

## ПОСТРОЕНИЕ КОНТРОЛЬНО-РЕГИСТРИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВС НА БАЗЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ Л-КАРД E14-140 И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА POWER GRAPH

**Иншаков Александр Павлович**, д-р техн. наук, проф. кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».

430904, г. Саранск, п. Ялга, ул. Российская, 5.

E-mail: kafedra\_mes@mail.ru

**Магомедов Фахретдин Магомедович**, д-р техн. наук, проф. кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей», ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный аграрный университет им. М. М. Джамбулатова».

367032, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180.

E-mail: fahr-59@yandex.ru

**Курбаков Иван Иванович**, канд. техн. наук, доцент кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва».

430904, г. Саранск, п. Ялга, ул. Российская, 5.

E-mail: mrsu2@mail.ru

**Курбакова Мария Сергеевна**, аспирант кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва».

430904, г. Саранск, п. Ялга, ул. Российская, 5.

E-mail: m.s.kurbakova@mail.ru

**Ключевые слова:** двигатель, регистрация, система, комплекс, преобразователь, характеристика, диагностирование.

*Цель исследований – повышение работоспособности контрольно-регистрирующей системы переходных процессов в двигателях внутреннего сгорания. Современные исследования в области построения систем регистрации быстропротекающих процессов в двигателях внутреннего сгорания, используемых при разработке передовых диагностических комплексов, а также при разработке частных методик испытания, нельзя создать без применения современных программных комплексов и аналогово-цифровых преобразователей. Особый интерес представляют исследования, связанные с адаптацией испытательных стендов для целей диагностики и расширения функциональных возможностей регистрации быстро протекающих процессов. В процессе научного поиска на кафедре мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина института механики и энергетики создан комплекс, позволяющий регистрировать переходные процессы в двигателях внутреннего сгорания на базе аналого-цифрового преобразователя Л-КАРД E14-140 и программного комплекса*

*POWER GRAPH. Опыт построения системы при создании научно-исследовательского оборудования кафедры показывает, что создание надежных средств испытания можно осуществить на базе оборудования ГОСНИТИ за счет внедрения контрольно-регистрирующей аппаратуры, улучшающей и расширяющей функциональные свойства стендов. Получены записи изменения частот вращения вала турбокомпрессора, вала двигателя внутреннего сгорания, крутящего момента в переходных процессах выбега двигателя с частотой опроса аналого-цифрового преобразователя 100 кГц при максимально возможной частоте дискреции 200 кГц для используемого оборудования, при этом частота опроса аналого-цифрового преобразователя многократно превосходила исследуемый сигнал. Погрешности измерений регистрируемых процессов составили не более 1%.*

# ORGANIZATION OF CONTROL AND RECORDING SYSTEM FOR TRANSIENTS IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE BASED ON THE L-CARD E14-140 ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER AND THE POWERGRAPH SOFTWARE PACKAGE

**A. P. Inshakov**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the department «Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A. I. Leshchankin», FSBEI HE «Mordoviya State University named after N. P. Ogarev».

430904, Saransk, Yalga settlement, Rossiyskaya street, 5.

E-mail: kafedra\_mes@mail.ru

**F. M. Magomedov**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Technical Operation of Vehicles», FSBEI HE Dagestan State Agrarian University named after M. M. Dzhambulatov.

367032, Makhachkala, M. Gadzhiyev street, 180.

E-mail: fahr-59@yandex.ru

**I. I. Kurbakov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department «Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A. I. Leshchankin», FSBEI HE «Mordoviya State University named after N. P. Ogarev».

430904, Saransk, Yalga settlement, Rossiyskaya street, 5.

E-mail: mrsu2@mail.ru

**M. S. Kurbakova**, Postgraduate Student of the Department «Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A. I. Leshchankin», FSBEI HE «Mordoviya State University named after N. P. Ogarev».

430904, Saransk, Yalga settlement, Rossiyskaya street, 5.

