

В. Е. Тарасенко¹, А. А. Жешко², П. А. Гаврукович¹

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: trs9@yandex.by

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azeshko@gmail.com

АНАЛИЗ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. Изложены результаты анализа этапов развития и функциональных возможностей средств диагностирования автотракторных двигателей различных поколений, описаны современные портативные сканеры (OBD2), микропроцессорные мотор-тестеры и универсальные диагностические комплексы широкого функционала, позволяющие выполнять оценку состояния двигателя по основным его параметрам, осуществлять регистрацию и расчет показателей индикаторной диаграммы в функции угла поворота коленчатого вала. Приведены результаты разработки многоканальной цифровой системы диагностирования с гибкой структурой, отличающейся повышенной помехоустойчивостью каналов связи.

Ключевые слова: диагностирование, двигатель, сканер, мотор-тестер, сигнал, датчик, комплекс.

V. E. Tarasenko¹, A. A. Zheshka², P. A. Gavrukovich¹

¹EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: trs9@yandex.by

²RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azeshko@gmail.com

ANALYSIS OF CONTROL TOOLS FOR THE MAIN PARAMETERS OF AUTOMOTIVE AND TRACTOR ENGINES

Abstract. This article presents the results of an analysis of the development stages and functional capabilities of diagnostic tools for automotive and tractor engines of various generations. It describes modern portable scanners (OBD2), microprocessor-based engine testers, and universal diagnostic systems with a wide range of functions that enable the assessment of engine condition based on its main parameters, as well as the recording and calculation of indicator diagram readings as a function of crankshaft rotation angle. The article also presents the results of the development of a multi-channel digital diagnostic system with a flexible structure, characterized by increased noise immunity of communication channels.

Keywords: diagnostics, engine, scanner, motor tester, signal, sensor, complex.

В настоящее время значимую информацию об основных параметрах работы мобильной машины и ее ключевой составляющей – двигателя – можно получить через диагностический разъем с помощью специального оборудования (сканера), которое можно назвать основным диагностическим оборудованием, предусмотренным производителем машины. Сканер актуален при диагностировании тех неисправностей, которые обнаруживает система самодиагностики (OBD2). Так, диагностические работы на кафедре ТиОТС БГАТУ выполняются с помощью современного портативного сканера AUTEL MaxiCOM MK808BT Pro (рисунок 1). Основными функциями данного сканера являются: EPB (обслуживание для поддержания безопасности и эффективности электронной тормозной системы); BMS (сервис оценки состояния заряда батареи, контроля тока замыкания, регистрация замены батареи); DPF (сервис для дизельной системы сажевого фильтра



Рисунок 1 – Сканер AUTEL MaxiCOM MK808BT Pro

с регенерацией); DPF (замена компонентов DPF после замены блока управления двигателем); SAS (сервис помогает очистить ошибку о датчике угла поворота и осуществить калибровку датчика угла поворота руля); TPMS (сервис для отображения идентификаторов датчиков TPMS из ECU, а так же прописка новых датчиков TPMS); IMMO (сервис для чтения кода IMMO); ABS (сервис для прокачки тормозной системы) и др.

В современной мобильной машине самодиагностика по математической модели контролирует взаимосвязанность показаний всех датчиков, и в случае их выхода за рамки модели генерируется код неисправности [1]. Зачастую неисправность не может быть обнаружена системой самодиагностики или же самодиагностика не может определить причину возникновения неисправности. В этом случае можно прибегнуть к анализу сигналов в проводке мобильной машины для получения дополнительной, углубленной информации о характере протекающих процессов. Такой анализ выполняется при помощи дополнительного диагностического оборудования. Ярким и наиболее распространенным вариантом такого оборудования выступает осциллограф. В большей же степени наиболее полное диагностирование можно осуществить с помощью специальных измерительных комплексов, которые значительно превосходят по возможностям осциллограф и позволяют выполнять анализ рабочих процессов ДВС.

