

Научная статья

УДК 621.4

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-882-894>

EDN: SJTQEL



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВЫМ И ДИЗЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПО АКУСТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

В.Д. Габидулин ✉, **В.Н. Добромиров**, **И.О. Черняев***Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия**✉ ответственный автор
moymail_2014@mail.ru*

АННОТАЦИЯ

Введение. Двигатель внутреннего сгорания является сложным агрегатом, работоспособность которого тесно связана с исправностью различных систем управления, в частности электронных. Отказы в электронных системах управления вызывают нарушение нормального режима работы двигателя, переводя его в режим ограниченной функциональности. Акустические шумы, издаваемые двигателем при различных режимах работы, могут быть параметром, с помощью которого возможно произвести диагностику двигателя и идентифицировать неисправность. В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по сравнительному анализу методов акустического диагностирования электронных систем управления бензиновым и дизельным двигателем внутреннего сгорания.

Материалы и методы. Совершенствование силовых установок современных транспортно-технологических машин (НТТМ) было и остается актуальной задачей. Одним из векторов реализации этой задачи является использование автоматизированных систем управления и контроля работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС), основанных на применении электронных и микропроцессорных технологий. Благодаря использованию таких систем значительно повышается эффективность работы ДВС. Однако сложность устройства и конструктивные особенности этих систем увеличивают возможность возникновения потенциальных неисправностей двигателя, связанных с их отказами. Вследствие этого существует необходимость разработки и реализации различных методов их диагностирования. Предлагаемая оценка функциональности таких электронных систем по издаваемым двигателем акустическим сигналам является одним из способов оперативного технического контроля. Регистрация шумовых характеристик осуществляется портативным звукозаписывающим устройством, в дальнейшем обрабатывается и анализируется с использованием специализированного программного обеспечения. Простота и оперативность применения метода являются преимуществом в сравнении с другими традиционными методами диагностирования, в особенности при работе в полевых условиях, непосредственно в местах применения машин. Авторами статьи ранее производилась экспериментальная оценка возможности применения метода акустического диагностирования функциональности электронных систем бензинового двигателя. В данной статье представлены результаты исследования по применению подобного метода на дизельном двигателе, и произведена сравнительная оценка полученных результатов. Объектом исследования является дизельный двигатель, входящий в состав обучающего стенда фирмы GNFA. Стенд предназначен для изучения электронных систем управления работой дизеля. Возможности стенда позволяют задавать различные неисправности электронных систем путем размыкания электрической цепи в блоке предохранителей, вызывая тем самым полный отказ двигателя или переход его работы в режим ограниченного функционирования. Авторами статьи замерялись и анализировались акустические параметры двигателя при различных режимах ограниченного функционирования и сравнивались с шумовыми параметрами ДВС в нормальном режиме работы.

Результаты. В работе произведен анализ различного рода неисправностей электронных систем управления дизельного ДВС. Выделены три состояния работы двигателя: двигатель работает в нормальном режиме функционирования; двигатель не работоспособен (не запускается); двигатель работает в режиме ограниченной функциональности.

© Габидулин В.Д., Добромиров В.Н., Черняев И.О., 2025

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Представлен анализ и сравнение акустических параметров работы дизельного двигателя в условиях этих состояний, с последующим обоснованием правил идентификации неисправностей электронных систем путем спектрального разложения шумового фона. Произведена сравнительная оценка по результатам исследований на бензиновом и дизельном двигателях.

Обсуждение и заключение. Результаты исследования могут стать научной основой метода оперативного технического контроля состояния ДВС НТТМ путем акустической оценки качества работы электронных систем управления.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: двигатель внутреннего сгорания, электронные системы управления и контроля, акустическое диагностирование, спектральный анализ

Статья поступила в редакцию 28.09.2025; одобрена после рецензирования 01.12.2025; принята к публикации 15.12.2025.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Габидулин В.Д., Добромиров В.Н., Черняев И.О. Сравнительная оценка диагностирования электронных систем управления бензиновым и дизельным двигателем по акустическим параметрам // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, № 6. С. 882-894. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-882-894>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-882-894>

EDN: SJTQEL

COMPARATIVE EVALUATION OF DIAGNOSTICS OF ELECTRONIC CONTROL SYSTEMS OF GASOLINE AND DIESEL ENGINES BY ACOUSTIC PARAMETERS

Vladimir D. Gabidulin ✉, Viktor N. Dobromirov, Igor O. Chernyaev
St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia
✉ corresponding author
moymail_2014@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. An internal combustion engine is a complex unit, the performance of which is closely related to the functionality of various control systems, in particular electronic ones. Failures in electronic control systems cause disruption of the normal engine operation, rendering it into a limited function mode. Acoustic noises emitted by the engine during various operating conditions can be used as a parameter for engine diagnostics and malfunction identification. The article presents the results of theoretical and experimental studies comparing acoustic diagnostic methods for electronic control systems of gasoline and diesel internal combustion engines.

Materials and methods. Improving the powertrains of modern transport and technological vehicles has been and remains an urgent task. One of the vectors to achieve this goal is the use of automated control and monitoring systems for internal combustion engine operation based on the application of electronic and microprocessor technologies. Thanks to the use of such systems, the efficiency of the internal combustion engine is increased significantly. However, the complexity and design features of these systems increase the possibility of potential engine malfunctions connected with their failures. As a result, there is a need to develop and implement various diagnostic methods. The proposed assessment of the functionality of such electronic systems based on acoustic signals emitted by the engine is one of the ways of operational technical control. The recording of noise characteristics is carried out by a portable sound recorder, which is further processed and analyzed with the use of specialized software. The simplicity and application speed of the method are the advantage in comparison with other traditional diagnostic methods, especially in the field conditions, directly in the places where vehicles are used. The authors of the article previously conducted the experimental assessment of the application possibility of acoustic diagnostics to the functionality of gasoline engine electronic systems. This article presents the results of the same method use on diesel

© Vladimir D. Gabidulin, Viktor N. Dobromirov, Igor O. Chernyaev, 2025



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

engine and provides a comparative evaluation of the results. The object of the study is a diesel engine, which is part of the GNFA training stand. The stand is designed to study electronic control systems for diesel engines. The capabilities of the stand make it possible to set various malfunctions of electronic systems by opening the electrical circuit in the fuse box, thereby causing a complete engine failure or switching its operation to a limited mode. The authors of the article measured and analyzed the acoustic parameters of the engine in various modes of limited operation and compared them with the noise parameters of the internal combustion engine in normal operation.

