = P_p - P_H = 300 - 118 = 182.$$

$$T_{ost}' = 125 \frac{1}{2^{0,1}} + 1 \frac{182}{32} - 1 \frac{1}{2} = 856,6 \text{ ч.}$$

4.8. Рекомендации по использованию остаточного ресурса

В процессе проведения виброакустического диагностирования и определения остаточного ресурса следует иметь в виду, что существует значительное количество внешних факторов, которые могут влиять на фактическое значение остаточного ресурса, как в сторону его увеличения, так и в сторону уменьшения.

Например, если по результатам контроля выявлен определенный остаточный ресурс, то в случае, если условия эксплуатации стали менее напряженными, например, закончился сезон основной и предпосевной обработки почвы и начался сезон ухода за посевами, при котором обеспечивается более щадящий режим загрузки двигателя, фактический ресурс может возрасти по сравнению с результатами, полученными по результатам виброакустической диагностики. Поэтому в подобных случаях нельзя отправлять дизельный двигатель в ремонт без проведения повторного контроля, иначе это приведет к недоиспользованию ресурса дизельного

двигателя. Аналогично может сложиться обратная ситуация, когда остаточный ресурс определялся для двигателя трактора, который был задействован на раздаче кормов на ферме, транспортных работах и затем был брошен на пахоту, в этом случае остаточный ресурс будет исчерпан значительно раньше полученного по результатам контроля, что может привести к отказам.

В этой связи предлагается ограничивать остаточный ресурс плановой межконтрольной наработкой конкретного узла и механизма дизельного двигателя, что позволит свести к минимуму возможные отказы и недоиспользование остаточного ресурса.

Таким образом, последовательность действий после определения остаточного ресурса по настоящей методике следующая. Если определенный по результатам виброакустического диагностирования и вычисленный по настоящей методике остаточный ресурс превышает продолжительность межремонтного контроля, то условно принимаем остаточный ресурс равным времени до следующего межремонтного контроля. В случае если вычисленный по настоящей методике остаточный ресурс оказался меньше времени до очередного контроля, узел или механизм необходимо ставить на ремонт для исключения внезапных отказов.

В результате виброакустического диагностирования узлов и механизмов дизельного двигателя могут быть получены различные значения остаточного ресурса для форсунок, подшипников коленчатого вала, плунжерных пар, зубьев шестерен и других элементов. В этом случае остаточный ресурс дизельного двигателя в целом следует принимать равным наименьшему значению вычисленного остаточного ресурса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балабанов, В. И. Автомобильные присадки и добавки / В. И. Балабанов. – М. : РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2011. – 225 с.
2. Безразборные технологии увеличения эксплуатационного ресурса автотранспортной техники / В. В. Ладиков [и др.]. – М. : VISSO, 2004. – 52 с.
3. Безразборный сервис автомобиля. Обкатка, профилактика, очистка, тюнинг, восстановление / В. И. Балабанов [и др.]. – М. : Известия, 2007. – 272 с.
4. Безызносная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания / Р. Ю. Соловьев [и др.]. – М. : ГОСНИТИ, 2015. – 196 с.
5. Васильков, Д. В. Анализ поверхностного слоя, формируемого минеральными модификаторами поверхности трения / Д. В. Васильков, И. Ф. Пустовой, Н. И. Пустовой // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 107, ч. 2. – С. 11–13.
6. Воробьев, Ю. В. Анализ содержания основных компонентов в дизельном топливе после механоактивации / Ю. В. Воробьев, И. В. Фарахшина, Д. А. Свиридов // Вестник ТГТУ. – 2016. – № 2. – С. 280–285.
7. Воробьев, Ю. В. Повышение теплотворной способности моторных топлив / Ю. В. Воробьев, А. В. Дунаев // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 8. – С. 48–51.
8. Гурьянов, Ю. А. Экспресс-методы и средства диагностирования агрегатов машин по параметрам масла : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / Ю. А. Гурьянов. – Челябинск, 2007. – 39 с.
9. Денисов, В. Г. Методы и средства технического диагностирования судовых энергетических установок / В. Г. Денисов. – М. : Феникс, 2008. – 304 с.
10. Диагностика и техническое обслуживание машин : учебник / А. Д. Ананьин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Академия, 2015. – 416 с.
11. Диагностика и техническое обслуживание машин : учебник / А. В. Новиков [и др.]; под ред. А. В. Новикова. – Минск : ИВЦ Минфина, 2013. – 340 с.
12. Диагностирование гидростатических трансмиссий / В. Я. Тимошенко [и др.] // Агропанорама. – 2009. – № 1. – С. 44–48.
13. Динамический метод диагностики автотракторных двигателей // Труды ВАСХНИЛ: Сиб. отделение. – Новосибирск : СибИМЭ, 1981. – 86 с.

