


ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.432.3:629.083

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-5-52-56

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАРКА МОБИЛЬНЫХ МАШИН

ЩУКИНА ВАРВАРА НИКОЛАЕВНА , канд. техн. наукfirstnotbarbara@gmail.com ; <https://orcid.org/0000-0002-3344-0358>**ДЕВЯНИН СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ**, д-р техн. наук, профессорdevta@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6776-0432>**КАЗАНЦЕВ СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ**, д-р техн. наук, профессорkspts@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>**МАТВЕЕВ АНДРИС ИЛМАРОВИЧ**, канд. техн. наукmisterandris@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8751-0534>

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. На данный момент отсутствует комплексное решение по удаленному контролю за техническим состоянием, местоположением и другими параметрами парка машин. Одними из перспективных направлений в области ремонта и диагностики являются упреждающая диагностика и совершенствование систем диагностирования. Для решения данной задачи предложен веб-сервис, с помощью которого можно контролировать местоположение единиц техники, техническое состояние и другие параметры. Для взаимодействия пользователя и веб-сайта выбран язык программирования JavaScript с асинхронными AJAX-запросами. Для хранения данных предложен облачный сервер, для доступа к которому выбрана реляционная система управления базами данных MySQL. При передаче на сервер все данные конвертируются в JSON-формат с помощью сервера Apache, являющегося средством связи между экраном оператора и сервером. Для коммуникации всех систем применен кроссплатформенный локальный сервер XAMPP. Для отправки сообщений и установления быстрой коммуникации между операторами, механиками и водителями применен мессенджер Slack. Для удаленного контроля технического состояния двигателя внутреннего сгорания в систему встроены разработанный алгоритм диагностики, позволяющий контролировать состояние механических систем на основе анализа данных, полученных из электронной системы управления. К системе электронного управления можно подключиться с помощью одного разъема OBD-2 и считать стандартную информацию о техническом состоянии данной техники. Возможность применения разработанного алгоритма диагностики подтверждена на экспериментальной установке с дизельным двигателем IVECOF4HE с современным электронным управлением. Проведенный экономический расчет показал эффективность внедрения системы удаленного контроля в процессе эксплуатации на предприятии. Следующий этап в разработке интеллектуальной системы диагностики будет заключаться в усовершенствовании алгоритма диагностики технического состояния и расширении контроля за другими частями машины.

Ключевые слова: интеллектуальная система контроля технического состояния, мониторинг мобильной техники, техническая диагностика, диагностика в процессе эксплуатации

Формат цитирования: Щукина В.Н., Девянин С.Н., Казанцев С.П., Матвеев А.И. Проектирование интеллектуальной системы контроля технического состояния парка мобильных машин // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 5. С. 52-56. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-52-56>.

© Щукина В.Н., Девянин С.Н., Казанцев С.П., Матвеев А.И., 2022



ORIGINAL PAPER

DESIGNING AN INTELLIGENT SYSTEM FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF A MOBILE VEHICLE FLEET

VARVARA N. SHCHUKINA, PhD (Eng)firstnotbarbara@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3344-0358>**SERGEY N. DEVYANIN**, DSc (Eng), Professordevta@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6776-0432>**SERGEY P. KAZANTSEV**, DSc (Eng), Professorkspts@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>

ANDRIS I. MATVEEV, PhD (Eng)misterandris@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8751-0534>

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Abstract. At the moment, there is no comprehensive solution for the remote monitoring of the technical condition, location and other parameters of the machine fleet. One of the promising areas in repair and diagnostics is proactive diagnostics and improvement of diagnostics systems. To solve this problem, web-service is offered, which can help control location of machinery units, technical condition, and other parameters. The JavaScript programming language with asynchronous AJAX-requests is suitable for user-website interaction. For data storage, the authors proposed a cloud server accessed through the MySQL relational database management system. When transferred to the server, all data are converted into JSON format by means of the Apache server, which is the means of communication between the operator's screen and the server. A cross-platform local XAMPP server is used to communicate all systems. The Slack messenger is used to send messages and establish fast communication between operators, mechanic components, and drivers. To remotely monitor the technical condition of a combustion engine, the system has a diagnostic algorithm that allows monitoring the condition of mechanical systems taking into account the analysis of data received from the electronic control system. The electronic control system can be connected via a single OBD-2 connector to read out standard information about the technical condition of the vehicle. The applicability of the developed diagnostic algorithm has been confirmed on a pilot plant with an IVECOF4HE diesel engine with modern electronic means of control. The conducted economic analysis has proved the effectiveness of the implementation of a remote control system during vehicle operation at the enterprise. The next stage in the development of an intelligent diagnostic system is to improve the algorithm for diagnosing the technical condition and expanding control over the other vehicle parts.