Results. Various kinds of malfunctions of electronic control systems of the diesel internal combustion engine have been analyzed. Three engine operating states have been identified: normal operation mode of the engine; inoperative (engine does not start); limited operation mode of the engine.

The analysis and comparison of acoustic parameters of the diesel engine operation under these conditions were carried out, with the subsequent substantiation of the rules for identifying electronic system malfunctions by spectral decomposition of the noise background. A comparative assessment was made based on the results of studies on gasoline and diesel engines.

Discussion and conclusion. The results of the study can become the scientific basis for the method of fast technical monitoring of the internal combustion engine operational condition of modern transport and technological vehicles by acoustic assessment of the performance of electronic control systems.

KEYWORDS: internal combustion engine, electronic control and monitoring systems, acoustic diagnostics, spectral analysis

The article was submitted: September 28, 2025; approved after reviewing: December 1, 2025; accepted for publication: December 15, 2025.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Gabidulin V.D., Dobromirov V.N., Chernyaev I.O. Comparative evaluation of diagnostics of electronic control systems of gasoline and diesel engines by acoustic parameters. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (6): 882-894. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-882-894>

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции развития дорожной отрасли в России предполагают массовое строительство в сложных климатических условиях и ужесточение стандартов содержания дорог, создавая потребность в применении современных наземных транспортно-технологических машин. В современных условиях наиболее востребованы НТТМ с быстро развивающимися автоматизированными системами управления и контроля технического состояния агрегатов, основанные на использовании электронных и микропроцессорных систем. Это диктует необходимость в техническом контроле и поддержании их работоспособности. В особенности это относится к диагностированию электронных систем управления двигателями внутреннего сгорания (ДВС), что подтверждается активными исследованиями как отечественных специалистов [1, 2], так и зарубежных [3]. Принимая во внимание удаленность пунктов дислокации баз технического обслуживания машин при работе в труднодоступных регионах [4], а также сложные условия эксплуатации НТТМ [5], приоритет среди различных методов диагностирования ДВС отдается методам неразрушимого контроля [6] expertise is a key element of this assessment. Industrial safety review is conducted to assess the state of the object, confirmation of

compliance with the requirements established by the legislation in the sphere of industrial safety, determine the level of risk of accidents and threats to life and health of people. Today no examination passes without NDT methods. Non-destructive testing is an assessment of reliability, working capacity and parameters of the object or some of its elements, not requiring the removal of the object from the work or dismantling. It is an essential element of the system of industrial safety expertise, providing technical safety at hazardous production facilities. The main purpose of nondestructive testing is reliable detection of defects by analyzing the interaction of the test object with fields of different nature (magnetic, electric, acoustic, etc..

Методы, реализуемые на сегодняшний день (например, метод сканирования), основаны на контроле и анализе показаний встроенных датчиков. Однако стоит понимать, что внешние негативные воздействия (влажность, пыль, экстремальные температуры и т.п.) способны значительно исказить достоверность показаний датчиков ввиду их уязвимости к действию факторов окружающей среды. Стоит отметить, что показания датчиков обрабатываются электронным блоком управления (ЭБУ), встроенным в транспортное средство. Неисправность самого ЭБУ также искажает достоверность информации о состоянии

транспортного средства. Данные факты говорят о недостаточном несовершенстве современных методов диагностирования ДВС [7].

Решение проблемы видится в исследованиях по развитию метода акустического диагностирования. Преимущество метода заключается в том, что он, относясь к методам неразрушимого контроля [8, 9], не требует опираться на показания датчиков. На сегодняшний день в автомобильной отрасли активно ведется изучение таких вопросов, как акустическая оценка состояния систем впрыска топлива [10], процесса его сгорания [11], а также интенсивности механических износов. В других отраслях также успешно ведется практическое внедрение акустического контроля, например, в сфере железнодорожного транспорта при диагностировании силовых трансформаторов железных дорог [12, 13], или же в сфере авиационной отрасли как отечественными [14, 15], так и зарубежными [16, 17] специалистами. Наличие подобных научных исследований говорит о повышенном интересе к изучению возможности внедрения акустического диагностирования технических систем и актуальности данного вопроса.

В современной научно-технической литературе результаты акустических исследований ДВС в основном касаются оценки механических систем, таких как износ трибоспряжений цилиндро-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма, а также сопряженных элементов систем впрыска топлива. Не выявлено исследований по внедрению метода для оценки отказов электронных систем управления двигателем. Авторами статьи были проведены натурные эксперименты по акустическому диагностированию электронных систем управления бензинового ДВС [18, 19]. В данной статье изложены результаты подобного исследования на дизельном ДВС и проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами, выявленными на бензиновом ДВС.

Цель исследования: оценить и сопоставить полученные результаты по применению метода акустического диагностирования дизельного и бензиновых двигателей.

Задачи эксперимента:

- определить возможные неисправности электронных систем управления работой дизеля и оценить их влияние на акустический шум двигателя;

- установить зависимость частотно-шумовых характеристик дизеля от вида неисправностей электронной системы на основе спектрального разложения;

- сравнить полученные результаты с исследованием на бензиновом двигателе.

