

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.171:004.4

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-6-82-91>

## Устройство для мониторинга системы подачи воздуха и диагностических параметров работы ДВС сельскохозяйственной техники

**Ю.В. Катаев<sup>1</sup>**, **А.С. Саяпин<sup>2</sup>**, **Е.В. Пестряков<sup>3</sup>**, **М.Н. Костомахин<sup>4</sup>**, **Н.А. Петрищев<sup>5</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия

<sup>1</sup> [ykataev@mail.ru](mailto:ykataev@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

<sup>2</sup> [comaconcrsas@mail.ru](mailto:comaconcrsas@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6527-780X>

<sup>3</sup> [unlimited-007@yandex.ru](mailto:unlimited-007@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7399-9906>

<sup>4</sup> [redizdat@mail.ru](mailto:redizdat@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-1126-7520>

<sup>5</sup> [gosniti14@mail.ru](mailto:gosniti14@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-3608-5408>

**Аннотация.** Загрязненность воздушного фильтра дизельного двигателя приводит к снижению его мощности и топливной экономичности, ухудшению условий труда оператора и экологической безопасности техники. Исследования проведены с целью разработки устройства для мониторинга технического состояния системы воздухоочистки и диагностических параметров работы ДВС. Разработанное экспериментальное устройство на базе микроконтроллера ATmega2560 включает в себя датчик разряжения XGZP6847A в впускном коллекторе ДВС, датчик давления картерных газов QDW90A, датчик скорости вращения коленчатого вала TENSTAR ROBOT E18-D80NK, датчик температуры отработавших газов TZT MAX6675, датчик температуры охлаждающей жидкости ДВС, датчик температуры воздуха окружающей среды DS18B20. Для обработки считываемых с датчиков данных о состоянии воздушной системы с последующим отображением результатов измерения и анализа на дисплее устройства разработано программное обеспечение. Быстродействие программного алгоритма на микроконтроллере – не более 0,05 с. Разработанный экспериментальный образец устройства позволяет в процессе эксплуатации оперативно оценивать текущее состояние системы воздухоочистки и определять общее состояние эксплуатационных характеристик дизельных двигателей. При мониторинге состояния ДВС возможны следующие варианты индикации на дисплее устройства: чистый фильтр; допускаемая загрязненность; предельная загрязненность; аварийное состояние; разгерметизация системы воздухоочистки; низкая мощность ДВС. Разработанное устройство позволит собирать исходную информацию для системы интеллектуальной оценки технического состояния с применением нейронных сетей в целях корректировки типа работы и времени технического обслуживания.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственная техника; ДВС; воздушный фильтр; техническое состояние; мониторинг; устройство для мониторинга; датчик; система воздухоочистки

**Для цитирования:** Катаев Ю.В., Саяпин А.С., Пестряков Е.В., Костомахин М.Н., Петрищев Н.А. Устройство для мониторинга системы подачи воздуха и диагностических параметров работы ДВС сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 6. С. 82-91. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-6-82-91>

## ORIGINAL ARTICLE

## Device for monitoring the air intake system and diagnostic parameters of agricultural machinery engines

Yu.V. Kataev<sup>1</sup>✉, A.S. Sayapin<sup>2</sup>, E.V. Pestryakov<sup>3</sup>, M.N. Kostomakhin<sup>4</sup>, N.A. Petrishchev<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

<sup>1</sup> ykataev@mail.ru✉; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

<sup>2</sup> comaconcrsas@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6527-780X>

<sup>3</sup> unlimeted-007@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7399-9906>

<sup>4</sup> redizdat@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1126-7520>

<sup>5</sup> gosniti14@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3608-5408>

**Abstract.** Contamination of an air filter used in the diesel engine critically compromises its power and fuel efficiency, simultaneously degrading operator working conditions and environmental safety. This research aimed to develop a device for real-time monitoring of the technical condition of air filtration systems and the diagnostic parameters of the internal combustion engine (ICE). Built upon an ATmega2560 microcontroller, the experimental device integrates an XGZP6847A vacuum sensor in the ICE intake manifold, a QDW90A crankcase gas pressure sensor, a TENSTAR ROBOT E18-D80NK crankshaft speed sensor, a TZT MAX6675 exhaust gas temperature sensor, an ICE coolant temperature sensor, and a DS18B20 ambient air temperature sensor. The authors developed a software product to process data acquired from these sensors, related to the air system's status, and display the processed and analyzed results on the device screen. The microcontroller-based software algorithm boasts an execution speed of no more than 0.05 seconds. The developed prototype facilitates immediate operational assessment of the current state of the air filtration system and enables comprehensive evaluation of the overall operational performance of the diesel engine. The device display provides clear indications during ICE monitoring, including: clean filter; permissible contamination; critical contamination; emergency condition; air filtration system depressurization; and low ICE power. Crucially, this device will serve as a foundational data source for an intelligent system of assessing technical condition by leveraging neural networks, thereby enabling optimized operation and maintenance scheduling.

**Keywords:** agricultural machinery; internal combustion engine (ICE); air filter; technical condition; monitoring; monitoring device; sensor; air cleaning system

**For citation:** Kataev Yu.V., Sayapin A.S., Pestryakov E.V., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A. Device for monitoring the air intake system and diagnostic parameters of agricultural machinery engines. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(6):82-91 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-6-82-91>

### Введение

Сельскохозяйственная техника эксплуатируется в условиях повышенной аэрозольной загрязненности окружающего воздуха, что приводит к загрязнению воздушного фильтра дизельных двигателей [1, 2]. Отсутствие систем контроля текущего технического состояния двигателя (за исключением аварийного) сказывается на его аэродинамическом сопротивлении: снижаются расход воздуха [3], мощность и топливная экономичность ДВС, ухудшаются условия труда оператора и снижается экологическая безопасность техники<sup>1</sup>.