Далее в настоящей работе представлен анализ функциональных возможностей средств диагностирования автотракторных двигателей (АТД), в том числе электронных средств контроля начального поколения.

Совершенствование технологий и средств технического обслуживания современных АТД требует разработки достоверных методов их комплексного диагностирования, создания современного оборудования. При диагностировании АТД широко распространены методы, основанные на измерении целого ряда физических величин, характеризующих быстропеременные рабочие процессы, в ряде случаев – состояние моторного масла. Высокоинформативными из них являются давление в камере сгорания (в целом параметры индицирования) и в топливопроводе (рампе) высокого давления, ход иглы форсунки, спектральный анализ моторного масла. Важным является давление во впускных и выпускных коллекторах, в картере двигателя, положение впускных и выпускных клапанов и др. Необходим одновременный и параллельный анализ работы одного или нескольких цилиндров. В силу циклического характера работы двигателя измерения проводят в единичных последовательных циклах с синхронизацией, как правило, по углу поворота его коленчатого вала (КВ) [2, 3].

Решение поставленных задач возможно при создании автоматизированных средств анализа рабочих процессов и процессов в наиболее ответственных сопряжениях АТД – электронных диагностических приборов и систем на основе достижений измерительной и вычислительной техники, обеспечивающих наиболее эффективное получение информации и представление ее в удобном виде.

Периодом активной разработки автоматизированных электронных средств контроля следует считать 1970–1980-е гг. Так, результатом масштабных работ по созданию электронных средств диагностирования в то время явились электронные диагностические средства ЭМДП-2 и ЭМДП-М,



Рисунок 2 – Диагностическая измерительно-прогнозирующая система (ДИПС) КИ-13940-ГОСНИТИ на основе электронного измерительного комплекса К-736 Ленинградского института ВНИИЭП (разработка выполнена ВНИИЭП совместно с ГОСНИТИ, ЛСХИ, УкрГОСНИТИ и Киевским СКБ им. Ястребова)

разработанные в ЛСХИ. В 1980-е гг. с участием лаборатории № 24 ГОСНИТИ, Ленинградского института ВНИИЭП Минприбора были созданы серии электронных диагностических комплексов К-736, К-738, К-748, а Тартуским филиалом ЦОКТБ-ГОСНИТИ – установки ДИПС (КИ-13940-ГОСНИТИ на базе комплекса К-736). На рисунке 2 представлен внешний вид диагностической измерительно-прогнозирующей системы (ДИПС) КИ-13940-ГОСНИТИ на основе электронного измерительного комплекса К-736. Установка контролирует 185 параметров, измеряемых и регистрируемых с центрального пульта, и 99 – с выносного пульта [3, 4].

Киевское производственное объединение (ПО) «Точэлектроприбор» (в начале 2000-х гг. – ПАО «Компания Росток») изготовило для АПК 178 комплексов К-736 и более десятка комплексов К-738 и К-748 для других отраслей. С 1983 г. Киевским ПО «Точэлектроприбор» совместно с лабораторией № 24 ГОСНИТИ велись разработки «Комплекса агрегатных средств измерительно-вычислительного для диагностики К-539» (в коллектив разработчиков входили А. Г. Скорик, В. А. Макаров, В. В. Закраснянный, В. И. Фурс, А. Н. Тюпа и др.). Впоследствии Тартуский филиал ЦОКТБ ГОСНИТИ наладил выпуск автоматизированного машинно-тестера (АМТ) КИ-13950-ГОСНИТИ. Было изготовлено 25 серийных, макетный и опытный образцы комплексов К-539 и 25 АМТ КИ-13950-ГОСНИТИ. Внешний вид комплекса К-539 приведен на рисунке 3.