Keywords: intelligent system for monitoring technical condition, mobile machinery monitoring, technical diagnostics, runtime diagnostics

For citation: Shchukina V.N., Devyanin S.N., Kazantsev S.P., Matveev A.I. Designing an intelligent system for monitoring the technical condition of a mobile vehicle fleet. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(5): 52-56. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-52-56>.

Введение. Современная производимая техника (автомобили, тракторы, грузовики) разрабатывается с электронными системами управления. Тренд в развитии встроженных систем управления направлен в сторону повышения возможностей алгоритмов управления за счет увеличения количества датчиков и исполнительных органов [1]. Особое внимание уделяется контролю работоспособности благодаря развитию функций самодиагностики систем управления. На сегодняшний день уровень самодиагностики систем управления не позволяет полностью заменить человека, и за определение конкретной причины неисправности отвечает именно он. Перспективными направлениями в области ремонта и диагностики, позволяющими получить конкурентные преимущества, являются упреждающая диагностика и совершенствование систем диагностирования [2].

Благодаря тому, что современные системы оснащены стандартными диагностическими разъемами, есть возможность развивать различные диагностические методики, в том числе дистанционные. Для осуществления диагностических воздействий необходимо установить адаптер в диагностический разъем. Скорость проведения и уровень проводимой диагностики определяются разрабатываемыми алгоритмами сбора и обработки получаемых данных [3]. Поэтому встает вопрос о цифровизации и автоматизации процесса сбора и анализа данных с мобильных машин. Для разработки новых методов диагностирования необходимо применять современные технологии, которые позволяют удаленно контролировать состояние мобильной сельскохозяйственной техники в процессе ее эксплуатации, и это можно реализовать благодаря уровню развития современных электронных систем [4, 5].

На данный момент по стандартным протоколам можно получать информацию с машин удаленно, без физического воздействия на систему. При помощи установки приемно-передающего устройства в стандартный разъем OBD-2 можно передавать информацию во внешний мир, но нет системы,

которая позволяла бы контролировать технические параметры парка машины удаленно [6].

Цель исследований: проектирование интеллектуальной системы, позволяющей реализовать удаленный контроль за техническим состоянием парка мобильных машин.

Материалы и методы. В качестве программного решения выбрана разработка веб-сайта, так как нет необходимости дополнительно устанавливать на компьютер или телефон дополнительные программы. Для взаимодействия пользователя и веб-сайта выбран язык программирования JavaScript с асинхронными AJAX-запросами, которые позволяют проводить анализ необходимой информации.

Для хранения данных применен облачный сервер, для доступа к которому выбрана реляционная система управления базами данных MySQL.

При передаче на сервер все данные конвертируются в JSON-формат с помощью сервера Apache, который является средством связи между экраном оператора и сервера.

Для коммуникации всех выбранных систем применен кроссплатформенный локальный сервер XAMPP. Для отправки сообщений и установления быстрой коммуникации между операторами, механиками и водителями применялся мессенджер Slack, позволяющий подключить отправку сообщения с сайта и из любого другого приложения.

Для удаленного контроля технического состояния двигателя внутреннего сгорания разработан алгоритм диагностики, позволяющий контролировать состояние механических систем на основе анализа данных, полученных из электронной системы управления.

Возможность применения разработанного алгоритма диагностики подтверждена на экспериментальной установке с дизельным двигателем IVECOF4HE с современным электронным управлением [7].