Эффективность использования и эксплуатационная надежность сельскохозяйственной техники

обуславливают своевременное выполнение агро-сроков и максимизацию запланированной прибыли [4, 5]. Причинами ускоренного износа и отказа отечественной сельскохозяйственной техники являются отсутствие опциональной возможности встраивания бортового диагностического оборудования для оценки динамики изменения технического состояния диагностических параметров и отсутствие нормативов, характеризующих номинальное, допускаемое и предельное техническое состояние ресурсопределяющих узлов и агрегатов, определяемое с применением бортовых диагностических средств для минимизации человеческого фактора при их контроле.

Своевременная очистка воздушного фильтра ДВС является рекомендованной производителем операцией, которую обычно проводят при срабатывании аварийного сигнализатора [1]. Однако при наличии источников аэрозольного загрязнения в окружающем воздухе, например, при эксплуатации с другой

<sup>1</sup>ГОСТ 17.2.2.02-98. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы определения дымности отработавших газов дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации метрологии и сертификации, 1998. 119 с.

техникой или при движении техники в колонне, происходит интенсивное накопление загрязнений в воздушном фильтре. Таким образом, при работе в поле при номинальных мощностных характеристиках может оказаться, что воздушный фильтр уже значительно загрязнен (более 2/3 от предельного состояния) и двигатель эксплуатируется в неоптимальных режимах (не обеспечивается необходимый расход воздуха), при этом аварийный индикатор на панели оператора еще не показывает предельного состояния загрязненности фильтра.

Температура охлаждающей жидкости и температура отработавших газов на выходе из цилиндров являются одними из важнейших диагностических параметров дизеля. Их значение в каждый момент обусловлено действием целого ряда разнообразных факторов, связанных как с техническим состоянием основных агрегатов двигателя, так и с режимом его работы [6]. При этом диагностирование ДВС производят при номинальной рабочей температуре для повышения достоверности результатов [7].

Измеряя угловую скорость и ускорение коленчатого вала ДВС при тестовом циклическом воздействии, можно построить скоростную динамическую характеристику, аналогичную получаемой при стендовых испытаниях. По ее параметрам определяют динамические свойства и мощность ДВС [7, 8].

Таким образом, считаем, что мониторинг мощностных характеристик и технического состояния фильтра воздухоочистителя двигателя сельскохозяйственной техники с учетом температуры отработавших газов и температуры охлаждающей жидкости является необходимым элементом внедряемой методологии надежно-ориентированной системы технического обслуживания<sup>2</sup>, а применение устройства для мониторинга системы подачи воздуха будет способствовать сохранению технико-экономических потребительских качеств [4, 9] и соблюдению требований норм дымности отработавших газов. Эффективность и надежность работы фильтра влияют на ресурс систем дизельного двигателя сельскохозяйственной техники, поэтому разработка устройства для оценки технического состояния воздушного фильтра является актуальным направлением.

**Цель исследований:** разработать устройство и алгоритм для оперативного мониторинга технического состояния системы воздухоочистки и диагностических параметров работы ДВС в процессе эксплуатации отечественной сельскохозяйственной техники.

<sup>2</sup>Ефремов Л.В. Проблемы управления надежно-ориентированной технической эксплуатацией машин: Учебное пособие. Санкт-Петербург: Art-Xpress, 2015. 206 с. EDN: UKEEGZ.

## Материалы и методы

В ходе исследований изучили существующие способы и средства оценки воздушных фильтров и определили параметры для оценки их состояния. Изучили способы измерения перепада давления во впускном тракте, температуры в системе выпуска отработавших газов, избыточного давления картерных газов, скорости и ускорения коленчатого вала. Рассмотрели возможность разработки и установки дополнительного информирующего устройства предупреждения случаев эксплуатации на аварийных режимах для недопущения появления отказов II и III групп сложности. Подготовили лабораторную установку для моделирования работы дизельного двигателя и датчиков при создании тестовых воздействий. С целью контроля изменения технического состояния фильтра в процессе эксплуатации разработали программное обеспечение для мониторинга и отображения на дисплее устройства в режиме реального времени данных с датчиков, подключенных к микроконтроллеру устройства.

## Результаты и их обсуждение

В связи с отсутствием оперативного контроля текущего состояния воздушного фильтра двигателя ухудшается техническое состояние большинства его узлов и систем по причине повышенной нагрузки и ускоренного износа<sup>3</sup> [10]. В результате наблюдаются следующие явления:

- снижение компрессии по причине абразивного износа зеркала цилиндра и закоксовывания компрессионных колец;
- увеличение нагрузки на трансмиссию и повышенный износ фрикционных дисков сцепления, гидropоджимных муфт, распределителя механизма переключения передач;
- износ качающих шестерен масляного насоса системы смазки;
- снижение пропускной способности всасывающего фильтра;
- снижение оптимальных пропорций топливно-воздушной смеси в камере сгорания;
- увеличение расхода топлива за счет компенсации уменьшения мощности двигателя;
- снижение мощности и запаса крутящего момента;
- усложнение запуска двигателя и перерасход заряда аккумулятора;
- перегрев, изменение геометрии выпускных клапанов газораспределительного механизма;

<sup>3</sup>Кряжков В.М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники. М.: Агропромиздат, 1989. 335 с.

