



**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ УСТАНОВКА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ, РАЗРАБОТКИ И ТЕСТИРОВАНИЯ
ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

М.Ф. Садыков

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Резюме: В настоящее время тестирование и настройка электронных систем управления двигателем является длительным и трудоёмким процессом, так как необходимо выполнение всех требований по безопасности, обеспечение мощностных, экологических параметров и топливной экономичности разрабатываемых ДВС. В статье описана многофункциональная автоматизированная установка для настройки электронной системы управления, для ускорения калибровки и модификации алгоритмов электронных систем управления двигателем внутреннего сгорания, отработки реакций на возникающие неисправности.

Ключевые слова: автоматизированная многофункциональная установка, устройства для контроля технического состояния двигателя, двигатель внутреннего сгорания, электронная система управления, свободный выкат двигателя, газораспределительный механизм.

DOI: 10.30724/1998-9903-2018-20-9-10-138-145

Для цитирования: Садыков М.Ф. Автоматизированная многофункциональная установка для исследования, разработки и тестирования двигателя внутреннего сгорания // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018. Т. 20. № 9-10. С. 138-145. DOI: 10.30724/1998-9903-2018-20-9-10-138-145.

**AUTOMATED MULTIFUNCTIONAL INSTALLATION
FOR THE RESEARCH, DEVELOPMENT AND TESTING
OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE**

M.F.Sadykov

Kazan State Power Engineering University, Russia, Kazan

Abstract: At present, testing and tuning of electronic engine control systems is a long and laborious process, since it is necessary to fulfill all safety requirements, ensure power and environmental parameters and fuel efficiency of the engine being developed. The article describes a multifunctional automated installation for tuning up an electronic control system, speeding up the calibration and modification of algorithms for electronic control systems of an internal combustion engine, and to work off reactions to occurring malfunctions.

Keywords: automated multifunctional installation, devices for monitoring the technical condition of the engine, internal combustion engine, electronic control system, free roll out of the engine, gas distribution mechanism.

For citation: *M.F. Sadykov Automated multifunctional installation for the research, development and testing of internal combustion engine // Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS 2018. vol. 20. № 9-10. pp. 138-145. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-9-10-138-145.*

Введение

Ужесточение требований к выбросам вредных веществ и улучшению экономичности двигателей внутреннего сгорания вынуждает производителей совершенствовать электронные системы управления двигателем (ЭСУД) и создавать более совершенные алгоритмы управления. В настоящее время создание новых электронных блоков управления (ЭБУ) или улучшенных алгоритмов управления основано на принципе моделирования разрабатываемого двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Тестирование и настройка электронных систем управления двигателем является трудоёмким и длительным процессом, так как необходимо выполнение всех требований по безопасности, обеспечение экологических, мощностных показателей и экономичности расхода топлива разрабатываемых ДВС.

Проверка электронных систем управления должна быть выполнена при всех рабочих режимах двигателя: при предельных температурах, давлении окружающей среды с учетом влияния неисправных элементов на работоспособность системы. Для предварительной проверки ЭСУД целесообразно использовать специальные аппаратно-программные комплексы (АПК), которые способны проводить испытания, настройку, калибровку датчиков и блоков ДВС в рабочих режимах без использования стендовых или натурных исследований. Такой АПК при разработке новых функциональных и конструктивных решений должен иметь возможность проведения научно-исследовательских работ, например, системы управления фазами газораспределения.

В работе проведен анализ методов, повышающих возможности бортовой диагностики ЭСУД в области оценки его рабочего состояния [1]. Был разработан метод диагностики, который использует информацию только со штатных датчиков ДВС. Предложены алгоритмы анализа данных, которые можно разместить в программе ЭБУ. В качестве сопутствующей задачи построена модель ДВС, адекватно отражающая работу последнего во время проведения диагностического испытания.

Зная изменение механического состояния ДВС во времени, используя стандартные методы статистики, можно прогнозировать остаточный ресурс как ДВС в целом, так и срока ближайшего технического обслуживания. Более того, зная механические параметры, можно проводить оценку состояния картриджей фильтрующих элементов и смазочных материалов. В целом это повысит точность прогнозов и даст заметный экономический эффект, так как своевременное прохождение технического обслуживания продлит ресурс двигателя, а замена, при необходимости, горюче-смазочных материалов – позволит экономить на их потреблении.