Важность проведенного исследования

Важность исследования состоит в полезном опыте практического внедрения метода акустического диагностирования для оценки технического состояния электронных систем управления работой ДВС в современные реалии технической эксплуатации НТТМ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является дизельный двигатель, входящий в состав обучающего стенда фирмы GNFA (рисунок 1).



Рисунок 1 – Стендовый дизельный двигатель
Источник: интернет-ресурс¹.

Figure 1 – Stand diesel engine
Source: internet resource «Maquette pedagogique: Moteur Injection Diesel»¹.

¹ «Maquette pedagogique: Moteur Injection Diesel». (дата обращения 07.05.2025). <http://y.odoul.free.fr/MT-MOTEUR-D>

Путем разрыва электрической цепи в блоке предохранителей (рисунок 2) воссоздаются различные неисправности электронных систем управления работой двигателя.

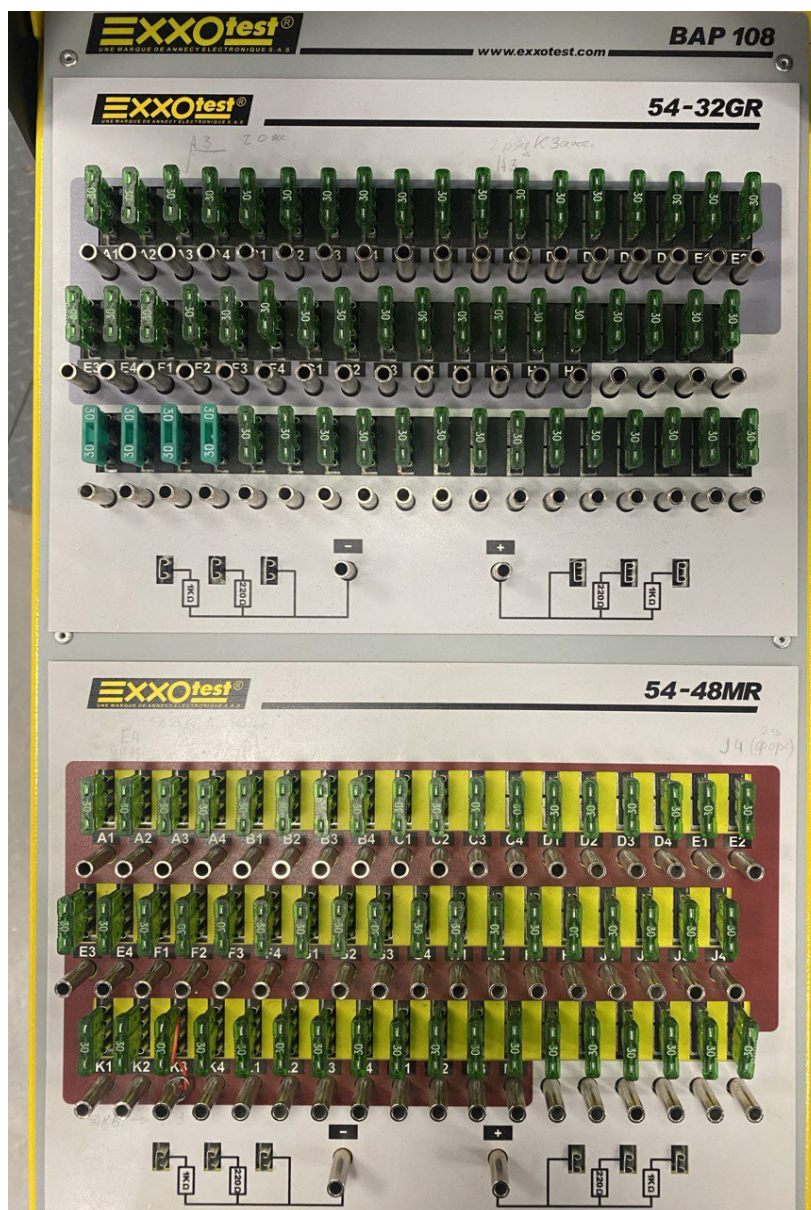


Рисунок 2 – Блок предохранителей
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Fuse box
Source: compiled by the authors.

Электрическая схема системы управления работой дизельного двигателя представлена на рисунке 3.