E-mail: m.s.kurbakova@mail.ru

**Keywords:** engine, registration, system, complex, converter, characteristic, diagnostics.

The purpose of the research is the efficiency improvement of the control and recording system of transients in internal combustion engines. Modern research in the field of organization of systems for registering fast-flowing processes in internal combustion engines, used in the development of advanced diagnostic complexes, as well as in the development of private test methods, cannot be created without application of modern software packages and analog-to-digital converters. Of particular interest are the studies related to the adaptation of test benches for the purposes of diagnostics and expanding the functional abilities of recording fast-moving processes. In the course of scientific research at the Department of Mobile Power Means and Agricultural Machines named after Professor A. I. Leshchankin of the Institute of Mechanics and Power Engineering, a complex was created that allows recording transients in internal combustion engines based on the L-CARD E14-140 analog-to-digital converter and the POWER GRAPH program complex. The experience of system organization when creating research equipment at the department shows that fabrication of reliable testing means can be carried out on the basis of GOSNITI equipment due to the introduction of monitoring and recording equipment that improves and expands the functional properties of the test-benches. The records of the rotation frequency of the shafts of both the turbocharger and the internal combustion engine, torque transients of engine operation with sample rate of Converter 100 kHz analog-to-digital at the maximum possible 200 kHz frequency of discretion for the equipment used, the sampling frequency analog to digital Converter surpasses the analyzed signal. The measurement errors of the processes recorded were no more than 1%.

Современные разработки в области построения систем регистрации быстропотекающих процессов в ДВС зачастую основываются на адаптации типовых программных комплексов и аналого-цифровых преобразователей (АЦП) к конкретным условиям испытаний. На рынке представлен огромный выбор данных систем с различной элементной базой, однако подбор их для построения индивидуальных систем требует дополнительных проверок.

В процессе научного поиска на кафедре мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина института механики и энергетики на базе аналого-цифрового преобразователя Л-КАРД Е14-140 и программного комплекса POWER GRAPH было разработано устройство для регистрации быстропотекающих процессов в ДВС, и, в частности, переходных процессов частот вращения вала двигателя и ротора турбокомпрессора.

**Цель исследований** – повышение работоспособности контрольно-регистрирующей системы переходных процессов в двигателях внутреннего сгорания.

**Задача исследований** – разработать контрольно-регистрирующую систему переходных процессов в двигателях внутреннего сгорания.

**Материалы и методы исследований.** В данной работе в качестве АЦП выбран преобразователь Л-КАРД Е14-140 (рис.1).



Рис. 1. Внешний вид модуля E14-140

Модуль E14-140 предназначен для построения многоканальных измерительных систем сбора аналоговых и цифровых данных. Модуль имеет малые габариты, удобен для организации полевых измерений, требующих высокую степень мобильности. Модуль E14-140 внесён в Государственный реестр средств измерений.

Работоспособность разработанной системы проверялась во время экспериментальных исследований, где были использованы аналоговые датчики. Для измерения частоты вращения вала турбокомпрессора (ТКР) был разработан оптический датчик; для цели определения частоты вращения вала двигателя был использован штатный датчик обкаточно-тормозного стенда КИ-5543 ГОСНИТИ; для определения крутящего момента был разработан модуль, регистрирующий положение рычага балансировочной машины, состоящий из корпуса, датчика НРК1-8 и блока питания. Подключение датчиков к АЦП было осуществлено в соответствии со схемой распиновки каналов для аналогового разъема АЦП (рис. 2).