С целью реализации всех перечисленных возможностей была предложена концепция нового диагностического метода и разработана автоматизированная многофункциональная установка (АМУ) для тестирования и эмуляции работы ДВС и ЭБУ.

Разработка АМУ

Разработанная АМУ состоит из трех частей: диагностической, эмулирующей и управляющей (рис.1) [2,3].

Представленная на рис. 2 АМУ обеспечивает работу в следующих основных режимах:

1. Режим полной программной эмуляции. Связь блоков обозначена «1».
2. Режим настройки электронных блоков управления. Связь блоков обозначена «2».

3. Режим разработки и проверки алгоритмов управления. Связь блоков обозначена «3».

4. Режим испытания и тестирования реального ЭБУ на работу с реальным ДВС. Связь блоков обозначена «4».

5. Режим испытания исполнительных механизмов и датчиков. Связь блоков обозначена «1, 2, 3, 5».

В состав программного комплекса АМУ для диагностики технического состояния ДВС входит несколько измерительных блоков, реализующих различные алгоритмы сбора информации, накопления, предварительной обработки массивов данных, а также их последующей визуализации. Реализована возможность установки «запредельных» значений датчиков в ручном режиме, эмуляции обрыва или короткого замыкания в цепях датчиков и исполнительных механизмов.

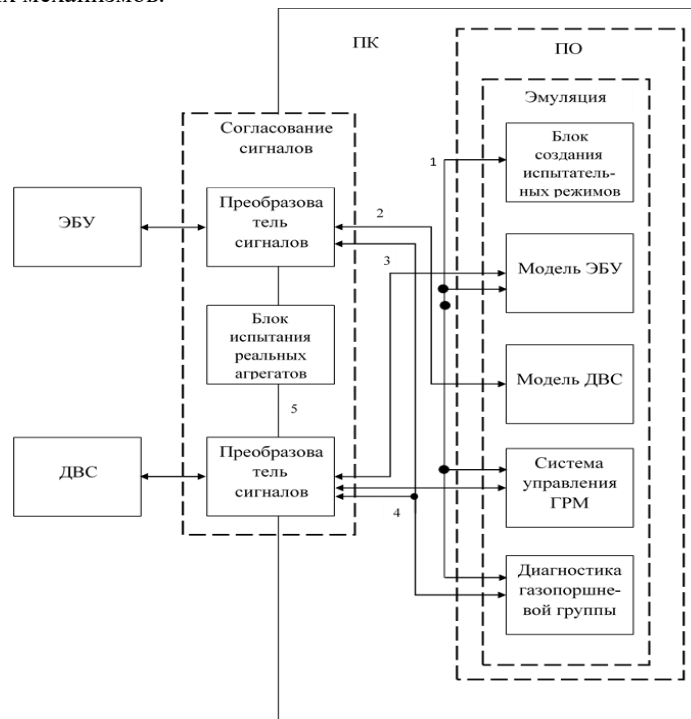


Рис.1. Блок-схема АМУ

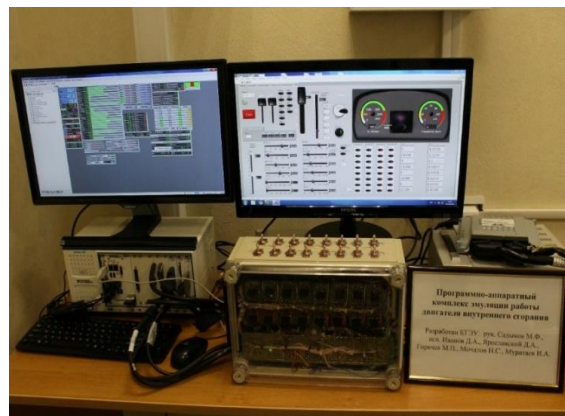


Рис.2. Внешний вид основных узлов экспериментальной установки

Все алгоритмы по фильтрации, детектированию, накоплению, управлению и предварительной обработке реализованы программными средствами в среде графического программирования LabVIEW [4, 5] (рис. 3).