Результаты и их обсуждение. Традиционно эксплуатация парка техники подразумевает взаимодействие трех

групп лиц: водителей, операторов и механиков. Операторы составляют график работы, планируют рабочее время для машин и людей. В это время механики подготавливают технику к работе, после чего приступают к работе водители. При возникновении непредвиденной поломки производимые работы приостанавливаются. При серьезной поломке машина транспортируется на станцию технического обслуживания. Механики не всегда могут оперативно устранить поломку в связи с потребностью выявления неисправности и заказа запасных частей. Диагностика нестандартных неисправностей может занимать достаточно много времени – от нескольких часов до нескольких дней [8]. Оператор перераспределяет нагрузку и пытается устранить нехватку машины с минимальными потерями для предприятия, например, перенаправляя другую единицу техники, что не всегда возможно. Во время экстренного ремонта техники

возникает простой в работе, что недопустимо в период уборки, поскольку увеличение сроков грозит потерей значительной части урожая.

Схема традиционной модели работы предприятия с использованием диаграммы деятельности представлена на рисунке 1а.

Для устранения срыва в работе предлагается внедрить интеллектуальную систему контроля за техническим состоянием парка машин. Схема работы при этом изменится. После выезда техники на работы интеллектуальная система контроля постоянно проводит мониторинг состояния машины и прогнозирует износ. Если система «видит», что скоро будет поломка, то она помогает заказать запасные части, информирует механиков о скором прибытии техники и помогает заранее скорректировать план работ.

На рисунке 1б представлена логика работы предприятия с внедренной интеллектуальной системой контроля.

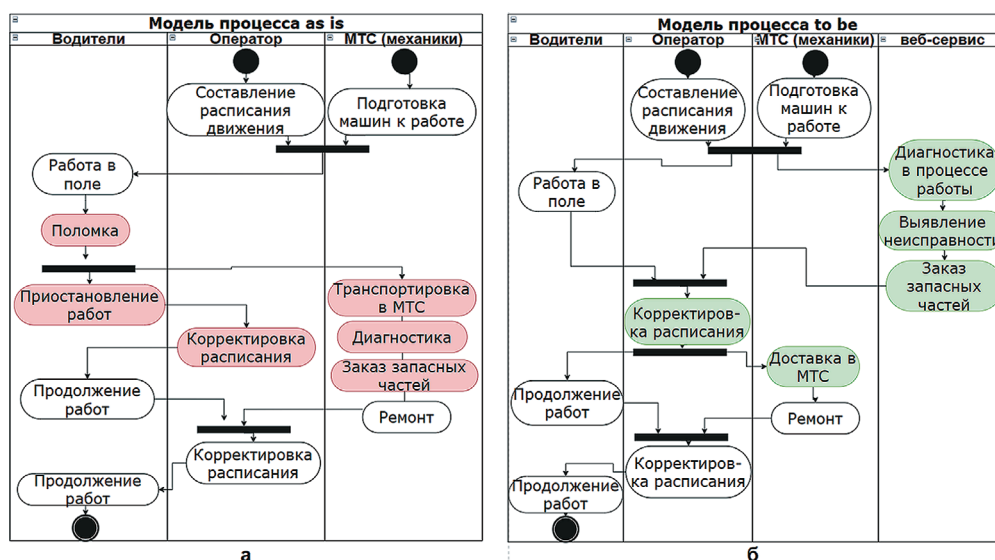


Рис. 1. Схема функционирования предприятия:

а – традиционная модель; б – модель с применением интеллектуальной системы контроля за техническим состоянием парка машин

Fig. 1. Operating diagram of the enterprise:

a – conventional model; b – model using an intelligent system for monitoring the technical condition of a vehicle fleet

При реализации подобного сервиса на географической карте на экране монитора в режиме online отображается трек движения машины с помощью стандартных карт OpenStreetMap; есть возможность через интеллектуальную систему отправлять сообщения в чат-бот для информирования разных групп лиц о происходящем. Помимо этого, в систему встроены алгоритмы диагностики механических частей двигателя по показаниям, полученным со стандартных датчиков, уже установленных на машине.

На рисунке 2 представлена структурная схема работы веб-сервиса с названиями запросов и взаимодействующими структурами. Оператор на экране монитора может создать и загрузить базу данных, построить графики зависимостей друг от друга различных переменных, определить местоположение требуемой единицы техники и всего парка в целом и отправить сообщение водителю и механику.