14. Днепровский, К. С. Механохимические превращения углеводородов нефти : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 02.00.13 / К. С. Днепровский. – Томск, 2003. – 24 с.

15. Додонова, Д. А. Влияние алюминийсодержащей смазочной композиции на процессы трения и изнашивания металлических пар / Д. А. Додонова, В. Ф. Пичугин, Д. В. Лаптев // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 108. – С. 245–249.

16. Долматов, В. Ю. Детонационные наноалмазы: синтез, строение, свойства и применение / В. Ю. Долматов // Успехи химии. – 2007. – № 76 (4). – С. 375–389.

17. Дунаев, А. В. Исследование диагностических параметров, разработка методов и средств их контроля для совершенствования диагностирования и технического обслуживания МТП АПК / А. В. Дунаев, С. А. Соловьев. – М. : ГОСНИТИ, 2015. – 360 с.

18. Дунаев, А. В. Модернизация изношенной техники с применением трибопрепаратов / А. В. Дунаев, С. Н. Шарифуллин. – Казань, КФУ, 2013. – 272 с.

19. Дунаев, А. В. Нетрадиционная триботехника для повышения ресурса автотракторной техники. Итоги 25-летнего развития / А. В. Дунаев, Е. М. Филиппова ; под ред. С. Н. Шарифуллина. – М. : ФНАЦ ВИМ, 2017. – 252 с.

20. Дунаев, А. В. Нетрадиционная триботехника. Модификация поверхностей трения / А. В. Дунаев. – Саар-Брюккен : Lambert Academic Publishing, 2013. – 270 с.

21. Дунаев, А. В. Развитие диагностирования машин. Тракторы и автомобили / А. В. Дунаев. – Саар-Брюккен : Lambert Academic Publishing, 2013. – 308 с.

22. Дунаев, А. В. Разработка и совершенствование комплекса методов и средств диагностирования агрегатов машинно-тракторного парка агропромышленного комплекса : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / А. В. Дунаев. – М., 2014. – 471 с.

23. Дунаев, А. В. Технологические рекомендации по повышению ресурса агрегатов тракторов ремонтно-восстановительными добавками к смазочным маслам / А. В. Дунаев, В. П. Лялякин, Р. Ю. Соловьев. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 96 с.

24. Дунаев, А. В. Технологическое руководство по контролю и регулировке дымности отработавших газов дизелей тракторов, комбайнов, дорожно-строительной и автотранспортной техники в условиях эксплуатации / А. В. Дунаев. – М. : ГОСНИТИ, 1998. – 100 с.

25. Дунаев, А. В. Технология контроля и восстановления экологических показателей дизелей в эксплуатации / А. В. Дунаев. – М. : ГОСНИТИ, 1994. – 88 с.

26. Дунаев, А. В. Улучшение топливной экономичности ДВС методами механохимии / А. В. Дунаев, В. П. Миклуш, В. Е. Тарасенко // Изобретатель. – Минск, 2017. – № 5–6 (209–210). – С. 27–29.

27. Жданко, Д. А. Торможение автотракторных дизелей при послеремонтной стендовой обкатке дросселированием потока рабочей жидкости : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Д. А. Жданко. – Минск, 2011. – 185 с.

28. Зуев, В. В. Конституция, свойства минералов и строение земли (энергетические аспекты) / В. В. Зуев. – СПб. : Наука, 2005. – 400 с.

29. Изучить создание наноструктурных пленок с использованием порошковых и других материалов в сопряжениях трения дизельных двигателей : отчет о НИР : 09.04.05.01. – М. : ГОСНИТИ, 2013. – 155 с.

30. Инжиниринговая компания НПП «МИКС Инжиниринг» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mix-eng.ru>. – Дата обращения: 22.02.2019.

31. Инновационные методы повышения послеремонтной надежности сельскохозяйственной техники и инвестиционной привлекательности ремонтно-обслуживающих предприятий АПК / В. И. Чернованов [и др.]. – М. : ГОСНИТИ, 2012. – 399 с.

32. Канарев, Ф. М. Начала физхимии микромира / Ф. М. Канарев. – 8-е изд. – Краснодар : КубГАУ, 2007. – 753 с.