- образование трещин и прогорание прокладки головки блока цилиндров;
- образование нагара и лаковых отложений на внутренних поверхностях головки блока цилиндров и цилиндропоршневой группы;
- ухудшение свойств охлаждающей жидкости с образованием нерастворимых окислов;
- снижение эффективности турбокомпрессора и перегрев интеркулера;
- повышение уровня дымности отработавших газов;
- засорение каталитического нейтрализатора;
- снижение срока службы моторного масла;
- снижение пропускной способности сетки сапуна;
- снижение качества распыла форсунками;
- повышение давления в полости картера и утечка моторного масла.

Анализ экспертных оценок и производственный опыт показали снижение надежности техники и возникновение отказов II и III групп сложности при эксплуатации воздухоочистительных фильтров в предельном техническом состоянии и в условиях напряженных работ. Устранение последствий этих отказов требует значительных материальных издержек и временных затрат. Внедрение устройства, оценивающего состояние воздушного фильтра без внесения существенных изменений в конструкцию ДВС, позволит проводить своевременное сервисное обслуживание с целью снижения риска отказов и эксплуатировать технику в соответствии с требованиями производителя.

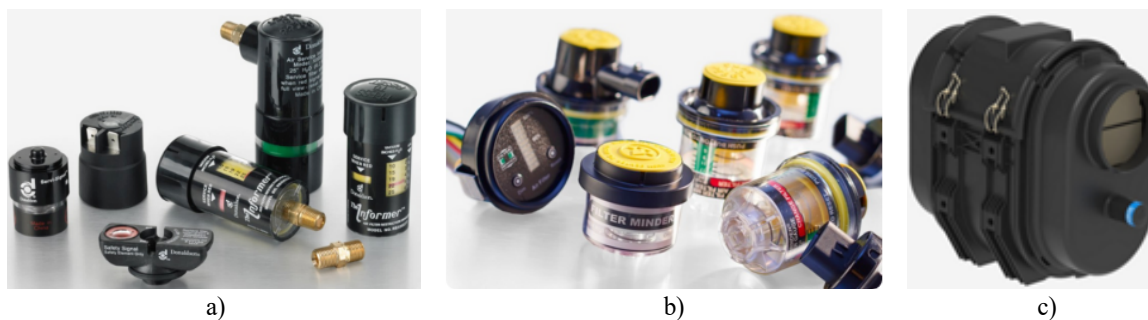
Для контроля технического состояния системы воздухоочистки компания Donaldson Filtration Solutions, например, предлагает ряд решений:

градуированные или однопозиционные индикаторы, информирующие о состоянии фильтра и необходимости его замены (рис. 1а); переключатели, позволяющие визуально контролировать состояние и передавать электрический сигнал на индикатор, располагаемый в кабине (рис. 1б); устройства с дисплеями для электронного контроля уровня засорения фильтров с непрерывной подачей сигнала, а также беспроводные датчики Filter Minder<sup>4</sup>, предназначенные для телематических систем (рис. 1с).

Установлено, что в зависимости от уровня запыленности окружающего воздуха и исходной пылеемкости воздушный фильтр дизеля может находиться в номинальном техническом состоянии до ТО-1 или же в предельном техническом состоянии уже через три смены работы сельскохозяйственной техники.

Производители тракторных двигателей отечественного производства (ЯМЗ, ТМЗ, МТЗ и др.) устанавливают только датчики-сигнализаторы предельного состояния воздушного фильтра типа ДСФ (ОАО «Экран» РБ)<sup>5</sup> (рис. 2), которые в случае предельного перепада давлений (при превышении значения разрежения более 6,4...6,9 кПа) осуществляют световую индикацию в кабину оператора.

Отметим, что производители в инструкции по эксплуатации сельскохозяйственной техники не всегда указывают номинальное и предельное сопротивление воздушного фильтра, а также рекомендации с указанием максимального возможного количества чисток (сухим и мокрым способами) в процессе эксплуатации. Например, воздушные фильтры для трактора К-744Р1СТ...К-744Р4СТ (производитель «Промтрактор») могут выдерживать до 6 чисток, из которых 3 – мокрые. Производителем



**Рис. 1. Средства компании Donaldson Filtration Solutions для контроля состояния воздушных фильтров:**

a – индикаторы; b – переключатели; c – беспроводные датчики

**Fig. 1. Donaldson Filtration Solutions tools for monitoring the condition of air filters:**

a – indicators; b – switches; c – wireless sensors

<sup>4</sup> Индикаторы обслуживания воздушного фильтра. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.donaldson.com/en-be/engine/filters/products/air-intake/accessories/filter-service-indicators/> (дата обращения: 07.04.2025).

<sup>5</sup> Датчик сигнализатора засоренности воздушного фильтра ДСФ. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ekranbel.com/ru/catalog/46/423/516/527/> (дата обращения: 07.04.2025).



«Ремиз» (РБ) допускается до 6 чисток, и при этом не рекомендуется использование фильтров при наличии сажи или механических повреждений.