Следует отметить некоторые прогрессивные особенности комплекса К-539. А именно: в нем реализовано измерение напряжения постоянного и переменного тока, частоты вращения, угла



Рисунок 3 – Внешний вид комплекса К-539 СКБ Киевского ПО «Точэлектроприбор» (слева направо): блок связи К-539/БС, контроллер К-539/КТ и терминал К-539/ТМ

поворота КВ, расхода топлива, активного электросопротивления, коэффициента вариации вибросигнала с применением (впервые) приемов искусственного интеллекта для обеспечения стабильности опорного вибросигнала для развертки углов поворота КВ. Все электрические сигналы преобразуются в конкретные диагностические показатели. Развертка сигналов проводится по времени, углу поворота КВ, по скорости его вращения в широких пределах. Программы измерения легко корректируются и составляются заново под любой объект контроля. Комплекс не чувствителен к вариации уровня электропитания и температуры окружающей среды.

Прогрессивные решения несли в себе конструкция портативного средства диагностирования автотракторных дизелей, микропроцессорного тестера МП-5001 (КИ-5888-ГОСНИТИ), технические характеристики которого представлены в таблице.

Достаточно оригинальным и при этом более простым, но с меньшими измерительными возможностями явился электронный индикатор параметров автотракторных дизелей КИ-13966-ГОСНИТИ. Его отличительная особенность заключалась в использовании встроенных в диагностируемую машину преобразователей частоты вращения, давления и температуры, накладных датчиков и стробоскопического фонаря, не требующих встраивания в дизель, а также использование методов контроля на переходных и нестационарных режимах работы дизеля.

Техническая характеристика микропроцессорного тестера КИ-5888-ГОСНИТИ

№	Показатели	Единицы измерения	Значения
1	Измеряемые параметры:		
	– дымность отработавших газов с помощью измерительного преобразователя дымомера МЕТА-01	%	3–100
	– давление, разрежение газов датчиками ИПД-2	МПа	– 0,06...+1,00
	– давление жидкостей датчиками ИПД-2	МПа	0–40,0
	– расход дизельного топлива с помощью тахометрических преобразователей ТПР-3 и ТПР-5	л/ч	3,0–90,0
	– расход картерных газов через индикатор КИ-13 671.01-ГОСНИТИ с потенциометром ПТП-21К	л/мин	10–360
	– частота вращения валов с помощью индуктивного отметчика вращения ОВИ-1	мин ^{–1}	120–2400
	– температура жидкостей и газов	°С	10–150
	– напряжение постоянного тока	В	0–50
2	Основная приведенная погрешность измерений	%	2–5
3	Напряжение питания, в том числе от трактора, машины	В	12/24
4	Потребляемая мощность	Вт	50
5	Габаритные размеры приборного блока	мм	400 × 350 × 200
6	Масса в контейнере вместе с принадлежностями	кг	10,5

На протяжении многих лет Сибирским физико-техническим институтом аграрных проблем (СибФТИ СФНЦА РАН, Новосибирск) велись разработки технических средств диагностирования тракторных двигателей по параметрам рабочих процессов. В 1975 г. институтом (совместно с НПО «Звезда») одним из первых был разработан комплекс анализа рабочих процессов (КАРП), нацеленный на обработку индикаторных диаграмм двигателей. Опыт применения разработанных в то время приборов показал их низкую эффективность, поэтому требовалось создания технических средств, измеряющих и регистрирующих рабочие процессы АТД в комплексе [2]. Позднее был разработан измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) «ЦИКЛ» с цифровым ядром, который характеризовался широкими функциональными возможностями по анализу сигналов с целью определения технического состояния АТД.

Для работы с дизельными двигателями создавалась измерительная система Diesel Master 1 000, которая предназначена для непрерывного контроля нагрузки дизеля и параметрической диагностики рабочего процесса в его цилиндрах, для использования на дизелях при частотах вращения коленчатого вала от 30 до 3 000 мин^{–1} [5]. В состав системы входят: персональный

компьютер, блок аппаратного интерфейса, датчики частоты вращения, давления газа, впрыска топлива и положения рейки топливного насоса.