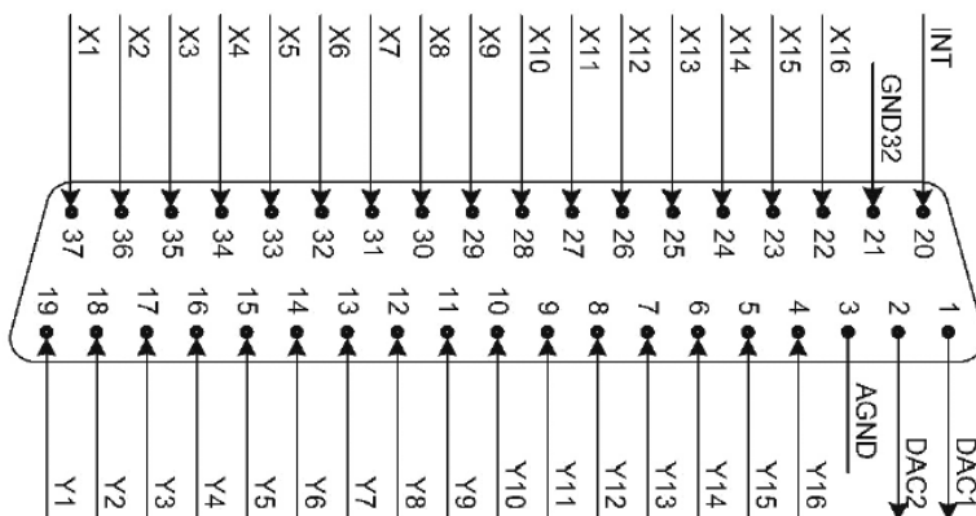


Рис. 2. Распиновка аналогового разъема АЦП E-14-140

Для датчика частоты вращения вала турбокомпрессора были задействованы пины X1, Y1 и AGND, для датчика частоты вращения коленчатого вала двигателя – X2, Y2 и AGND, для модуля регистрации положения рычага балансировочной машины – X3, Y3 и AGND.

При экспериментальной проверке системы регистрации параметров переходного процесса в ДВС большую роль играет методика обработки исходного сигнала. Например, при визуализации параметров процесса выбега турбокомпрессора обработка исходного сигнала может быть реализована по одному из двух методов:

1. Преобразование частоты входного сигнала в напряжение выходного сигнала и последующая регистрация его на ПК с помощью аналого-цифрового преобразователя;

2. Регистрация исходного сигнала на ПК с помощью аналого-цифрового преобразователя и последующая обработка сигнала с помощью программных средств.

Обработка сигнала программными средствами имеет ряд преимуществ по сравнению с внешним преобразованием входного сигнала: отсутствует дополнительный модуль преобразования; стабильность частоты опроса сигнала; более высокая точность измерений.

Однако, обработка сигнала в программной среде требует более высокой квалификации и предусматривает выполнение следующих процессов: запись сигнала; разбивка сигнала на участки (импульсы); преобразование сигнала и построение графика изменения частоты сигнала во времени; калибровка сигнала.

Упрощенная блок-схема контрольно-регистрирующей системы переходных процессов представлена на рисунке 3.

Проверка функционирования системы было проведено во время испытаний на двигателе ММЗ Д-245 с установленным турбокомпрессором ТКР-6.1, имитация рабочих режимов осуществлялась на обкаточно-тормозном стенде КИ-5543 ГОСНИТИ.

**Результаты исследований.** Методика проведения экспериментальных исследований включала в себя получение характеристик выбега только на работающем двигателе с целью исключения случаев вращения вала турбокомпрессора в условиях недостаточной смазки.

**Характеристики выбега.** В ходе исследования работоспособности контрольно-регистрирующей системы были получены характеристики выбега турбокомпрессора ТКР-6.1 для максимальных оборотов холостого хода Д-245-35  $n_{двс}=2340 \text{ мин}^{-1}$  и резком перемещении рычага подачи топлива в положение, соответствующее минимально устойчивым оборотам двигателя Д-245-35, при этом была получена характеристика выбега с начальной частотой вращения вала ТКР  $62530 \text{ мин}^{-1}$  и конечной –  $20750 \text{ мин}^{-1}$ , изменение частоты вращения вала турбокомпрессора в данном диапазоне произошло за 5,69 с. При этом изменение частоты вращения с  $50000$  до  $40000 \text{ мин}^{-1}$  произошло за 1,288 секунды (рис. 4).