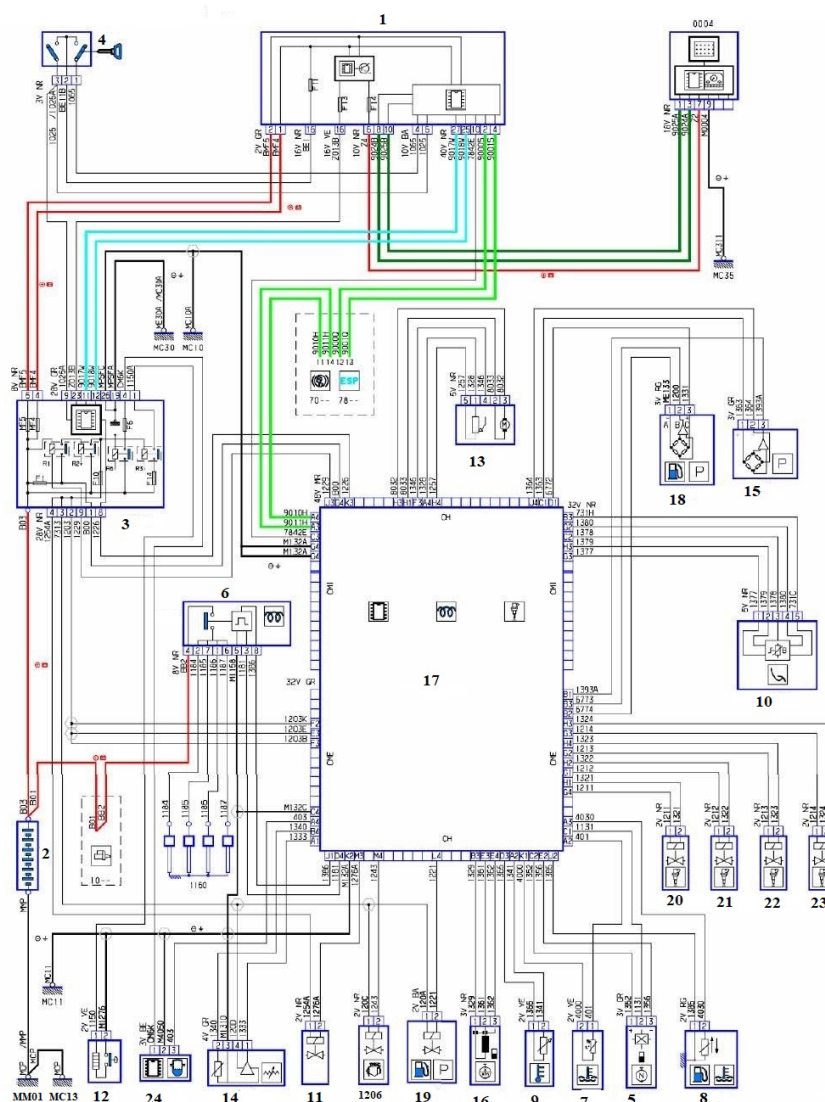


Рисунок 3 – Электрическая схема управления работой дизельного двигателя:
 1 – электронный блок управления; 2 – аккумуляторная батарея; 3 – блок предохранителей;
 4 – противоугонный выключатель; 5 – датчик соответствия цилиндра; 6 – блок предварительного подогрева; 7 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 8 – терморезистор температуры топлива;
 9 – датчик температуры поступающего воздуха; 10 – датчик положения педали акселератора;
 11 – электроклапан EGR+дроссельная заслонка; 12 – подогреватель топлива;
 13 – электрический электроклапан EGR; 14 – датчик подачи воздуха;
 15 – датчик давления впускного воздуха; 16 – датчик оборотов двигателя; 17 – компьютер двигателя;
 18 – датчик высокого давления топлива; 19 – регулятор высокого давления топлива; 20 – инжектор цилиндра № 1;
 21 – инжектор цилиндра № 2; 22 – инжектор цилиндра № 3; 23 – инжектор цилиндра № 4;
 24 – датчик присутствия жидкости
 Источник: интернет-ресурс².

Figure 3 – Electrical control scheme for diesel engine operation:
 1 – electronic control unit; 2 – rechargeable battery; 3 – fuse box; 4 – anti-theft switch; 5 – cylinder matching sensor;
 6 – preheating unit; 7 – coolant temperature sensor; 8 – fuel temperature thermistor; 9 – incoming air temperature sensor;
 10 – accelerator pedal position sensor; 11 – EGR solenoid valve + throttle heater; 12 – EGR solenoid valve;
 14 – air supply sensor; 15 – intake air pressure sensor; 16 – engine speed sensor; 17 – engine computer;
 18 – fuel high pressure sensor; 19 – fuel high pressure regulator; 20 – cylinder injector №1; 21 – cylinder injector №2;
 22 – cylinder injector №3; 23 – cylinder injector №4; 24 – fluid presence sensor.
 Source: Internet resource «Maquette pedagogique: Moteur Injection Diesel»².

² «Maquette pedagogique: Moteur Injection Diesel». (дата обращения 07.05.2025). <http://y.odoul.free.fr/MT-MOTEUR-D>

Алгоритм испытаний

1. Производится пуск двигателя без заданных неисправностей. Состояние работы двигателя – стабильное. Количество оборотов на холостом ходу – 700–900 об/мин. На звукозаписывающее устройство зафиксированы шумовые параметры. Интервал времени записи – 5 сек. После записи двигатель выключается.

2. Поочередно задаются неисправности в блоке предохранителей. В журнал фиксируется состояние работы двигателя:

– двигатель работает в нормальном режиме функционирования;

– двигатель работает в ограниченном режиме функционирования;

– двигатель не запускается.

Если двигатель работает в режиме ограниченного функционирования – производится запись на звукозаписывающее устройство, по аналогии с первым пуском двигателя (п.1).

3. Результаты испытаний заносятся в таблицу с перечнем задаваемых неисправностей электронных систем управления двигателем, и фиксируется их влияние на его работу (таблица).

Результаты испытаний представлены в таблице.

Таблица

Перечень неисправностей электронных систем управления двигателем и их влияние на его работу

Источник: составлено авторами.

Table

A list of malfunctions of electronic engine control systems, and their impact on engine operation

Source: compiled by the authors.

| Режим функционирования двигателя | Двигатель функционирует исправно | Двигатель функционирует с нарушенным режимом работы | Двигатель не функционирует |
|--|----------------------------------|---|----------------------------|
| Вид неисправности | | | |
| Отключение расходомера и датчика температуры воздуха | ✓ | | |
| Отключение датчика подачи воздуха | ✓ | | |
| Отключение электроклапана EGR | ✓ | | |
| Отключение датчика оборотов двигателя | | | ✓ |
| Отключение датчика соответствия цилиндров | | | ✓ |
| Отключение датчика температуры впускного воздуха | ✓ | | |
| Отключение датчика высокого давления топлива | | | ✓ |
| Отключение регулятора подачи топлива | | | ✓ |
| Отключение терморезистора температуры топлива | ✓ | | |
| Отключение датчика присутствия жидкости в топливе | ✓ | | |
| Отключение электроклапана EGR+ дроссельной заслонки | | | ✓ |
| Отключение датчика давления впускного воздуха | ✓ | | |
| Отключение датчика положения педали акселератора | | ✓ | |
| Отключение одного инжектора цилиндра | | ✓ | |
| Отключение двух инжекторов цилиндра | | | ✓ |
| Отключение трех инжекторов цилиндра | | | ✓ |
| Отключение электронного блока управления | | | ✓ |
| Отключение аккумуляторной батареи | | | ✓ |