Известен разработанный ЗАО «ЦИКЛОН» для диагностики технических средств, работа которых связана с вибрациями, стенд виброакустической диагностики «Дельфин-1М» [6]. Полученная от узлов и механизмов информация обрабатывается компьютером по специально разработанным программам, позволяющим оператору принимать решения о техническом состоянии диагностируемых объектов. Стенд имеет суммарно 8 каналов сбора информации, из них 2 ультразвуковых канала, 2 канала вибрационных характеристик, 1 потенциальный канал, есть также 1 канал регистрации давления и 2 служебных канала. При этом частота опроса каналов составляет 70 кГц, полоса пропускания рабочих частот ультразвуковых каналов – 70–90 кГц, а полоса пропускания рабочих частот канала высокочастотных вибрационных характеристик – 5–10000 Гц.

Приборостроительное предприятие «Висом» (г. Смоленск) разрабатывает и производит оборудование для проведения вибрационных испытаний, системы регистрации данных, измерительные приборы. Примером multifunctional продукции данного предприятия является универсальный регистратор-анализатор спектра ВС-311, который предназначен для измерения, регистрации и анализа данных вибрации и других физических величин, определяемых с помощью подключенных к прибору датчиков. Весомым преимуществом является то, что приборы серии ВС-311 можно объединить (до восьми) для синхронного сбора данных по 64 каналам.

Заслуживает внимания эффективный инструмент диагностики бензиновых и дизельных двигателей, разработанный в нашей республике (ООО «Тиронд», г. Минск), – мотор-тестер М 3-2, который представляет собой микропроцессорный прибор с комплектом датчиков и соединительных устройств [7]. Конструктивно мотор-тестер размещается в корпусе системного блока персонального компьютера (рисунок 4). На передней панели размещены встроенный жидкокристаллический дисплей, окно приемника дистанционного управления и основные органы управления. На задней панели размещены разъемы для подключения шнура питания от сети 230 В (50 Гц) кабелей с датчиками, устанавливаемыми на контролируемом двигателе, и кабелей для возможного подключения принтера и компьютера, которые помогают выполнить документирование полученных результатов измерения.

Мотор-тестер М 3-2 позволяет проводить тестирование дизельного двигателя на режимах холостого хода и повышенных оборотов, измерять параметры системы пуска (в результате замера формируются осциллограммы напряжения и тока), определять мощность двигателя (реализуется цикл «разгон-выбег»), осуществлять работу в режиме осциллографа и сканера кодов.

Достаточно функциональным является универсальный диагностический комплекс DTS–25 холдинга ДИАМАКС [8, 9], предназначенный для использования на специализированных (дилер-

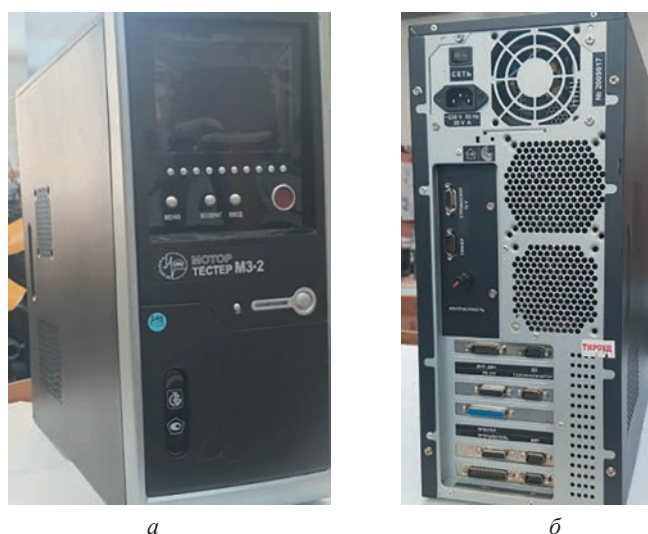


Рисунок 4 – Внешний вид системного блока мотора-тестера М 3-2: а – вид спереди, б – вид сзади