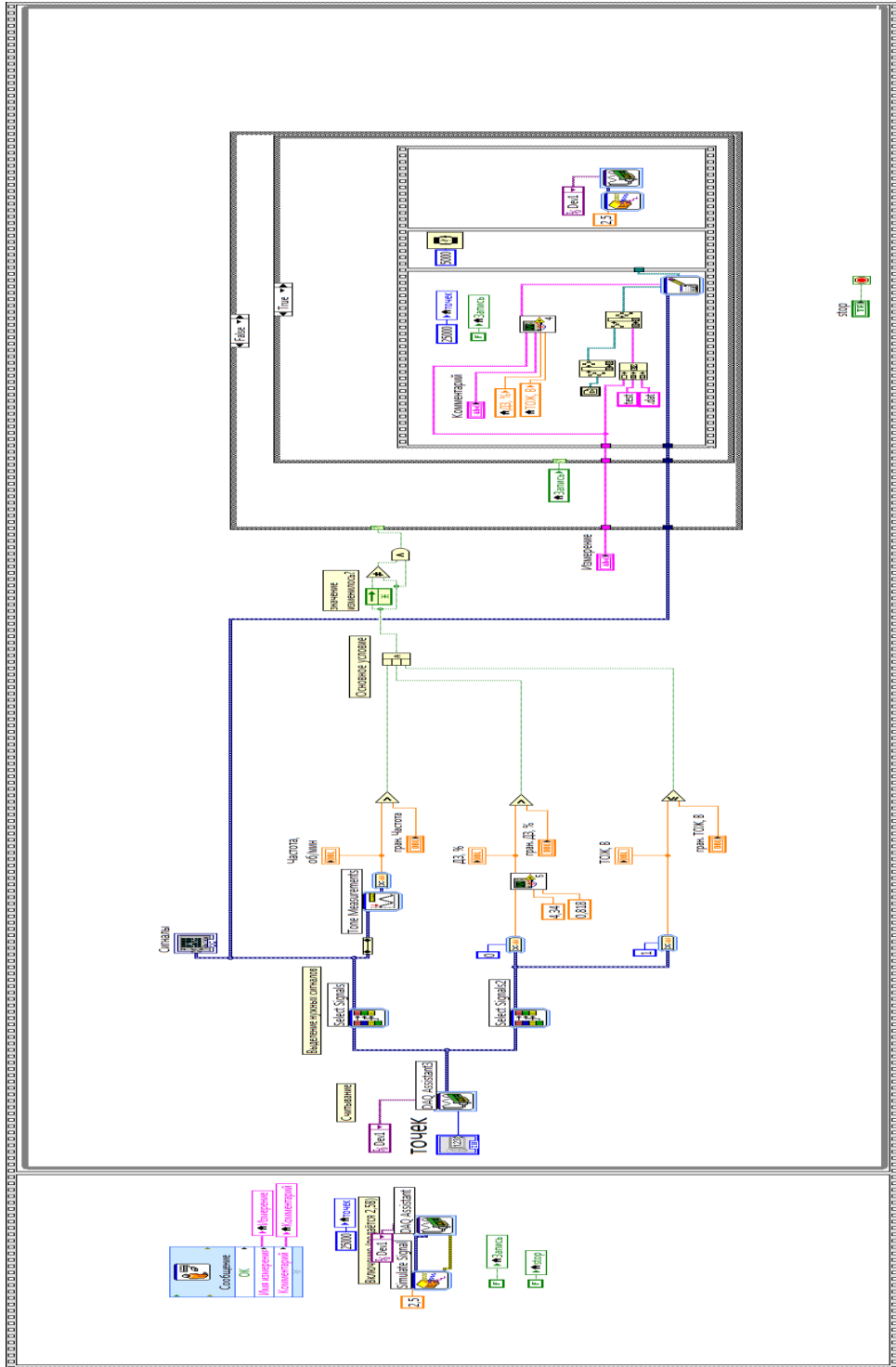


Рис. 3. Блок-диаграмма программы сбора информации, накопления и предварительной обработки массивов данных, а также их дальнейшей визуализации

Исследования и основные результаты, полученные на АМУ

Разработана математическая модель работы ДВС [6], в которую введены коэффициенты «утечки», являющиеся показателями потерь объема воздуха в цикле сжатия для каждого цилиндра. Используя данную модель, был проведен численный эксперимент – расчет свободного выката для двигателя автомобиля ВАЗ-21114. (рис. 4).