Загрузка базы данных происходит с помощью отправки запроса на «JavaScript», который конвертируется в формат «JSON». Далее сервер «Apache» помогает распределить информацию: если необходимо отправить сообщение, то связывается с сервисом «Slack», и выбранному пользователю

приходит уведомление; если необходимо сохранить или выбрать данные, то взаимодействие происходит с сервисом «MySQL».

Для анализа полученных данных и удаленной диагностики двигателя внутреннего сгорания добавлена функция построения графиков по заданным параметрам. На первом этапе диагностики постоянно контролируется расход топлива на холостом ходу, исключение составляет процесс пуска и прогрева двигателя (так как работа идет еще на неустойчивых режимах). Текущий расход топлива постоянно сравнивается с эталонным расходом топлива. Если значения действительного расхода топлива не выходят за границы допуска, то двигатель считается исправно работающим, и в дальнейшей диагностике нет необходимости. Если значения действительного расхода топлива вышли за границы допуска, то рассчитывается диагностический показатель D_1 для дальнейшего сравнения.

При превышении границы допуска действительного расхода топлива необходимо переходить ко второму этапу оценки технического состояния двигателя – к выбегу и расчету второго диагностического показателя D_2 .

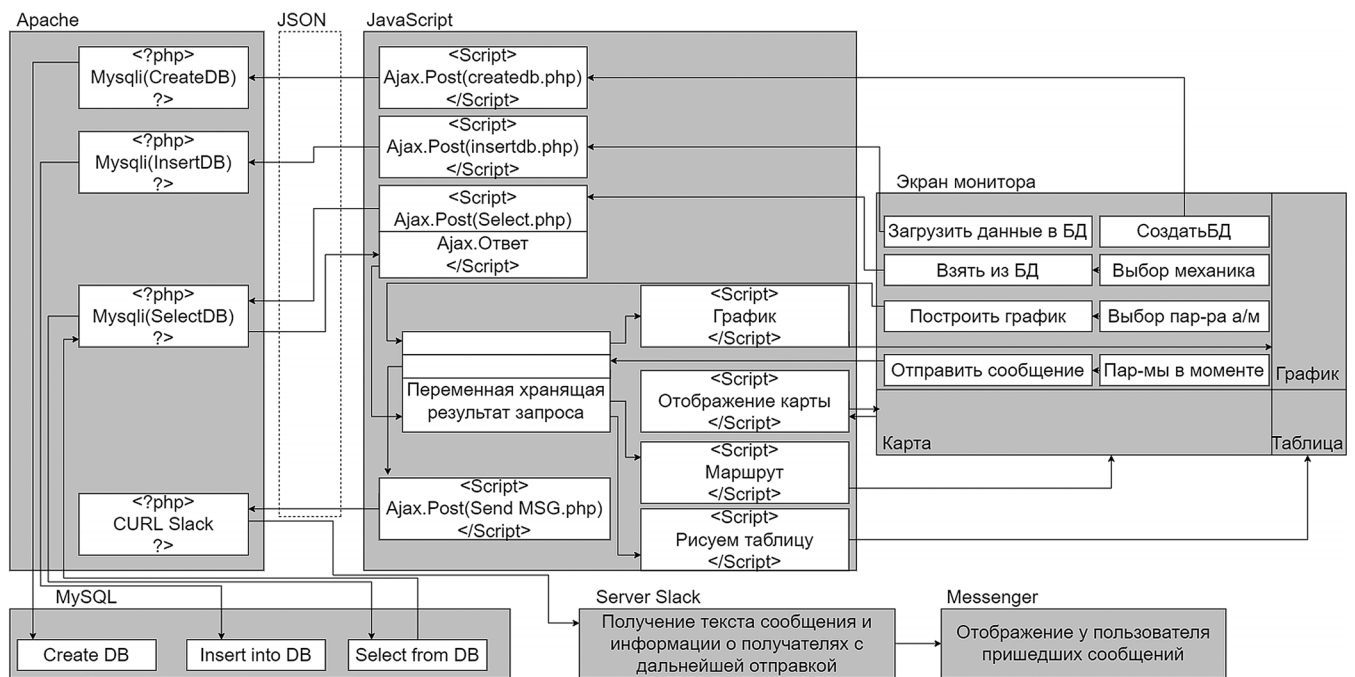


Рис. 2. Структурная схема работы сервиса

Fig. 2. Block diagram of the service

Выявление причины неисправности (факторов, влияющих на механические потери, либо факторов, влияющих на индикаторные показатели) происходит путем сравнения двух диагностических показателей. В случае равенства показателей (или если они близки друг к другу) неисправность обусловлена появлением проблем в узлах и агрегатах, оказывающих влияние на мощность механических потерь.