ских) центрах, универсальных автоцентрах и СТО, а также непосредственно на постах диагностики системы управления двигателем и на участках приемки машин в ремонт. Комплекс DTS–25 предназначен для работы с бензиновыми и дизельными двигателями, включает диагностический сканер, мотор-тестер, газоанализатор «Инфракар М1.01» и стойку «Скат-2РГ». Сканер осуществляет идентификацию, чтение и стирание кодов ошибок, отображение текущих данных, активацию исполнительных механизмов, адаптацию, кодирование (программирование) блоков управления, регулировку СО, сброс сервисных интервалов. Мотор-тестер способен выполнять построение осциллограмм сигналов в первичных и вторичных цепях, одновременное отображение «холостой» и «рабочей» искры, статистическую оценку ВВТ. Возможна работа в режиме 4-канального осциллографа с ручной и автоматической настройкой на измеряемые сигналы (чувствительность, развертка, синхронизация и т. п.), измерение относительной компрессии и мощностного баланса цилиндров (EAD-225), а также оценка эффективной мощности двигателя (EAD-225), доступна библиотека стандартных сигналов, система помощи и подсказок. Газоанализатор в составе комплекса DTS–25 выполняет измерение CO, CH, CO₂, O₂, λ, статический и динамический газоанализ.

Современным инструментом диагностирования является универсальный программно-аппаратный комплекс МТ Pro 4.1 (рисунок 5), сочетающий в себе возможности осциллографа и мотора-тестера [10]. МТ Pro 4.1 представляет собой универсальный измерительный прибор, не привязанный к какой-либо конкретной марке или модели машины. Прибор обеспечивает возможность непосредственного подключения датчиков и щупов к соответствующим электрическим цепям машины без необходимости использования дополнительных адаптеров, делителей и т. д.

МТ Pro 4.1 может использоваться как для непосредственной диагностики электрических систем машины, так и для диагностики разнообразной электроники (сигнализаций и др.). Позволяет эффективно выявлять неисправности в системах зажигания (определение состояния свечей и свечных проводов, режимов работы и неисправностей катушки зажигания, определение углов опережения зажигания); в системе топливоподачи (электрическая проверка топливных форсунок, проверка работы датчиков температуры, положения дроссельной заслонки, датчика кислорода, датчика массового расхода воздуха и т. д., проверку работы исполнительных механизмов); в системе газораспределения (оценка относительной компрессии по цилиндрам в режиме стартерной прокрутки, измерение компрессии в динамике (на работающем двигателе) и в режиме прокрутки, определение правильности установки ремня ГРМ, контроль работы клапанов).

Последние десятилетия ведутся разработки средств дистанционного контроля как показателей в целом автотракторной техники, так и показателей АТД. Известны разработки устройств дистанционного онлайн-мониторинга показателей автотракторной техники, позволяющие осуществлять обработку и сбор информации о техническом состоянии машины в период ее эксплуатации [11, 12]. Доступны сегодня также портативные диагностические комплексы высокой эффективности, в качестве примера можно указать диагностический набор от Akrit Engineering [13], который объединяет беспроводной индикатор давления в двигателе (ELPI) и измеритель раскеепов (EDD) в одном устройстве.