Анализируя уровень разрежения во впускном тракте эксплуатируемых тракторов (в ФНАЦ ВИМ), выявили, что предельное значение перепада давления воздуха загрязненных

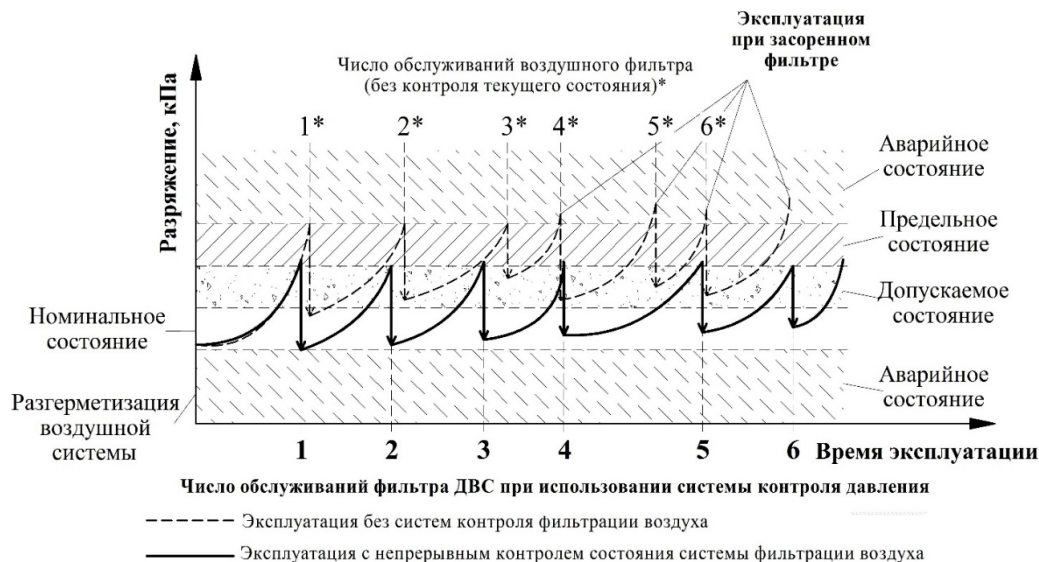


**Рис. 2. Датчик ДСФ  
для индикации предельной загрязненности**

**Fig. 2. DSF sensor  
for indicating maximum contamination**

фильтров (аэродинамическое сопротивление) превышает номинальное (новых фильтров) в среднем в 2,0...2,3 раза, и в большинстве случаев (до 75%) работа техники осуществляется в зонах допускаемого и предельного уровня разрежения. Причиной такого положения является отсутствие контроля за состоянием фильтра и всей системы воздухоочистки. Таким образом, разрабатываемое устройство должно осуществлять оперативный контроль состояний и, оценивая динамику, изменять уровень разрежения, а также контролировать качество проведенного обслуживания (рис. 3).

Согласно ГОСТ<sup>6</sup> при использовании воздухоочистителей с сухой фильтрующей перегородкой на транспортных средствах категории N и тракторах необходимо устанавливать индикаторы засоренности. На самоходных сельскохозяйственных машинах индикаторы засоренности устанавливают по согласованию с потребителем.



**Рис. 3. Варианты контроля технического состояния фильтра по традиционному и предлагаемым вариантам контроля**

**Fig. 3. Options for monitoring the technical condition of the filter according to the conventional and proposed control options**

Сопротивление воздухоочистителя при номинальном расходе воздуха, кПа

Таблица 1

Air cleaner resistance, at nominal air flow, kPa

Table 1

Тип воздухоочистителя	Дизель без турбонаддува, бензиновые двигатели транспортных средств категории N	Дизель с турбонаддувом	Дизель без турбонаддува и бензиновые двигатели транспортных средств категории M
С масляной ванной или смазываемым элементом	3,5	3,5	3,0
С сухой фильтрующей перегородкой	3,5	4,0	2,5

Примечание. Предельное сопротивление устанавливается в конструкторской документации на конкретный воздухоочиститель.

<sup>6</sup>ГОСТ Р 53837-2010. Двигатели автомобильные. Воздухоочистители. Технические требования. ФГУП «Стандартинформ», 2010. 8 с. <https://docs.cntd.ru/document/1200081351>

В таблице 1 приведены требования к основным параметрам воздухоочистителей (фильтров и фильтрующих элементов очистки воздуха), которые приняты в исследованиях за номинальные.

На основании представленных номинальных и предельных значений сопротивлений нами принят допускаемый параметр аэродинамического сопротивления, который составляет 75...80% от предельного значения разрежения в впускном тракте. Мы считаем, что контроль динамики изменения его аэродинамического сопротивления поможет оператору заблаговременно провести очистку или замену воздушного фильтра и не допустить эксплуатацию двигателя в аварийном режиме работы системы воздухоочистки.

Помимо контроля уровня сопротивления воздушного фильтра, при номинальных значениях потребления воздуха разрабатываемое устройство должно обеспечивать мониторинг нижнего порога сопротивления фильтра и в случае его достижения сигнализировать оператору о возможном подсосе неочищенного воздуха в впускной тракт, что позволит минимизировать потенциальные риски, оказывающие влияние на надежность ресурсопределяющих узлов и систем.