В случае, когда изменение цикловой подачи превышает изменение углового ускорения ($D_1 > D_2$), или когда $D_2 = 1$, неисправность в двигателе возникает ввиду появления проблем с факторами, влияющими на индикаторные показатели.

В случае, когда показатель $D_2 > 1$ и $D_1 \neq D_2$, неисправность в двигателе возникает ввиду факторов, влияющих на индикаторные показатели и на показатели, влияющие на мощность механических потерь.

Рассмотрим схему реализации удаленного контроля на предприятии. На мобильную технику будет установлено приемно-передающее устройство в стандартный разъем OBD-2. Передача данных будет осуществляться через спутник на сервер для последующего хранения и анализа. Если система прогнозирует неисправность, то она передаст данные на станцию технического обслуживания и оповестит лиц, принимающих решения, для последующих действий. Владельцы техники будут контролировать техническую исправность и другие параметры с помощью мобильных гаджетов. Частью функций можно будет управлять удаленно. Сейчас это уже частично реализовано: так, можно завести машину и прогреть ее в холодную погоду, или владелец с помощью телефона блокирует управление и выключает двигатель [9]. При повышении уровня технологий система сможет стать полностью автономной, и участие человека сведется к контролю за происходящим.

В дальнейшем планируется усовершенствование алгоритма диагностики технического состояния двигателя и добавление диагностики других частей машины в интеллектуальную систему диагностики, без установки дополнительных

датчиков, что существенно расширит функционал и возможности разработанной системы.

Согласно методике анализа и диагностике финансово-хозяйственной деятельности предприятия [10] оценена экономическая эффективность разработанной интеллектуальной системы. Внедрение интеллектуальной системы контроля технического состояния на предприятии с парком машин 200 ед. позволит снизить затраты на топливо на 8...12%, что доказывает эффективность ее внедрения.

Потенциальными потребителями предложенного сервиса являются владельцы предприятий с парком машин с электронным управлением. Благодаря заблаговременной локализации неисправностей и работе в технически исправном состоянии будут получены следующие преимущества:

- минимизация расхода топливно-смазывающих материалов и уменьшение затрат на запасные части;
- снижение риска срыва плана работы;
- изменение расписания работы в режиме онлайн без остановки работ;
- уменьшение негативного влияния на окружающую среду.

Выводы

1. Спроектированный веб-сервис позволит реализовать интеллектуальную систему контроля технического состояния мобильных машин, появится возможность отправлять сообщения в чат водителю, проводить анализ зависимых переменных по заданным формулам и контролировать положение техники в пространстве.

2. Разработанный алгоритм позволяет диагностировать состояние механических компонентов двигателя внутреннего сгорания по показателям, полученным с датчиков системы электронного контроля, установленной производителем двигателя.

3. Следующими этапами разработки интеллектуальной системы планируются усовершенствование алгоритма диагностики технического состояния двигателя и дополнение диагностики других частей машины.

Список использованных источников

1. Ананьин А.Д., Михлин В.М., Габитов И.И. и др. Диагностика и техническое обслуживание машин: Учебник. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 432 с.
2. Denton T. Advanced automotive fault diagnosis. Automotive technology: Vehicle maintenance and repair. Routledge, 2016. 352 p.
3. Martyr A.J., Plint M.A. Engine testing: the design, building, modification and use of powertrain test facilities. Elsevier, 2012. 571 p.
4. Долгов И.А., Александров А.В. Мобильный комплекс для регистрации и обработки параметров работы автомобильного двигателя // Журнал автомобильных инженеров. 2017. № 2 (103). С. 11-17. EDN: YQFRLV.
5. Халиуллин Ф.Х., Ахметзянов И.Р. Особенности составления диагностической матрицы Байеса при безразборной диагностике двигателей внутреннего сгорания // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5-3 (47). С. 205-209. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.47.270>
6. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н. Оптимизация обнаружения и измерения параметров ДВС измерительной экспертной системой // Ползуновский вестник. 2011. № 2-2. С. 275-279. EDN: PBRJEF.
7. Девянин С.Н., Шукина В.Н., Павлов Я.Д., Симоненко А.Н. Экспериментальная установка с дизельным двигателем IVECO // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2018. № 3 (85). С. 30-34. <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-3-30-34>
8. Девянин С.Н., Шукина В.Н. Использование режима холостого хода двигателя для его технической диагностики // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015. Т. I. Вып. 287-2. С. 176-180. EDN: YSIWXO.
9. Третьяков А.А. Адаптивное управление дизельным двигателем // Тезисы докладов 58 научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2005. С. 59.
10. Зимин Н.Е. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия. М.: КолосС, 2007. 384 с.