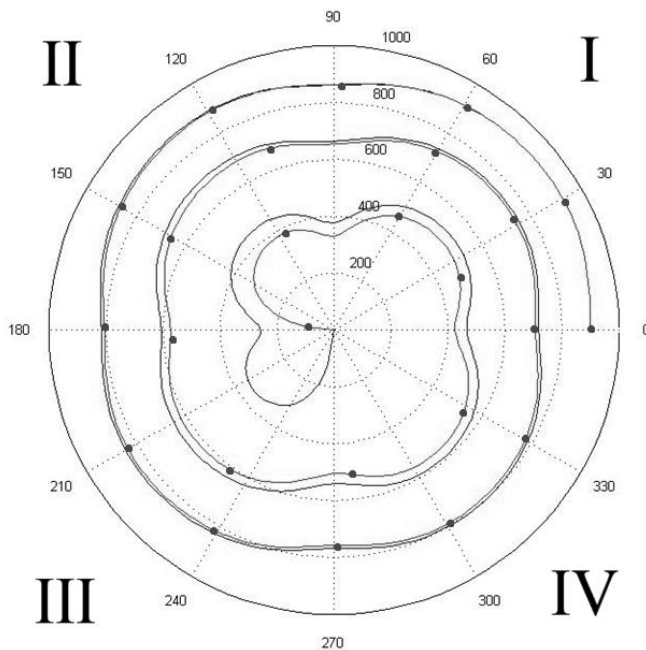


Рис. 4. Свободный выкат двигателя с равномерной поцилиндровой утечкой (кривая без точек) и двигателя с поврежденным вторым цилиндром

Начальная скорость коленчатого вала двигателя принималась равной 900 об/мин. Для визуализации модельного эксперимента мы применили построенные в полярных координатах диаграммы (рис. 4). Угловая координата на диаграмме соответствует угловому положению газораспределительного вала, по текущему положению радиус-вектора откладывается мгновенная частота вращения коленчатого вала.

Кривой без точек показан численный эксперимент свободного выката исправного двигателя с равномерными коэффициентами утечки, кривой с точками – выкат двигателя с повышенным износом цилиндро-поршневой группы во втором цилиндре, оставшиеся цилиндры без износа.

Из графика можно сделать вывод о влиянии коэффициента утечки на изменение скорости коленчатого вала. При значительной утечке происходит заметное снижение скорости.

На основе метода свободного выката был предложен улучшенный алгоритм неразрушающей диагностики технического состояния двигателя внутреннего сгорания.

В работе диагностировались шесть ДВС «ВАЗ-21114». Данный двигатель выбирался из соображений доступности. В качестве начальной скорости выбрана величина 1550 об./мин., в качестве рабочей температуры – 90°C. На одном и том же двигателе эксперимент повторялся не менее пяти раз. Сигналы с датчиков положения дроссельной заслонки, положения коленчатого вала, массового расхода воздуха, температуры охлаждающей жидкости, положения распределительного вала, и датчика концентрации кислорода записывались с частотой дискретизации 100 кГц. Единственным датчиком, показания которого влияли на точность эксперимента, является датчик положения коленчатого вала. Его угловая погрешность составляет $\pm 0,5^\circ$, погрешность дискретизации

при выбранной нами частоте последней и скорости вращения коленчатого вала пренебрежимо мала. Сравнение данных одного из экспериментов с моделью показано на рис.5.

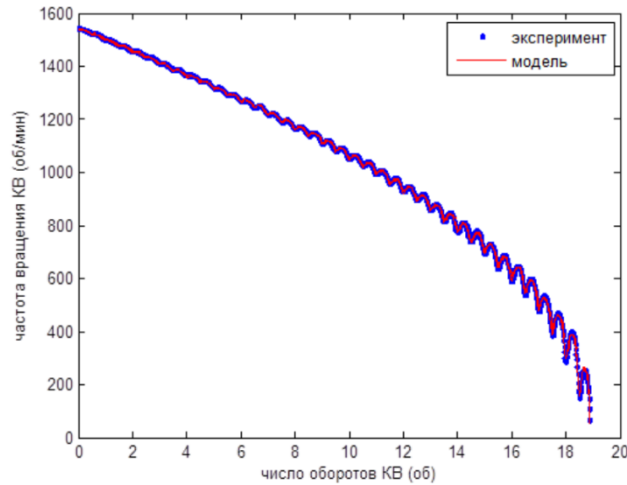


Рис.5. Сравнение экспериментальных и данных по предложенной модели

Из анализа результатов эксперимента можно сделать вывод, что модель в данных условиях (диапазон частот вращения, положение датчика заслонки) ведет себя адекватно.