Схема экспериментального цифрового устройства для мониторинга состояния воздушных фильтров

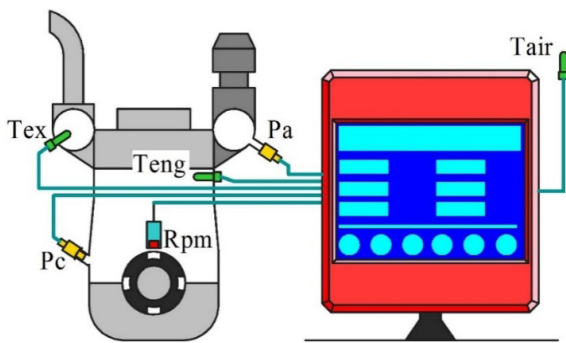


Рис. 4. Схема устройства для мониторинга состояния воздушных фильтров ДВС:

- Pa – датчик разрежения в впускном коллекторе ДВС;
- Pc – датчик давления картерных газов;
- Rpm – датчик скорости вращения коленчатого вала;
- Tex – датчик температуры отработавших газов;
- Teng – датчик температуры охлаждающей жидкости ДВС;
- Tair – датчик температуры воздуха окружающей среды

**Fig. 4. Schematic diagram of a device for monitoring the condition of ICE air filters:**  
Pa – discharge sensor in the intake manifold of the internal combustion engine;  
Pc – crankcase gas pressure sensor;  
Rpm – crankshaft rotation speed sensor;  
Tex – exhaust gas temperature sensor;  
Teng – temperature sensor of the engine coolant;  
Tair – ambient air temperature sensor

двигателей сельскохозяйственной техники представлена на рисунке 4.

Предлагаемое устройство разработано на базе микроконтроллера ATmega2560, к которому подключены датчики лабораторной экспериментальной установки для моделирования состояний (табл. 2).

Для микроконтроллера ATmega2560 разработана программа, позволяющая автоматически определять контролируемые параметры (давление разрежения в системе очистки воздуха ДВС, избыточное давление и температуру картерных газов, уровень загрузки ДВС по температуре отработавших газов в выхлопном коллекторе, скорость вращения и максимальное угловое ускорение коленчатого вала при свободном разгоне, температуру внешней среды, охлаждающей жидкости в системе охлаждения и температуру масла в картере ДВС) для расчета отклонений и сигнализировать о превышении установленных пороговых значений (рис. 5).

Таблица 2  
Датчики экспериментального устройства для контроля состояния воздушного фильтра ДВС

Table 2  
Sensors of an experimental device for monitoring the condition of an air filter of internal combustion engines

Наименование, внешний вид	Назначение
 XGZP6847A	Аналоговый преобразователь давления разрежения во всасывающем тракте воздушной системы ДВС
 QDW90A 0-5VG1/40-20 kPa	Аналоговый преобразователь давления картерных газов, установленный в крышку маслозаливной горловины ДВС
 TZT MAX6675	Цифровой датчик измерения температуры выхлопных газов, встроенный в переходник выпускного коллектора ДВС
 TENSTAR ROBOT E18-D80NK	Оптический инфракрасный датчик измерения скорости и ускорений коленчатого вала ДВС
 DS18B20	Цифровой датчик для контроля температуры охлаждающей жидкости ДВС и воздуха

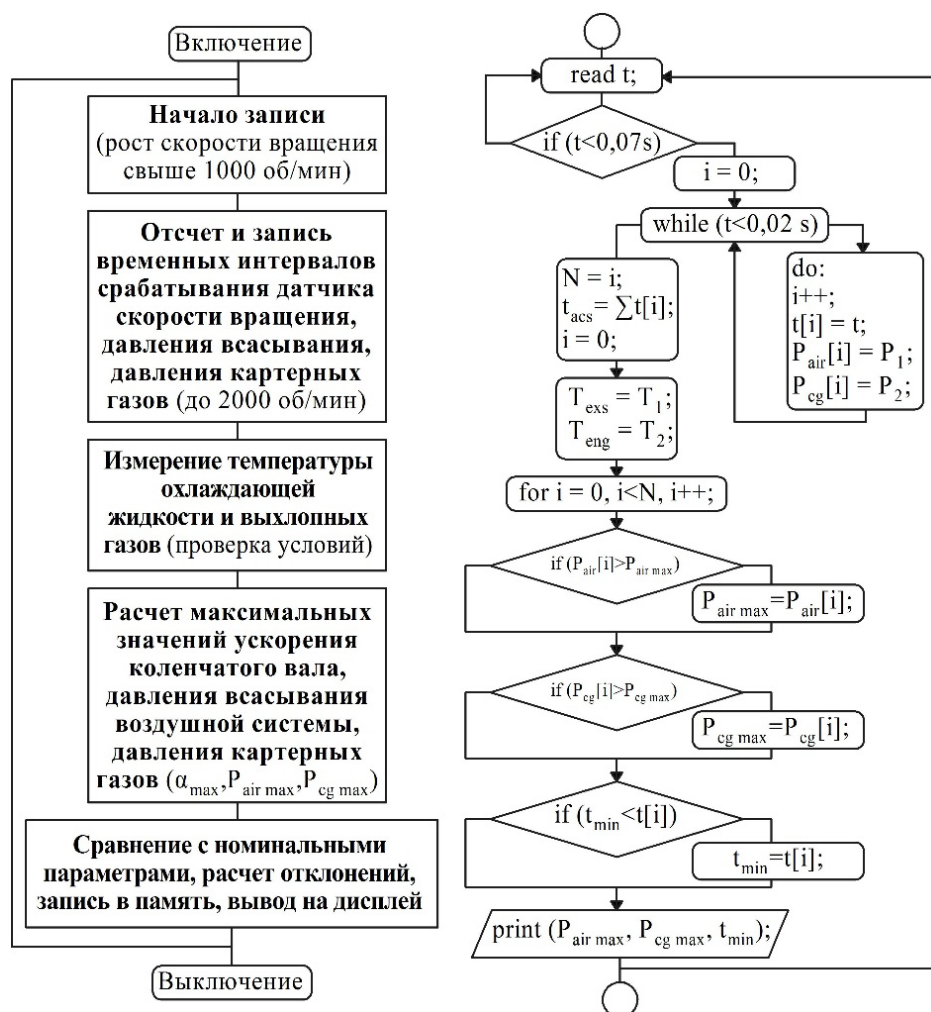


Рис. 5. Алгоритм программы автоматической работы экспериментального цифрового устройства для мониторинга состояния воздушных фильтров

Fig. 5. Algorithm of the automatic operation program of an experimental digital device for monitoring the condition of air filters

При сопоставлении оборотов двигателя, ускорений коленчатого вала, давлений разрежения в системе воздухоочистки, давлений картерных газов, с учетом текущей температуры выхлопных газов и охлаждающей жидкости, представляется возможным определить также общее техническое состояние соответствующих этим параметрам систем ДВС. При записи полученных параметров в память устройства и учета времени наработки можно отслеживать тенденции и динамику их изменения, что позволит при сохранении типа и условий работ прогнозировать время проведения технического обслуживания.