Из представленной в таблице информации можно сделать следующие выводы:

1. Двигатель не функционирует при введении глобальных неисправностей, таких как отключение аккумуляторной батареи, или ЭБУ. При отключении более одного инжектора цилиндра двигатель моментально глохнет из-за недостаточных мощностных возможностей по преодолению механических и компрессорных сопротивлений в отключенных цилиндрах. Также двигатель не запускается при отключении электроклапана EGR+ дроссельной заслонки, регулятора подачи топлива, датчика высокого давления топлива, датчика соответствия цилиндров и датчика оборотов двигателя.

2. Двигатель работает в нормальном режиме при отключении датчиков расходомера и датчика температуры воздуха, датчика подачи воздуха, электроклапана EGR, датчика температуры впускного воздуха, терморезистора температуры топлива, датчика присутствия жидкости в топливе и датчика давления впускного воздуха.

3. Двигатель работает в режиме ограниченного функционирования при отключении датчика положения педали акселератора и отключении инжектора одного цилиндра. Именно при этих двух неисправностях шумовые параметры работы двигателя будут подвергнуты спектральному разложению.

Обработка и анализ результатов

После оцифровки сигнала производилось спектральное разложение полученных данных. Математически спектральное разложение имеет вид [20, 21]:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-i \left(\frac{2\pi kn}{N} \right)},$$

где $X(k)$ – спектр сигнала;

$x(n)$ – амплитуда сигнала звука (в дискретном виде) в момент времени n ;

N – количество отсчетов;

i – мнимая единица;

k – номер частотной составляющей (бин).

Измерения производились при 700–900 об/мин, что соответствует диапазону частот от 12 до 15 Гц. Принимая во внимание смещение фаз работы циклов цилиндров двигателя, диапазон частот умножался на 4 (число цилиндров двигателя). Таким образом, рассматриваемый диапазон частот составляет от 48 до 60 Гц.

При помощи программного комплекса Sonic Visualiser визуализированы спектрограммы аудиосигналов. Программа использует метод нормализации, при котором самый громкий пиковый уровень в аудиофайле принимается равным 0 дБ, а остальные уровни шума измеряются относительно данного пика. Чем тише звук, тем будет больше по модулю значение уровня шума со знаком «минус».

На рисунке 4 представлена спектрограмма акустического шума исправно работающего дизельного двигателя.

Рассматриваемый диапазон частот от 48 до 59 Гц. Средний уровень шума составляет -36 дБ...-38 дБ. Спектр имеет плавный непрерывный характер.

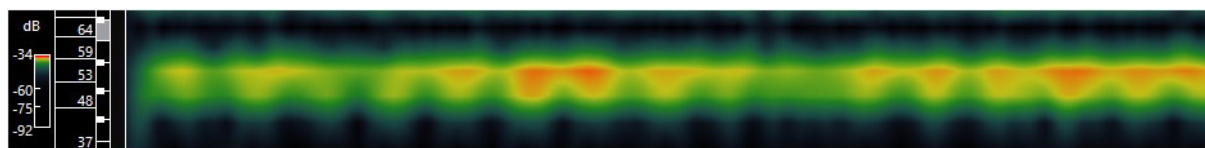


Рисунок 4 – Спектрограмма дизельного двигателя с исправным режимом работы
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Spectrogram of the diesel engine with a normal operation mode
Source: compiled by the authors.

На рисунке 5 продемонстрирована спектрограмма акустического шума дизельного двигателя с отключенным инжектором впрыска топлива в одном цилиндре.

Рассматриваемый диапазон частот от 48 до 59 Гц. Уровень шума на участках неравномерный. Имеются отчетливые значения, равные -32 дБ, но также наблюдаются шумовые «провалы», продолжительностью 100 мс, чередующиеся каждые 100 мс. Уровень шума на данных участках составляет -48 дБ...-52 дБ. Данный фактор объясним сильными колебаниями двигателя, а также смещением работы циклов цилиндро-поршневой группы, что создает разницу уровня шума в сравнении с исправным режимом работы в 4 дБ...6 дБ.

На рисунке 6 представлена спектрограмма

акустического шума двигателя с отключенным датчиком положения педали акселератора.

Ситуация аналогична при отключенном инжекторе впрыска топлива. Однако шумовые «провалы» (равные -48 дБ...-52 дБ), чередующиеся каждые 100 мс, в этом случае имеют длительность 50 мс. Основной уровень шума составляет -32 дБ...-30 дБ.

Сравнение полученных результатов со спектрограммами бензинового двигателя, ранее полученными авторами, показывает, что у исправного бензинового двигателя спектрограмма имеет более плавный непрерывный характер (рисунок 7), в то время как с одним отключенным инжектором впрыска топлива также наблюдаются шумовые провалы (рисунок 8).

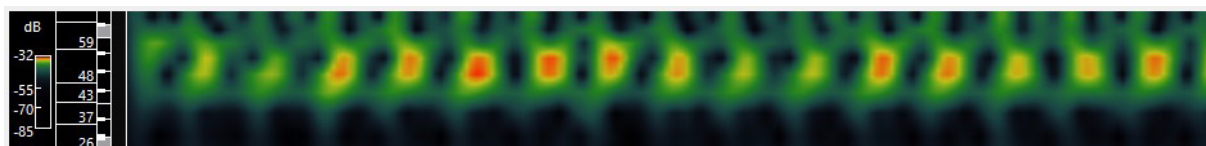


Рисунок 5 – Спектрограмма дизельного двигателя с отключенным инжектором впрыска топлива
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Spectrogram of the diesel engine with a disabled fuel injector
Source: compiled by the authors.