33. Канарев, Ф. М. Теоретические основы физхимии нанотехнологий / Ф. М. Канарев. – 2-е изд. – Краснодар : КубГАУ, 2008. – 675 с.

34. Колчин, А. В. Технологическое руководство по контролю и регулировке тракторных и комбайновых дизелей при эксплуатации / А. В. Колчин, Б. Ш. Каргиев, Д. В. Доронин. – М. : Росинформагротех, 2005. – 134 с.

35. Краусп, В. Р. Научные методы и опыт компьютеризации управления инновационными проектами до 2020 года / В. Р. Краусп. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 336 с.

36. Кузнецов, Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов / Е. С. Кузнецов, А. П. Болдин, В. М. Власов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 2001. – 535 с.

37. Лазарев, С. Ю. О концептуальных вопросах исследований в области трибологии природных минеральных материалов / С. Ю. Лазарев // Труды ГОСНИТИ. – 2012. – Т. 124, ч. 2. – С. 47–52.

38. Любимов, Д. Н. Формирование смазочных слоев под воздействием минеральных модификаторов трения / Д. Н. Любимов, К. Н. Долгополов // Трибология. Международная энциклопедия. – СПб. : ПГУПС, 2013. – Том V : Масла, смазки, присадки для подвижных трибосопряжений, герметизации и уплотнения. – С. 352–357.

39. Матвеев, А. С. Влияние загрязнения масел на работу гидроагрегатов / А. С. Матвеев. – М. : Россельхозиздат, 1976. – 48 с.

40. Микипорис, Ю. А. Улучшение экологических показателей автомобильных двигателей электромагнитной обработкой топлива / Ю. А. Микипорис. – Ковров : КГТА, 2008. – 168 с.

41. Миклуш, В. П. Обоснование применения минеральных трибосоставов для проведения безразборного ремонта / В. П. Миклуш, В. Е. Тарасенко, А. В. Дунаев // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2017. – № 7. – С. 43–51.

42. Миклуш, В. П. Организация технического сервиса в агропромышленном комплексе : учеб. пособие / В. П. Миклуш, А. С. Сайганов. – Минск : ИВЦ Минфина, 2014. – 607 с.

43. Миклуш, В. П. Организация технического сервиса в АПК / В. П. Миклуш. – Минск : БГАТУ, 2004. – 290 с.

44. Миклуш, В. П. Повышение топливной экономичности тракторных двигателей приемами трибоактивации / В. П. Миклуш, В. Е. Тарасенко, А. В. Дунаев // Науковий вісник НУБіП України. – 2017. – № 262. – С. 277–286.

45. Модернизация инженерно-технической системы сельского хозяйства / В. И. Черноиванов [и др.]. – М. : Росинформагротех, 2010. – 412 с.

46. Остриков, В. В. Смазочные материалы и контроль их качества в АПК / В. В. Остриков, О. А. Клейменов, В. М. Баутин. – М. : Росинформагротех, 2003. – 175 с.

47. Остриков, В. В. Увеличение ресурса работающего моторного масла и повышение его противоизносных свойств / В. В. Остриков, И. В. Бусин, С. В. Попов // Труды ГОСНИТИ. – 2012. – Т. 109, ч. 1. – С. 81–84.

48. Оценка технического состояния агрегатов объемного гидравлического привода в эксплуатационных условиях / Д. А. Жданко [и др.] // Агропанорама. – 2018. – № 1. – С. 37–40.

49. Павлов, О. Г. Инновационная технология безразборного ремонта узлов трения промышленного оборудования и автотехники / О. Г. Павлов // Инженерный клуб Санкт-Петербурга. – 2013. – № 3. – С. 42–45.

50. Папок, К. К. Химмотология топлив и смазочных масел / К. К. Папок ; науч. ред. А. Б. Виппер. – М. : Воениздат, 1980. – 192 с.

51. Пасечников, Н. С. Научные основы технического обслуживания машин в сельском хозяйстве / Н. С. Пасечников. – М. : Колос, 1983. – 304 с.

52. Пат. № 2268388 Российская Федерация, МПК F02M 27/00. Фильтр магнитной очистки и обработки автомобильного и авиационного топлива «ЭКОМАГ-10Г» / Ю. А. Голиков. – № 2004112248/15 ; заявл. 23.04.2004 ; опубл. 20.01.2006.