Разработанный прототип устройства оснащен кнопкой перезагрузки, миниатюрным монохромным OLED-дисплеем разрешением  $128 \times 64$  пикселя для отображения автоматически измеряемых параметров работы ДВС, USB-разъемом для подключения питания и передачи данных на ПК, миниатюрными винтовыми клеммами для подключения сигнальных проводов от датчиков, встроенных в ДВС (рис. 6).

После подключения питания от бортовой сети трактора устройство автоматически диагностирует параметры работы ДВС и состояние системы подачи воздуха и непрерывно получает данные от встроенных в двигатель датчиков.

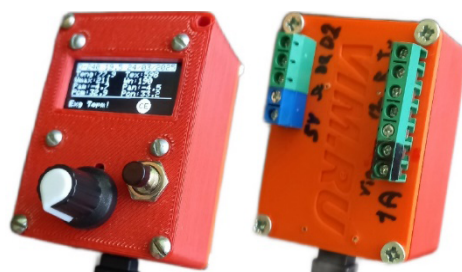


Рис. 6. Прототип экспериментального цифрового устройства для мониторинга состояния системы воздухоочистки и параметров работы ДВС

Fig. 6. Prototype of an experimental digital device for monitoring the condition of the air cleaning system and the operating parameters of the internal combustion engine

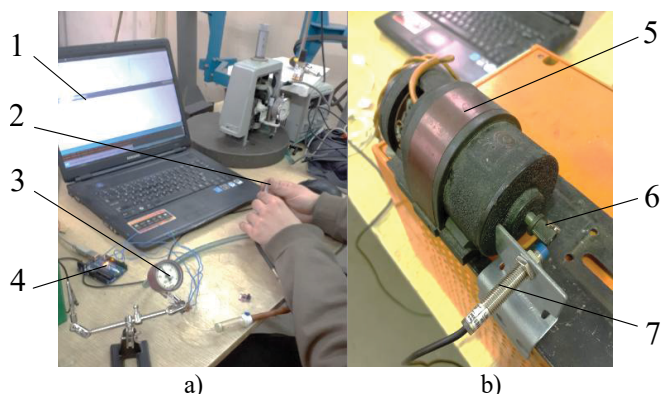


Для апробации разработанного алгоритма проведены моделирование и постановочные опыты с использованием установки, включающей в себя персональный компьютер 1 для сбора и визуализацию данных, поступающих от прототипа экспериментального устройства, созданного на базе микроконтроллера 4, датчика давления (разряжения) 2, контрольного манометра 3, электродвигателя 5, магнитных маркерных меток 6 и индуктивного датчика 7, датчиков температуры (на рисунке 7 не показаны). При этом моделировались такие параметры работы ДВС, как температура, скорость вращения и ускорение коленчатого вала, давление разряжения во всасывающем коллекторе системы воздухоочистки и давление картерных газов.

При моделировании работы устройства для мониторинга состояния системы воздухоочистки ДВС особое внимание уделялось быстрдействию программного алгоритма на микроконтроллере (не более 0,05 с), необходимому для дальнейших натурных испытаний.

В прототипе устройства были запрограммированы следующие параметры контроля и пороговые значения, учитывающие состояние фильтра:

– аварийное состояние (разряжение менее 3,5 кПа) – включение визуальной сигнализации *CF* «Проверьте герметичность системы фильтрации»



**Рис. 7. Установка для проверки алгоритма работы устройства при моделировании давления картерных газов, уровня разряжения в системе воздухоочистки ДВС (а) и частоты вращения и углового ускорения коленчатого вала ДВС (б):**

1 – компьютер; 2 – датчик давления (разряжения); 3 – манометр; 4 – микроконтроллер; 5 – электродвигатель; 6 – магнитная маркерная метка; 7 – индуктивный датчик

**Fig. 7. Installation for testing the operating algorithm of the device when simulating crankcase gas pressure, vacuum level in the engine air cleaning system (a), and crankshaft speed and angular acceleration (b):**

1 – computer; 2 – pressure (vacuum) sensor; 3 – manometer; 4 – microcontroller; 5 – electric motor; 6 – magnetic marker; 7 – inductive sensor

и предупреждающей мигающей надписи «Air flow!» – «Утечка воздуха!»;

– номинальное состояние (разряжение 3,5...5,0 кПа) – включение визуальной сигнализации *N* «Чистый фильтр», соответствующей новому фильтру;

– допускаемое состояние (разряжение 5,0...6,5 кПа) – включение визуальной сигнализации *Ac* «Допускаемая загрязненность»;