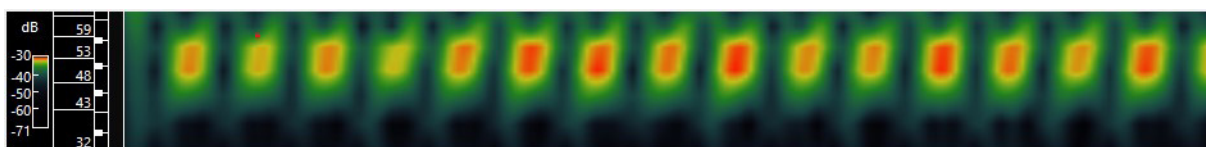


Рисунок 6 – Спектрограмма дизельного двигателя с отключенным датчиком положения педали акселератора
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – A spectrogram of a diesel engine with a disabled sensor of accelerator pedal position
Source: compiled by the authors.

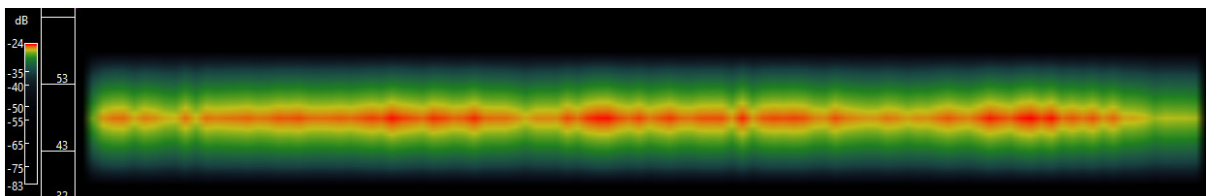


Рисунок 7 – Спектрограмма исправно работающего бензинового двигателя
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Spectrogram of the gasoline engine with a normal operation mode
Source: compiled by the authors.

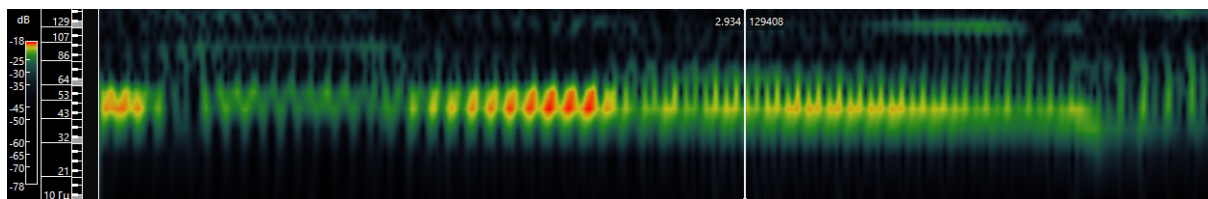


Рисунок 8 – Спектрограмма бензинового двигателя с отключенным инжектором впрыска топлива
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Spectrogram of the gasoline engine with a disabled fuel injector
Source: compiled by the authors.

Таким образом, при анализе полученных результатов выявлено:

- у исправно работающего дизельного двигателя средний уровень шума составляет 36 дБ...38 дБ на рассматриваемом диапазоне частот от 48 до 59 Гц;

- ключевым выделяющим фактором двигателя, работающего в режиме ограниченной функциональности в отличие от исправного, является наличие шумовых «провалов», при этом при отключенном инжекторе впрыска топлива их длительность составляет 100 мс, а при выключенном датчике положения педали акселератора – 50 мс;

- другим отличительным признаком является уровень шума, который у исправного двигателя тише на 4 дБ...6 дБ;

- при сравнении спектрограмм дизельного и бензинового двигателя наблюдается одинаковая логика идентификации неисправности, а именно наличие шумовых «провалов».

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате экспериментальных исследований дизельного ДВС были определены неисправности его электронных систем управления, влияющие на работу. К таким неисправностям относятся отказ датчика положения педали акселератора и неисправность одного инжектора впрыска топлива. Были записаны акустические параметры двигателя при работе в режиме ограниченной функциональности из-за введения вышеперечисленных неисправностей. По результатам были сформированы спектральные графики, идентифицирующие ту или иную неисправность. Полученные графики имеют уникальный характер для каждого вида неисправности, в результате чего возможно идентифицировать тот или иной отказ в

электронной системе управления работой дизельного ДВС. Выполнен сравнительный анализ с подобным исследованием, проведенным на бензиновом двигателе. Признаки идентификации неисправностей идентичны, что свидетельствует об устойчивой зависимости издаваемых двигателем акустических сигналов от состояния электронных систем управления его работой. В дальнейшем планируется проведение исследований на натурных образцах НТТМ, тем самым последовательно приближаясь к более реальным условиям их применения.

Практическая ценность заключается в возможности применения метода в полевых условиях, что обеспечит исключение недостатков традиционных методов диагностирования, сильно подверженных влиянию внешних факторов в экстремальных природно-климатических условиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Храпов Ю.Н., Успенский И.А., Кокорев Г.Д. [и др.]. Диагностика современного автомобиля // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 118: 1001–1025.
2. Гончаров А.А., Гончаров Н.С. Совершенствование методики диагностирования датчика кислорода автомобильных двигателей // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 10 (171): 236–240.
3. Deptuła A., Osiński P., Radziwanowska U. Decision Support System for Identifying Technical Condition of Combustion Engine // Archives of Acoustics. 2016. Vol. 41(3): 449–460.
4. Острецов Д.А. Проблемы грузоперевозок в России и пути их решения // Наука Без Границ. 2016. № 1 (1): 27–30.
5. Пушкарев А.Е., Терентьев А.В. Решение вопросов технического обеспечения доступно-

сти арктических регионов. Текст : электронный. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. С. 12–18. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50202238> (дата обращения: 31.08.2025).