Современные АТД могут работать при более высоких пиковых значениях давления в камере сгорания, стандартные процессы сгорания могут быть реализованы для режимов работы



Рисунок 5 – Внешний вид программно-аппаратного комплекса МТ Pro 4.1

с большими нагрузками, а на протяжении всего срока эксплуатации двигателя можно достичь стабильного контроля над вредными выбросами [14]. В настоящее время осуществима регистрация процесса индицирования двигателя в режиме реального времени, в конструкции двигателей применяется достаточно новый метод контроля давлений в цилиндрах с помощью свечей накалывания с датчиками давления [1, 15]. Примером могут служить высокотехнологичные свечи BERU 0103010907, серийно устанавливаемые на легковые автомобили. Их применение позволяет с наибольшей достоверностью определять среднее индикаторное давление и индикаторную мощность двигателя, оценивать особенности отдельных рабочих процессов, механические потери на трение, показатели политроп сжатия и расширения, жесткость работы двигателя и иные закономерности [15].

Широким функционалом обладает мобильный диагностический комплекс (МДК), который разработан специалистами МАДИ для анализа работы различных систем мобильных машин, при этом вопросы анализа работы и диагностирования ДВС проработаны наиболее полно [1]. Данный комплекс востребован при диагностировании сложных неисправностей, позволяет осуществлять сбор и обработку большого объема экспериментальных данных. Возможность анализа работы двигателя не только в функции времени, но и в функции угла поворота коленчатого вала принципиально отличают возможности МДК от осциллографа. Для анализа работы ДВС предусмотрена возможность использования датчиков давления в цилиндре двигателя (датчики давления совмещают со свечами накалывания или свечами зажигания) и регистрации параметров, влияющих на протекание рабочего процесса, прежде всего, управляющих импульсов катушек зажигания и топливных форсунок.

Интересными являются мероприятия по повышению функциональных возможностей рассматриваемого МДК [1], для чего осциллограммы линий моторного жгута и информацию от электронного блока управления (ЭБУ), получаемую через диагностический разъем, предполагается регистрировать синхронно под управлением программного обеспечения данного комплекса.



Рисунок 6 – Структурированная схема интеллектуальной системы диагностирования автотракторных двигателей

С учетом перечисленных выше особенностей в БГАТУ разработана многоканальная система диагностирования с гибкой структурой [16], которая объединяет 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, оптимальным соотношением стоимости к вычислительной способности. Система позволяет диагностировать неисправности АТД в масштабе реального времени, параллельно отображая на дисплее динамику изменения сигналов (спектрограммы и/или скейлограммы), обрабатывая пользовательские запросы и формируя протокол изменения картины состояния АТД на SD-карте или внешних USB-носителях информации. Система дополнена программным многоканальным драйвером цифровых датчиков вибрации, благодаря чему создана возможность считывания и записи данных одновременно с трех датчиков вибрации [17].

Учитывая опыт формирования современных систем диагностирования автотракторной техники [18, 19], авторами предлагается модель интеллектуальной системы диагностирования параметров технического состояния автотракторных двигателей, структурированная схема которой представлена на рисунке 6.

Таким образом, при оценке состояния систем и механизмов АТД наиболее результативным и достоверным является комплексный подход, когда возможности автоматизированных средств диагностики позволяют задавать различные диапазоны контроля величин сигнала, его длительности, расположения по времени процесса диагностирования и в разных режимах работы объекта контроля, осуществлять измерения сигналов вибрации в узком частотном диапазоне.