Все испытуемые двигатели после диагностики предложенным методом диагностировались традиционным методом – путем замера компрессии по цилиндрам. Вращение осуществлялось стартером при полностью заряженной аккумуляторной батарее и температуре охлаждающей жидкости 90°C.

Для испытаний электрогидроприводного газораспределительного механизма (ГРМ) был использован двигатель КамАЗ семейства 740.70, установленный на стенде научно-технического центра ПАО «КамАЗ» (рис.6) [7,8]. На двигателе установлены штатные датчики положения коленчатого и распределительного вала. В поддоне расположен датчик температуры масла. Для снижения механических потерь при прокрутке двигателя электромашиной удалены верхние поршневые кольца, впускные коллекторы и система отвода отработавших газов. В исследовании рассматривается влияние характеристик управляющего электрического сигнала электронного блока управления на движение клапанов двигателя внутреннего сгорания с ГРМ.



Рис. 6. Фотография исследовательского стенда

Результаты испытаний показали возможность управления фазами газораспределения и подъемом клапанов при помощи электрогидравлического привода ГРМ, электрогидравлический привод ГРМ работоспособен при $n = 800 - 2200$ об/мин.

Выводы

Разработанная и созданная в работе автоматизированная многофункциональная установка для тестирования и эмуляции работы ДВС и ЭБУ [9] с применением разработанной методики оценки механического состояния ДВС позволяет:

- сократить время и затраты на разработку и отладку новых систем и механизмов ДВС;
- повысить производительность труда инженера и сократить затраты на отладку алгоритмов, настройку и калибровку программного обеспечения, адаптацию компонентов электронной системы управления двигателем и автомобилем [10];
- проводить настройку и испытания систем бортовой диагностики;
- проводить эксперименты по изучению поведения ЭСУД в условиях отказов элементов системы, работы по настройке автомобильных функций;
- проводить научно-исследовательские работы над ДВС и ЭБУ;
- сократить время и затраты на подготовку высоко квалифицированных специалистов.

Литература

1. Садыков М.Ф., Гараев В.М., Ярославский Д.А., Муратаев И.А., Гайнутдинов А.Р. Анализ современных подходов ускорения разработки электронных блоков управления двигателями внутреннего сгорания // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2013. № 2-2. С. 52–55.
2. Устройство тестирования электронного блока управления двигателем внутреннего сгорания: пат. 154816 Российская Федерация: МПК G 06 G 7/00. / Садыков М.Ф., Муратаев И.А., Ярославский Д.А., Гайнутдинов А.Р., Гараев В.М.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО "КГЭУ". – № 2014145064/08; заявл. 06.11.2014; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 25. 10 с.
3. Садыков М.Ф., Голенищев-Кутузов А.В., Андреев Н.К. Применение в системах автопилотирования транспорта аппаратно-программных комплексов эмуляции двигателя и трансмиссии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018 №5-6. С.67–74.
4. Программа эмулятора двигателя внутреннего сгорания с графическим программированием: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611795. Российская Федерация. / М.Ф. Садыков, И.А. Муратаев, Р.Р. Закиева, А.Р. Гайнутдинов; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО "КГЭУ". – № 2013661602; заявл. 12.12.2013; опубл. 20.03.2014.
5. Садыков М.Ф., Гараев В.М., Ярославский Д.А., Муратаев И.А., Гайнутдинов А.Р. Аппаратно-программный эмулятор ДВС с графическим программированием алгоритма // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 6. С. 293–294.
6. Садыков М.Ф., Муратаев И.А., Ярославский Д.А., Гайнутдинов А.Р., Закиева Р.Р. Диагностика состояния ДВС по параметрам механических потерь // Энергетика Татарстана. 2014. № 3-4 (35-36). С. 65–68.
7. Березовский, А.Б. Максимов А.В., Садыков М.Ф. Исследование влияния характеристик сигнала электронного блока управления на работу гидроприводного газораспределительного механизма // Actualscience. 2015. Т. 1, № 3 (3). С. 68–69.
8. Березовский А.Б., Максимов А.В., Гатауллин Н.А., Зимина Л.А., Садыков М.Ф., Гумеров И.Ф., Валеев Д.Х. Экспериментальное исследование газораспределительного механизма с электрогидравлическим приводом // Двигателестроение. 2016. № 1. С. 11–17.
9. Sadykov M., Kuchev S.M., Murataev I., Yaroslavskiy D. KAMAZ engine emulation system for electronic control system testing // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10, № 24. С. 45228–45131.