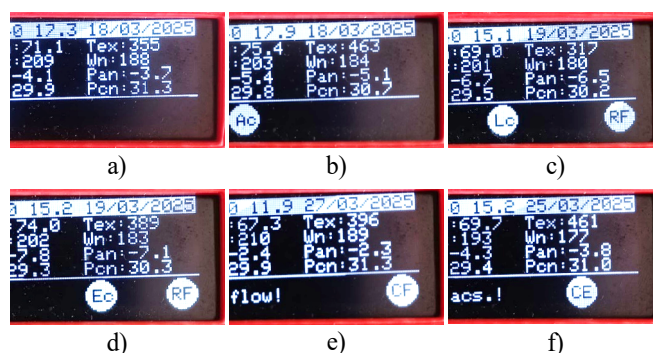
– предельное состояние (разряжение 6,5...7,0 кПа) – включение визуальной сигнализации *Lc* «Предельная загрязненность» и *RF* «Замените фильтр»;

– аварийное состояние (разряжение более 7,0 кПа) – включение визуальной сигнализации *Ec* «Аварийная загрязненность» и *RF* «Замените фильтр»;

– низкая мощность ДВС – включение «Low acs!», *CE* – максимальное ускорение коленчатого вала при свободном разгоне менее 180 рад/с<sup>2</sup>.

Измерение ускорения коленчатого вала позволяет быстро оценить общее техническое состояние ДВС. В случае, если ДВС не развивает заявленные мощностные параметры, а система воздухоочистки ДВС работает исправно, появляется возможность обнаружить неисправность, существенно влияющую на его нормальную работу, например, в системе смазки, топливной или выхлопной системах.

Возможные варианты индикации на дисплее устройства моделируемых состояний воздушного фильтра ДВС и диагностических параметров отображены на рисунке 8. Сигнализация на дисплее



**Рис. 8. Возможные варианты индикации на дисплее устройства при мониторинге состояния ДВС:**

а) номинальное состояние; б) допустимое состояние; в) предельное состояние; д) аварийное состояние; е) разгерметизация системы воздухоочистки; ф) индикация низкой мощности ДВС

**Fig. 8. Possible display options on the device display when monitoring the engine condition:**

а) nominal state; б) permissible state; в) limit state; д) emergency condition; е) depressurization of the air cleaning system; ф) low engine power indication



осуществляется латинскими символами ввиду ограничения характеристик используемого микроконтроллера ATmega2560.

Считаем, что разработанное устройство может собирать исходную информацию для системы интеллектуальной оценки технического состояния с применением нейронных сетей в целях корректировки типа работы и времени технического обслуживания [11].

Оценка технического состояния фильтров отечественной сельскохозяйственной техники будет востребована как в условиях эксплуатации, так и при проведении приемо-сдаточных работ при испытании ДВС на обкаточных стендах для более объективной оценки мощностных и топливных характеристик. При этом можно определить исходные показатели технического состояния воздушного фильтра. Уровень давления картерных газов может использоваться для оценки степени приработки ЦПГ и состояния сапунов, а температура в выпускном коллекторе покажет уровень загрузки ДВС.

Сохранение мощностных характеристик ДВС за счет мониторинга параметров позволит снизить

количество переключений передач в процессе эксплуатации, тем самым уменьшить износ (фрикционных дисков, механизма переключения передач энергонасыщенных тракторов, муфт сцепления для механических коробок передач и синхронизаторов передач, системы управления подачей насоса ГСТ) и повысить надежность узлов и агрегатов топливной аппаратуры, ЦПГ, КШМ, ТКР, систем смазки, вентиляции и охлаждения двигателя.

### Выводы

1. Устройство контроля технического состояния систем воздухоочистки и диагностических параметров двигателя позволяет оперативно определить его общее техническое состояние, обосновать проведение внепланового технического обслуживания и принять меры по недопущению отказов, тем самым повысить надежность отечественной сельскохозяйственной техники.

2. Апробация алгоритма работы экспериментального устройства подтвердила возможность проведения контроля уровня загрязненности фильтра, давления картерных газов и мощностных характеристик ДВС.

### Список источников

1. Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Петрищев Н.А. и др. Экспериментальный образец счетчика индикатора для мониторинга технического состояния воздухоочистителя двигателя трактора // Техника и оборудование для села. 2023. № 7 (313). С. 28-33. EDN: TMXNYJ
2. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. и др. Приоритетные направления научно-технического развития отечественного тракторостроения // Техника и оборудование для села. 2021. № 2 (284). С. 2-7. EDN: WGULNO
3. Дорохов А.С., Денисов А.В., Соломашкин А.А., Герасимов В.С. Стратегии технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин // Технический сервис машин. 2020. № 3 (140). С. 38-48. EDN: HVXYMF
4. Бурак П.И., Голубев И.Г. Оценка функциональных характеристик сельскохозяйственных тракторов // Чтения академика В.Н. Болтинского: Сборник статей. Москва: ООО «Сам Полиграфист», 2022. Ч. 1. С. 34-39. EDN: LRLMVK
5. Семейкин В.А., Дорохов А.С. Экономическая эффективность входного контроля качества сельскохозяйственной техники // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2009. № 7 (38). С. 15-17. EDN: KVCLAZ
6. Валиев М.Ш., Косимов Х.Р. О контроле температуры отработавших газов дизеля в эксплуатации // Universum: технические науки. 2020. № 9-1 (78). С. 99-103. EDN: BCMMDA
7. Альт В.В., Савченко О.Ф., Елкин О.В. Цифровая технология оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. Т. 13, № 4. С. 25-31. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-25-31>