53. Пат. № 2296238 Российская Федерация, МПК F02M 27/04. Устройство для обработки топлива / А. А. Заплаткин, В. И. Медведев, Ю. А. Микипорис [и др.]. – № 2005126687/06 ; заявл. 23.08.2005 ; опубл. 27.03.2007.

54. Пат. № 2411074 Российская Федерация, МПК B01F 13/10. Комбинированный статический смеситель-активатор / Ю. В. Воробьев, В. Б. Тетерюков // № 2009124923/05 ; заявл. 01.07.2009 ; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4. – 3 с.

55. Пичугин, В. Ф. Элементный состав, строение и толщина защитных пленок на поверхностях трения пары антифрикционный сплав–сталь в глицерине / В. Ф. Пичугин, В. М. Щербинин // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 108. – С. 250–253.

56. ПО «Стендовое оборудование» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.dta-stend.ru>. – Дата обращения: 20.02.2019.

57. Повышение долговечности машин и ремонтно-технологического оборудования применением методов безразборного ремонта и технологий : учеб. пособие / В. И. Черноиванов [и др.]. – М. : ГОСНИТИ, 2015. – 236 с.

58. Повышение эффективности технического обслуживания тракторов / В. Я. Тимошенко [и др.] // Агропанорама. – 2018. – № 4. – С. 35–39.

59. Погодаев, Л. И. Структурно-энергетические модели надежности материалов и деталей машин / Л. И. Погодаев, В. Н. Кузьмин. – СПб. : АТРФ, 2006. – 607 с.

60. Пустовой, И. Ф. 14-летний опыт питерской РВС-технологии / И. Ф. Пустовой // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 107, ч. 2. – С. 38–40.

61. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей. – М. : Росинформагротех, 2005. – 211 с.

62. Ресурсосбережение при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники / В. И. Черноиванов [и др.]. – М. : Росинформагротех, 2001. – 420 с.

63. Ролич, О. Ч. Многоканальная интегрированная система виброакустической и тепловой диагностики дизельных двигателей / О. Ч. Ролич, В. Е. Тарасенко // Агропанорама. – Минск, 2019. – № 5 (135). – С. 42–45.

64. Ролич, О. Ч. Тепловой контроль работы двигателя на основе статистического анализа сигналов болометра / О. Ч. Ролич, В. Е. Тарасенко, В. С. Ивашко // Изобретатель. – 2019. – № 2–3. – С. 40–44.

65. Руководство по диагностированию самоходных комбайнов с помощью автоматизированного машинотестера КИ-13950-ГОСНИТИ / В. М. Михлин [и др.]. – М. : ГОСНИТИ, 1990. – 81 с.

66. Руководство по техническому диагностированию при техническом обслуживании и ремонте тракторов и сельскохозяйственных машин / А. Э. Северный [и др.]. – М. : Росинформагротех, 2001. – 252 с.

67. Руцкий, О. В. Акустико-эмиссионный метод диагностирования судовых энергетических установок / О. В. Руцкий, С. Ф. Юрас. – Л. : 1985. – 48 с.

68. Сафонов, А. С. Моторные масла для автотракторных двигателей. Свойства. Классификация. Ассортиментные группы / А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, В. А. Золотов. – СПб. : НППИКЦ, 2004. – 194 с.

69. Синельников, А. Ф. Автомобильные масла. Краткий справочник / А. Ф. Синельников, В. И. Балабанов. – М. : За рулем, 2003. – 176 с.

70. Система технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин по результатам диагностирования / В. М. Михлин [и др.]. – М. : Информагротех, 1995. – 64 с.

71. Современная трибология. Итоги и перспективы / под ред. К. В. Фролова. – М. : ЛКИ, 2007. – 480 с.

72. Сокол, С. А. Формирование катализатором «Evo[®]lution» в зонах трения алмазоподобных углеродных пленок : матер. Междунар. конф. «Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике», г. Новочеркасск, 2011 / С. А. Сокол, А. В. Дунаев. – Новочеркасск : 2011. – С. 133–137.

73. Соловьев, Р. Ю. Экспресс-метод выбора рационального триботехнического состава для безызносной эксплуатации двигателей внутреннего сгорания : технологические рекомендации / Р. Ю. Соловьев, Д. А. Гительман, А. К. Ольховацкий. – М. : ГОСНИТИ, 2015. – 40 с.

74. Телух, Д. М. Введение в проблему использования природных слоистых гидросиликатов в трибосопряжениях / Д. М. Телух, В. П. Кузьмин, В. В. Усачев // Трение, износ, смазка. – 2009. – № 3. – С. 13–17.