10. Ярославский Д.А., Иванов Д.А., Горячев М.П., Гайнутдинов А.Р., Садыков М.Ф. Выбор операционной системы реального времени для беспроводного устройства // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72, № 4. С. 95–100.

Автор публикации

Садыков Марат Фердинантович – канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: sadykov@kgeu.ru.

References

1. Sadykov M.F., Garayev V.M., Yaroslavsky D.A., Murataev I.A., Gainutdinov A.R. Analysis of modern approaches to accelerate the development of electronic control units of internal combustion engines // Herald of Kazan state technical University. 2013. № 2-2. С. 52–55 (In Russian).
2. Testing device for electronic control unit of internal combustion engine: pat. 154816 RU / Sadykov M.F., Murataev I.A., Yaroslavsky D.A., Gainutdinov A.R., Garayev V.M.; KSPEU – № 2014145064/08; pub. 10.09.2015. 10 p.
3. Sadykov M.F., Golenishchev-Kutuzov A.V., Andreev N.K. The use in the systems of auto-pilot transport of software and hardware emulation engine and transmission // Proceedings of the higher educational institutions. Energy sector problems. 2018 №5-6. P.67–74.
4. Program emulator of an internal combustion engine with a graphical programming: pat. 2014611795 RU / Sadykov M. F., Murataev I. A. Zakieva R. R., Gainutdinov A. R.; KSPEU. – № 2013661602; pub. 20.03.2014.
5. Sadykov M.F., Garayev V.M., Yaroslavsky D.A., Murataev I.A., Gainutdinov A.R. Hardware-software emulator of internal combustion engine with graphic programming of the algorithm // Herald of Kazan Technological University. 2014. V. 17, № 6. P. 293–294.
6. Sadykov M.F., Murtaev I.A., Yaroslavsky D.A., Gainutdinov A.R., Zakieva R.R. Diagnostics of the condition of the internal combustion engine in the parameters of mechanical losses // Energy Of Tatarstan. 2014. № 3-4 (35-36). P. 65–68.
7. Berezovsky A.B., A. Maksimov V.A., Sadykov M.F. Study of the influence of the electronic control unit signal characteristics on the operation of the hydraulic gas distribution mechanism // Actualscience. 2015. V. 1, № 3 (3). P. 68–69.
8. Berezovsky A.B., Maksimov A.V., Gataullin N.A. Zimina L.A., Sadykov M. F., Gumerov I.F., Valeev D.Kh. Experimental study of gas distribution mechanism with electrohydraulic drive // Dvigatelistroyeniye. 2016. № 1. P. 11–17.
9. Sadykov M., Kuchev S.M., Murataev I., Yaroslavskiy D. KAMAZ engine emulation system for electronic control system testing // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. V. 10, № 24. P. 45228–45131.
10. Yaroslavsky D.A., Ivanov D.A., Goryachev M.P., Gaynutdinov A.R., Sadykov M.F. Selection of real time operating system for wireless device // Bulletin of Kazan State Technical University named after. A.N. Tupolev. 2016. V. 72, № 4. P. 95–100.

Author of the publication

Marat F. Sadykov – PhD (physical&mathematical) sci., Associate Professor, Head of the Department of «Theoretical bases of electrical engineering», Kazan State Power Engineering University (KSPEU). E-mail: sadykov@kgeu.ru.

Поступила в редакцию

05 июля 2018 г.