Критерии авторства

Шукина В.Н., Девянин С.Н., Казанцев С.П., Матвеев А.И. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Шукина В.Н., Девянин С.Н., Казанцев С.П., Матвеев А.И. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 21.04.2022

Одобрена после рецензирования 15.08.2022

Принята к публикации 15.08.2022

References

1. Ananyin A.D., Mikhlin V.M., Gabitov I.I. et al. Diagnostika i tekhnicheskoye obsluzhivaniye mashin [Diagnostics and maintenance of machines]. Moscow, Akademia 2008. 432 p. (In Rus.)
2. Denton T. Advanced automotive fault diagnosis. Automotive technology: Vehicle maintenance and repair. Routledge, 2016. 352 p.
3. Martyr A.J., Plint M.A. Engine testing: the design, building, modification and use of powertrain test facilities. Elsevier, 2012. 571 p.
4. Dolgov I.A., Aleksandrov A.V. Mobile unit for registration and processing parameters of an automobile engine [Mobil'nyy kompleks dlya registratsii i obrabotki parametrov raboty avtomobil'nogo dvigatelya]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*. 2017; 2 (103): 11-17. (In Rus.)
5. Khaliullin F.Kh., Akhmetzyanov I.R. Osobennosti sostavleniya diagnosticheskoy matritsy Bayesa pri bezrazbornoy diagnostike dvigateley vnutrennego sgoraniya [Features of compiling a Bayesian diagnostic matrix for in-place diagnostics of internal combustion engines]. *International Scientific Research Journal*. 2016; 5-3 (47): 205-209. (In Rus.) <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.47.270>
6. Dobrolyubov I.P., Savchenko O.F., Olshevskiy S.N. Optimizing the detection and measurement of internal combustion engine parameters by a measuring expert system. [Optimizatsiya obnaruzheniya i izmereniya parametrov DVS izmeritel'noy ekspertnoy sistemoy]. *Polzunovskiy Vestnik*. 2011; 2-2: 275-279. (In Rus.)
7. Devyanin S.N., Shchukina V.N., Pavlov Ya.D., Simonenko A.N. Eksperimental'naya ustanovka s dizel'nyim dvigatelem IVECO [Experimental installation with IVECO diesel engine]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2018; 3 (85): 30-34. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-3-30-34>
8. Devyanin S.N., Shchukina V.N. Ispol'zovaniye rezhima kholostogo khoda dvigatelya dlya ego tekhnicheskoy diagnostiki [Using the idle mode of the engine for its technical diagnostics]. *Doklady Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2015; I (287-2): 176-180. (In Rus.)
9. Tretyakov A.A. Adaptivnoye upravlenie dizel'nyim dvigatelem [Adaptive control of a diesel engine]. *Tezisy dokladov 58 nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, magistrantov i aspirantov*. Yaroslavl. YaGTU Publishing House, 2005. P. 59.
10. Zimin N.E. Analiz i diagnostika finansovo-khozyaystvennoy deyatelnosti predpriyatiya [Analysis and diagnostics of the financial and economic activity of the enterprise]. Moscow, Kolos, 2007. 384 p. (In Rus.)

Contribution

V.N. Shchukina, S.N. Devyanin, S.P. Kazantsev and A.I. Matveev performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. V.N. Shchukina, S.N. Devyanin, S.P. Kazantsev and A.I. Matveev have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 21.04.2022

Approved after reviewing 15.08.2022

Accepted for publication 15.08.2022