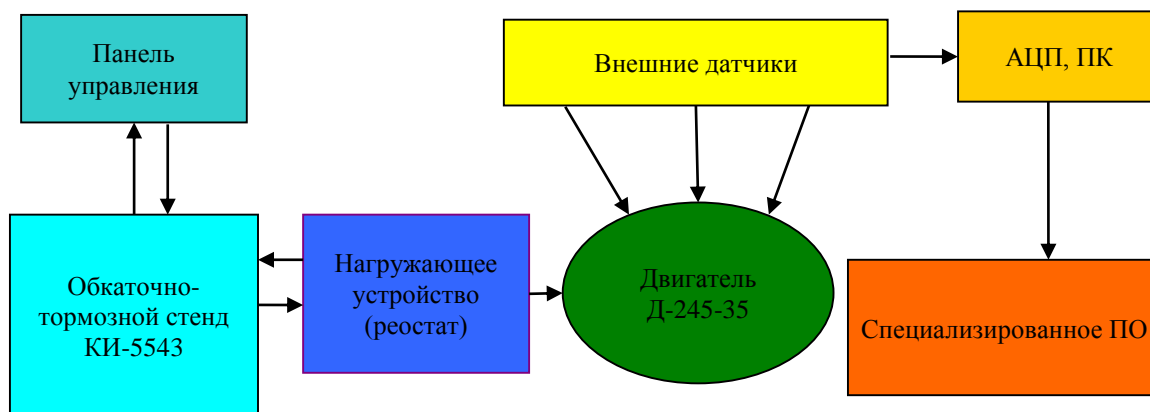


Рис. 3. Блок-схема контрольно-регистрирующей системы переходных процессов

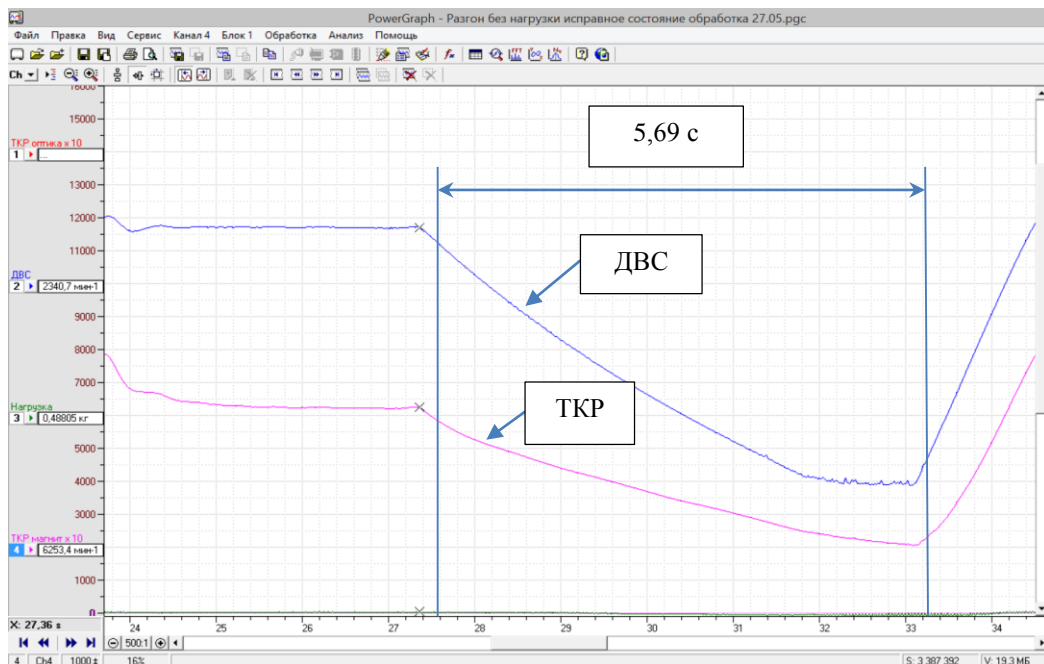


Рис. 4. Результаты контроля параметров переходного процесса при выбеге турбокомпрессора на режиме холостого хода двигателя

Характеристика выбега турбокомпрессора ТКР-6.1 с начальными параметрами, полученными под нагрузкой ДВС Д-245-35 –  $n_{\text{ДВС}}=1978 \text{ мин}^{-1}$ , крутящий момент на валу ДВС  $M_{\text{кр}}=357 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , при этом была получена характеристика выбега с начальной частотой вращения вала ТКР  $103000 \text{ мин}^{-1}$  и конечной –  $36000 \text{ мин}^{-1}$ , изменение частоты вращения вала турбокомпрессора в данном диапазоне произошло за 9,8 сек. При этом изменение частоты вращения с  $50000$  до  $40000 \text{ мин}^{-1}$  произошло за 1,164 секунды (рис. 5).