6. Федосов А.В., Гайнуллина Л.А. Методы неразрушающего контроля // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2015. Т. 11(2): 73–78.

7. Сургутсков К.Н., Трегубова (Титла) И.М. Проблемы компьютерной диагностики современных автомобильных двигателей // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1 (52): 25.

8. Горбаш В.Г., Делендик М.Н., Павленко П.Н. Неразрушающий контроль в промышленности. Акустический контроль // Неразрушающий контроль и диагностика. 2011. № 4: 35–51.

9. Рыбочкин А.Ф., Савельев С.В., Смирнов А.В. Диагностирование состояния работающего автомобильного двигателя на основе анализа издаваемого им акустического шума // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2014. № 16 (156): 61–77.

10. Albarbar A., Gu F., Ball A.D. Diesel engine fuel injection monitoring using acoustic measurements and independent component analysis // Measurement. 2010. Vol. 43(10): 1376–1386.

11. Broatch A., Novella R., García-Tíscar J. [et al.] Analysis of combustion acoustic phenomena in compression-ignition engines using large eddy simulation // Physics of Fluids. 2020. Vol. 32(8): 085101.

12. Волчанина М.А. Статистические исследования сигналов акустического контроля при диагностировании силовых трансформаторов // Известия Трансиба. 2022. 3 (51): 80–89.

13. Черемисин В.Т., Кузнецов А.А., Волчанина М.А., Горлов А.В. Измерение параметров акустических сигналов имитатора дефектов силовых трансформаторов // Инновационные транспортные системы и технологии. 2020. 6(4): 161–171.

14. Виноградов В.Ю., Сайфуллин А.А. Контроль технического состояния авиационных ГТД по акустическим параметрам, измеренным на срезе сопла двигателя // Контроль. Диагностика. 2013. № 3: 53–57.

15. Никитина Н.Е., Мотова (Шабанова) Е.А., Тарасенко Ю.П. Неразрушающий контроль рабочих компрессорных лопаток авиационного двигателя // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. 2012. № 3.1 (34): 291–295.

16. Umair A., Fakhre A., Jennions I. Acoustic monitoring of an aircraft auxiliary power unit // ISA Transactions. 2023. Vol. 137: 670–691.

17. Waligórski M., Batura K., Kucal K., Merkisz J. Research on airplanes engines dynamic processes with modern acoustic methods for fast and accurate diagnostics and safety improvement // Measurement. 2019. T 154: 107460.

18. Габидулин В.Д. Акустическое диагностирование двигателя внутреннего сгорания // Вестник СибАДИ. 2024. Т.21, № 4 (98): 502–511.

19. Габидулин В.Д., Добромиров В.Н. Выявление неисправностей электронных систем управления двигателем внутреннего сгорания по акустическим параметрам // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22(3) 332–345.

20. Терехов А.В., Гужаковская К.П. Анализ спектра звукового сигнала // NBI-technologies. 2020. Т. 14(1): 23–28.

21. Данилов Д.Е. Анализ спектров // Наука, техника и образование. 2018. № 11 (52): 57–59.

REFERENCES

1. Khrapov Yu.N., Uspensky I.A., Kokorev G.D., & [i dr.] Diagnostika sovremennogo avtomobilya [Diagnostics of a modern car]. Polythematic Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2016; 118: 1001–1025. (in Russ.)

2. Goncharov A.A., Goncharov N.S. Sovershenstvovanie metodiki diagnostirovaniya datchika kisloroda avtomobil'nykh dvigatelei [Improving the method for diagnosing the oxygen sensor of automotive engines]. Vestnik of the Orenburg State University. 2014; 171 (10): 236–240. (in Russ.)

3. Deptuła A., Osiński P., Radziwanowska U.. Decision support system for identifying technical condition of combustion engine. Archives of Acoustics. 2016; 41 (3): 449–460. <https://doi.org/10.1515/aoa-2016-0043>

4. Ostretsov D.A. Problemy gruzoperevozok v Rossii i puti ikh resheniya [Problems of cargo transportation in Russia and ways to solve them]. Nauka Bez Granits. 2016; 1(1): 27–30. (in Russ.)

5. Pushkarev A.E., Terentiev A.V. Reshenie voprosov tekhnicheskogo obespecheniya dostupnosti arkticheskikh regionov [Solving issues of technical support for the accessibility of Arctic regions]. In Sbornik materialov nauchno-prakticheskoi konferentsii .2022; (pp. 12–18). Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. (in Russ.) <https://elibrary.ru/item.asp?id=50202238>

6. Fedosov A.V., Gainullina L.A.. Metody nerazrushayushchego kontrolya [Methods of non-destructive testing]. Electrotechnical and Information Complexes and Systems. 2015; 11(2): 73–78.

7. Surgutskov K.N., Tigula (Tregubova) I.M.. Problemy komp'yuternoi diagnostiki sovremennykh avtomobil'nykh dvigatelei [Problems of computer diagnostics of modern automobile engines]. Inzhenernyi Vestnik Dona. 2019; 52 (1): 25. (in Russ.)

8. Gorbash V.G., Delendik M.N., Pavlenko P.N. Nerazrushayushchii kontrol' v promyshlennosti. Akusticheskii kontrol' [Non-destructive testing in industry. Acoustic testing]. Non-Destructive Testing and Diagnostics. 2011; 4: 35–51. (in Russ.)

9. Rybochkin A.F., Savelyev S.V., Smirnov A.V. Diagnostirovanie sostoyaniya rabotayushchego avtomobil'nogo dvigatelya na osnove analiza izdavaemogo im akusticheskogo shuma [Diagnostics of the state of a running automotive engine based on the analysis of its acoustic noise]. International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. 2014; 156 (16): 61–77. (in Russ.)