Список использованных источников

1. Мобильный комплекс для анализа работы ДВС : сайт компании Madi-AUTO. – М., 2005–2026. – URL: <https://www.madi-auto.ru/company/articles3/20/> (дата обращения: 17.05.2025).
2. Развитие технических средств диагностирования тракторных ДВС по параметрам рабочих процессов / О. Ф. Савченко, В. В. Альт, С. Н. Ольшевский [и др.] // Труды ГОСНИТИ / Россельхозакадемия, ГОСНИТИ. – М., 2015. – Т. 118. – С. 108–111.
3. Тарасенко, В. Е. Автоматизированные средства контроля основных параметров автотракторных двигателей / В. Е. Тарасенко, П. А. Гаврукович, А. Б. Азизов // Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения и технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 25-летию образования ф-та «Технический сервис в АПК», Минск, 4–5 июня 2025 г. ; редкол.: Л. М. Акулович [и др.]. – Мн. : БГАТУ, 2025. – С. 72–77.
4. Электронная диагностика : электр. с.-х. библиотека знаний. – URL: <http://www.cnshb.ru/AKDiL/0024/base/R3/000386.shtm> (дата обращения: 17.05.2025).
5. Пахомов, Ю. А. Основы научных исследований и испытаний тепловых двигателей : учебник / Ю. А. Пахомов. – М. : Транслит, 2014. – 432 с.
6. Коновалов, А. И. Диагностируем на «Дельфине» : метод. пособие / А. И. Коновалов, О. Н. Лукьяненко. – Луганск, 2006. – 100 с.
7. Мотор-тестер М 3-2. Руководство по эксплуатации. КСЮА. 461263.001 РЭ. – 97 с.
8. Мусаелянц, Г. Г. Диагностический комплекс для выявления неисправностей ДВС современных автомобилей / Г. Г. Мусаелянц, Е. А. Павленко, Д. К. Сысоев // Вестник СибАДИ. – 2017. – Вып. 1 (53). – С. 72–77.
9. FiS Система выбора товаров и услуг: сайт ООО «ДИАМАКС». – М., 2005–2026. – URL: <https://diamax.fis.ru/product/7778921-universalnyj-diaagnosticheskiy-kompleks-dts-25> (дата обращения: 17.05.2025).
10. Диагностическое оборудование. Мотор-тестер MT Pro 4.1 : сайт AUTODIAG.BY. – Мн., 2010. – 2026. – URL: <http://www.autodiag.by/motor-testery/motor-tester-mt-pro-4.0.html>. (дата обращения: 17.05.2025).
11. Дорохов, А. С. Сбор информации о надежности сельскохозяйственных машин с использованием систем мониторинга с помощью контроля параметров технического состояния / А. С. Дорохов, М. Н. Костомахин, А. Н. Воронов // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2018. – № 8. – С. 20–28.
12. Костомахин, М. Н. Устройство дистанционного мониторинга параметров надежности сельскохозяйственной техники / М. Н. Костомахин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2021. – № 1. – URL: <https://panor.ru/magazines/selskokhozyaystvennaya-tekhnika-obsluzhivanie-i-remont/numbers/3688.html#> (дата обращения: 20.06.2025).
13. Портативный диагностический комплекс (ELPI + EDD) : сайт Akrit Engineering. – 2010–2026. – URL: <https://akritengineering.com/ru/pds.html> (дата обращения: 20.06.2025).
14. Свеча накаливания с датчиком давления для VW AG от BERU : эл. ресурс. – URL: <https://www.tehparts.com/about/articles/69/> (дата обращения: 15.05.2025).

15. Тарасенко, В. Е. Эффективные методы и средства диагностирования автотракторных двигателей / В. Е. Тарасенко, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Мн., 2025. – Вып. 58. – С. 268–273.
16. Ролич, О. Ч. Многоканальная интегрированная система виброакустической и тепловой диагностики дизельных двигателей / О. Ч. Ролич, В. Е. Тарасенко // Агропанорама. – 2019. – № 5 (135). – С. 42–45.
17. Тарасенко, В. Е. Программный драйвер цифровых датчиков вибрации, входящих в состав многоканального прибора интегрированного виброакустического и теплового диагностирования / В. Е. Тарасенко, О. Ч. Ролич, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Мн., 2025. – Вып. 58. – С. 305–312.
18. Ерохин, М. Н. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники / М. Н. Ерохин, А. С. Дорохов, Ю. В. Катаев // Агроинженерия. – 2021. – № 2 (102). – С. 45–50.
19. Прогнозирование отказов в двигателях сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий / Ю. В. Катаев, М. Г. Загоруйко, И. А. Тишанинов, Е. А. Градов // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 2. – С. 79–82.