75. Технический сервис в сельском хозяйстве. Диагностика и техническое обслуживание машин : учеб. пособие / Н. В. Костюченков, А. В. Новиков [и др.]; под ред. Н. В. Костюченкова и А. В. Новикова. – Астана : КАТУ им. С. Сейфуллина, 2016. – 245 с.

76. Техническая эксплуатация машин [Текст]: учеб. пособие / А. В. Новиков [и др.]. – Минск, Элиста : изд-во Калм. ун-та, 2018. – 144 с.

77. Технологическое руководство по диагностированию тракторов и самоходных сельскохозяйственных комбайнов / А. В. Колчин [и др.]. – М. : Росинформагротех, 2006. – 241 с.

78. Технологическое руководство по контролю и регулировке зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов с применением комплекта средств КИ-28120М-ГОСНИТИ / Российская академия сельскохозяйственных наук. – М. : Росинформагротех, 2005. – 170 с.

79. Технологическое руководство по проверке и регулировке агрегатов гидравлической и масляной системы автотракторной техники / [В. И. Черноиванов и др.]. – М. : Росинформагротех, 2009. – 94 с.

80. Технология проверки и регулировки гидроприводов самоходных сельскохозяйственных машин с использованием мобильного комплекта средств КИ-28084М. – М. : Росинформагротех, 2009. – 170 с.

81. Тракторы сельскохозяйственные. Руководство по ресурсному диагностированию на СТ0Т и ремпредприятиях. – М. : ГОСНИТИ, 1985. – 88 с.

82. Трение, износ, смазка (трибология и триботехника) / А. В. Чичинадзе [и др.] ; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 2003. – 576 с.

83. Триботехнические характеристики газодинамических покрытий / А. В. Дунаев [и др.] // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2013. – № 8. – С. 17–19.

84. Управление надежностью сельскохозяйственной техники методами диагностики и триботехники : монография / В.П. Миклуш [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2019. – 392 с.

85. Устройство для механо-химической обработки и снижения расхода углеводородного топлива / Ю. В. Воробьев [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 1. – С. 21–22.

86. Федоренко, В. Ф. Повышение ресурсоэнергоэффективности АПК / В. Ф. Федоренко, В. И. Черноиванов, А. А. Ежевский. – М. : Росинформагротех, 2014. – 283 с.

87. Черноиванов, В. И. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства / В. И. Черноиванов, А. А. Ежевский, В. Ф. Федоренко. – М. : Росинформагротех, 2012. – 284 с.

88. Черноиванов, В. И. Система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве / В. И. Черноиванов, А. Э. Северный, Л. М. Пильщиков. – М. : ГОСНИТИ, 2001. – 168 с.

89. Чечет, В. А. Безразборные технологии увеличения эксплуатационного ресурса автотранспортной техники / В. А. Чечет, В. В. Ладиков, А. В. Дунаев. – М. : VICCO, 2004. – 52 с.

90. Шабанов, А. Ю. Очерки современной автохимии. Мифы или реальность? / А. Ю. Шабанов. – СПб. : Иван Федоров, 2004. – 216 с.

91. Эффективность применения минеральных модификаторов при техническом сервисе в АПК / А. В. Дунаев [и др.]. – М. : Росинформагротех, 2014. – 161 с.

92. Horiba [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.horiba.com>. – Дата обращения: 23.12.2019.

93. Mezservis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pentainvestments.com/en/investments/project/mezservis-5eLWa1.aspx>. – Дата доступа: 26.12.2019.

94. Tribology of Diamond-Like Carbon Films. Fundamentals and Applications / ed.: C. Donnet, A. Erdemir. – Springer, 2008. – 664 p.

95. Yuansheng, J. Superlubricity of in Situ Generated Protective Layer on Worn Metal Surfaces in Presence of Mg₆Si₄O₁₀(OH)₈ / J. Yuansheng, L. Shenghua ; ed.: A. Erdemir // Superlubricity. – Elsevier, 2007. – P. 445–469.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Жданко Дмитрий Анатольевич,
Тарасенко Виктор Евгеньевич,
Непарко Татьяна Анатольевна

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *Т. А. Непарко*
Редактор *Г. В. Анисимова*
Корректор *Г. В. Анисимова*
Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского*
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 14.03.2022. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 16,27. Уч.-изд. л. 12,72. Тираж 99 экз. Заказ 18.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–1, 220023, Минск.