10. Albarbar A., Gu F., Ball A.D. Diesel engine fuel injection monitoring using acoustic measurements and independent component analysis. *Measurement*. 2010; 43(10): 1376–1386. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2010.08.005>

11. Broatch A., Novella R., García-Tíscar J. & [et al.]. Analysis of combustion acoustic phenomena in compression-ignition engines using large eddy simulation. *Physics of Fluids*. 2020; 32(8): 085101. <https://doi.org/10.1063/5.0013662>

12. Volchanina M.A. Statisticheskie issledovaniya signalov akusticheskogo kontrolya pri diagnostirovani silovykh transformatorov [Statistical studies of acoustic control signals in the diagnosis of power transformers]. *Izvestiya Transsiba*. 2022; 51 (3): 80–89. (in Russ.)

13. Cheremisin V.T., Kuznetsov A.A., Volchanina M.A., Gorlov A.V. Izmerenie parametrov akusticheskikh signalov imitatora defektov silovykh transformatorov [Measurement of parameters of acoustic signals of a power transformer defect simulator]. *Innovative Transport Systems and Technologies*. 2020; 6(4): 161–171. (in Russ.)

14. Vinogradov V.Yu., Sayfullin A.A.. Control' tekhnicheskogo sostoyaniya aviatsionnykh GTD po akusticheskim parametram, izmerennym na sreze sopla dvigatelya [Monitoring the technical condition of aircraft GTE by acoustic parameters measured at the engine nozzle cut]. *Testing. Diagnostics*. 2013; 3: 53–57. (in Russ.)

15. Nikitina N.E., Motova (Shabanova) E.A., Tarasenko Yu.P. Nerazrushayushchii kontrol' rabochikh kompressornykh lopatok aviatsionnogo dvigatelya [Non-destructive testing of operating compressor blades of an aircraft engine]. *Vestnik of the Samara State Aerospace University*. 2012. 34(3-1): 291–295. (in Russ.)

16. Umair A., Fakhre A., Jennions I. Acoustic monitoring of an aircraft auxiliary power unit. *ISA Transactions*. 2023; 137: 670–691. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2022.12.031>

17. Waligórski M., Batura K., Kucal K., Merkisz J. Research on airplanes engines dynamic processes with modern acoustic methods for fast and accurate diagnostics and safety improvement. *Measurement*. 2019; 154: 107460. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107460>

18. Gabidulin V.D. Akusticheskoe diagnostirovanie dvigatelya vnutrennego sgoraniya [Acoustic diagnostics of an internal combustion engine]. *Vestnik of SibADI*. 2024; 21(4): 502–511. (in Russ.)

19. Gabidulin V.D., Dobromirov V.N. Vyyavlenie neispravnostei elektronnykh sistem upravleniya dvigatelem vnutrennego sgoraniya po akusticheskim parametram [Identifying malfunctions of internal combustion engine electronic control systems by acoustic parameters]. *Vestnik of SibADI*. 2025; 22(3): 332–345. (in Russ.)

20. Terekhov A.V., Guzhakovskaya K.P. Analiz spektra zvukovogo signala [Analysis of the sound signal spectrum]. *NBI-Technologies*. 2020; 14(1): 23–28. (in Russ.)

21. Danilov D.E. Analiz spektrov [Spectrum analysis]. *Nauka, Tekhnika i Obrazovanie*. 2018; 52(11): 57–59. (in Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Габидулин В.Д. Анализ состояния вопроса, планирование и проведение экспериментальных исследований, снятие спектрограмм и спектральный анализ акустических параметров двигателя, оформление статьи.

Добромиров В.Н. Разработка замысла научного исследования, участие в экспериментальных исследованиях, анализ полученных результатов, формулировка выводов, общее редактирование статьи.

Черняев И.О. Предоставление аппаратуры для проведения исследования, анализ полученных результатов, формулировка выводов, общее редактирование статьи.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Gabidulin V.D. Analysis of the problem status, planning and conducting experimental studies, taking spectrograms and spectral analysis of acoustic parameters of the engine, design of the article.

Dobromirov V.N. Development of a scientific research plan, participation in experimental research, analysis of the obtained results, formulation of conclusions, general editing of the article.

Chernyaev I.O. Provision of research equipment, analysis of the obtained results, formulation of conclusions, overall editing of the article.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Габидулин Владимир Дмитриевич – аспирант кафедры «Наземные транспортно-технологические машины» Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0565-5440>,

SPIN-код: 1960-0168,

e-mail: toymail_2014@mail.ru

Добромиров Виктор Николаевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Наземные транспортно-технологические машины» Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7803-4049>,

SPIN-код: 4389-7998,

e-mail: viktor.dobromirov@mail.ru

Черняев Игорь Олегович – канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Техническая эксплуатация транспортных средств» Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3862-4383>,

SPIN-код: 6407-1643,

e-mail: chernyaev@rambler.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gabidulin Vladimir D. – Postgraduate Student, Department of Ground Transport and Technological Machines, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2-nd Krasnoarmeyskaya Street, St. Petersburg, 190005).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0565-5440>,

SPIN-code: 1960-0168,

e-mail: moymail_2014@mail.ru

Dobromirov Viktor N. – Doctor of Technical Sciences (Engineering), Professor, Department of Ground Transport and Technological Machines, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

(4, 2-nd Krasnoarmeyskaya Street, St. Petersburg, 190005).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7803-4049>,

SPIN-code: 4389-7998

e-mail: viktor.dobromirov@mail.ru

Chernyaev Igor O. – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Technical Operation of Vehicles, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2-nd Krasnoarmeyskaya St., St. Petersburg, 190005).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3862-4383>,

SPIN-code: 6407-1643,

e-mail: chernyaev@rambler.ru