### References

1. Kataev Yu.V., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A. et al. Experimental sample of a counter indicator for monitoring the technical condition tractor engine air cleaner. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023;7:28-33. (In Russ.)
2. Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya. et al. Priority areas of scientific and technical development of the domestic tractor industry. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021;2:2-7. (In Russ.)
3. Dorokhov A.S., Denisov A.V., Solomashkin A.A., Gerasimov V.S. Strategies of maintenance and repair of agricultural machinery. *Machinery Technical Service*. 2020;3:38-48. (In Russ.)
4. Burak P.I., Golubev I.G. Estimation of farm tractors functional characteristics. *Readings of Academician Vladimir Boltinskiy*. 2022;1:34-39. (In Russ.)
5. Semeykin V.A., Dorokhov A.S. Economic efficiency of entrance quality assurance of agricultural machinery. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2009;7:15-17. (In Russ.)
6. Valiyev M., Qosimov Kh. About monitoring the temperature of diesel exhaust gases in operation. *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2020;9-1:99-103. (In Russ.)
7. Alt V.V., Savchenko O.F., Elkin O.V. Digital technology of assessment the power capacity of tractor fleet of an agricultural enterprise. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2019;13(4):25-31. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-25-31>
8. Alt V.V., Olshevskiy S.N., Dobrolyubov I.P. et al. Development of a dynamic model of an internal combustion engine. *Trudy GOSNITI*. 2015;118:8-15. (In Russ.)
9. Ignatov V.I., Dorokhov A.S., Mishina Z.N., Gerasimov V.S. Ways to support the life cycle of agricultural machinery. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2018;10:40-43. (In Russ.)

8. Альт В.В., Ольшевский С.Н., Добролюбов И.П. и др. Разработка динамической модели ДВС // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 118. С. 8-15. EDN: TODEVN

9. Игнатов В.И., Дорохов А.С., Мишина З.Н., Герасимов В.С. Способы поддержки жизненного цикла сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2018. № 10. С. 40-43. EDN: YOGJLV

10. Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов И.А., Мордасова М.С. Современные тенденции совершенствования инженерной службы АПК // Технический сервис машин. 2022. № 3 (148). С. 74-82. EDN: AAUYIJ

11. Дорохов А.С., Катаев Ю.В., Костомахин М.Н. и др. Управление техническим состоянием сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий // Российская сельскохозяйственная наука. 2024. № 5. С. 51-56. <https://doi.org/10.31857/S2500262724050102>

### Информация об авторах

<sup>1</sup> Катаев Юрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник; [ykataev@mail.ru](mailto:ykataev@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>; SPIN-код: 3082-3850

<sup>2</sup> Саяпин Александр Сергеевич, младший научный сотрудник; [comaconcsas@mail.ru](mailto:comaconcsas@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6527-780X>; SPIN-код: 7376-2757

<sup>3</sup> Пестряков Ефим Вадимович, младший научный сотрудник; [unlimited-007@yandex.ru](mailto:unlimited-007@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7399-9906>; SPIN-код: 7368-0419

<sup>4</sup> Костомахин Михаил Николаевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; [redizdat@mail.ru](mailto:redizdat@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-1126-7520>; SPIN-код: 2367-7064

<sup>5</sup> Петрищев Николай Алексеевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; [gosniti14@mail.ru](mailto:gosniti14@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-3608-5408>; SPIN-код: 5085-8619

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

### Вклад авторов

Ю.В. Катаев – формулирование основной концепции исследований;

А.С. Саяпин – описание результатов, подготовка начального варианта рукописи;

Е.В. Пестряков – представление результатов, подготовка графических материалов;

М.Н. Костомахин – создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование, ресурсы;

Н.А. Петрищев – разработка методологии исследований

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 22.04.2025, после рецензирования и доработки 23.10.2025; принята к публикации 27.10.2025

10. Kataev Yu.V., Gerasimov V.S., Tishaninov I.A., Mordasova M.S. Modern trends in improving the engineering service of agroindustrial complex. *Machinery Technical Service*. 2022;3:74-82. (In Russ.)

11. Dorokhov A.S., Kataev Y.V., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A., Pestryakov E.V., Sayapin A.S. Management of the technical condition of agricultural machinery using digital technologies. *Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka*. 2024;5:51-56. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2500262724050102>

### Author Information

Yuri V. Kataev<sup>1</sup>, CSc (Eng), Associate Professor, Lead Research Engineer; [ykataev@mail.ru](mailto:ykataev@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>; Scopus Author ID: 57209744442

Aleksandr S. Sayapin<sup>2</sup>, Junior Research Engineer; [comaconcsas@mail.ru](mailto:comaconcsas@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6527-780X>

Efim V. Pestryakov<sup>3</sup>, Junior Research Engineer; [unlimited-007@yandex.ru](mailto:unlimited-007@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7399-9906>; Scopus Author ID: 57536298300

Mikhail N. Kostomakhin<sup>4</sup>, CSc (Eng), Lead Research Engineer; [redizdat@mail.ru](mailto:redizdat@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-1126-7520>; Scopus Author ID: 57536298400

Nikolai A. Petrishchev<sup>5</sup>, CSc (Eng), Lead Research Engineer; [gosniti14@mail.ru](mailto:gosniti14@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-3608-5408>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5, 1st Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation

### Author Contributions

Yu.V. Kataev – conceptualization;

A.S. Sayapin – validation, writing – original draft;

E.V. Pestryakov – presentation of results, visualization;

M.N. Kostomakhin – writing – review and editing of the manuscript, resources;

N.A. Petrishchev – methodology.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and are responsible for plagiarism.

Received 22.04.2025; Revised 23.10.2025; Accepted 27.10.2025