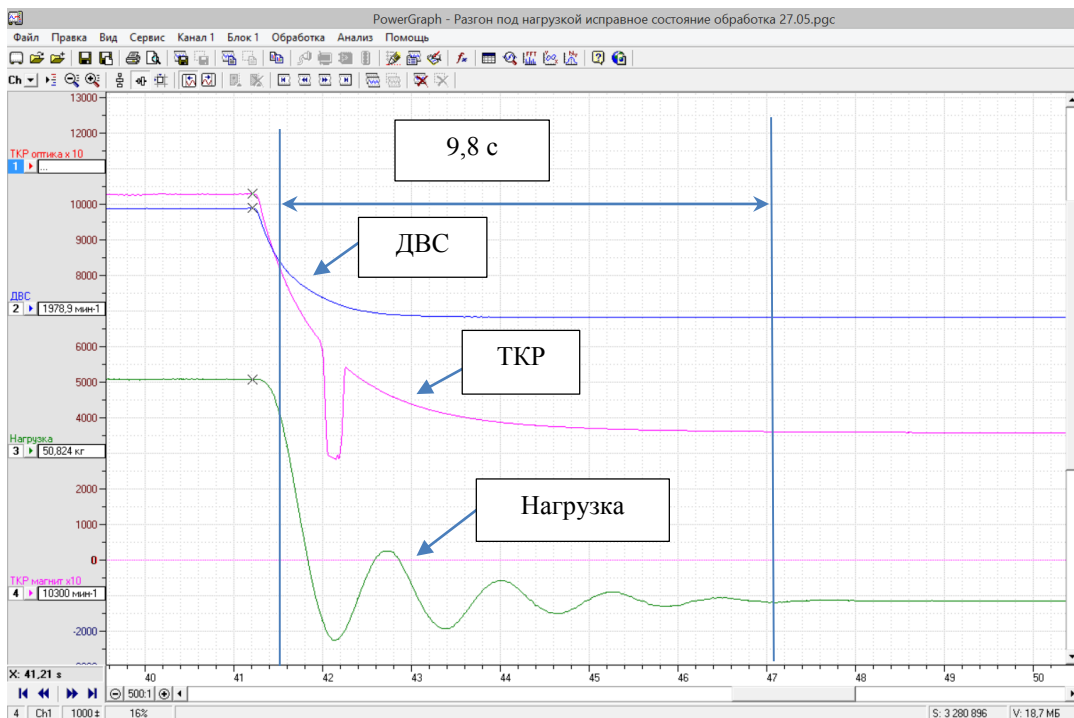


Рис. 5. Результаты контроля параметров переходного процесса при выбеге турбокомпрессора на нагрузочном режиме работы двигателя

**Заключение.** Построение контрольно-регистрирующей системы переходных процессов в ДВС на базе аналого-цифрового преобразователя Л-КАРД Е14-140 и программного комплекса POWER GRAPH расширяет функциональные возможности стендовых испытаний ДВС. В качестве подтверждения работоспособности разработанной контрольно-регистрирующей системы получены записи изменения частот вращения вала ТКР, вала ДВС, крутящего момента в переходных процессах выбега двигателя с частотой опроса АЦП 100 кГц при максимально возможной частоте дискреции 200 кГц для используемого оборудования, при этом частота опроса АЦП многократно превосходила исследуемый сигнал. Погрешности измерений регистрируемых процессов составили не более 1%.

#### Библиографический список

1. Иншаков, А. П. Методы оценки работоспособности систем газотурбинного наддува автотракторных двигателей : монография / А. П. Иншаков, И. И. Курбаков, А. Н. Кувшинов. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, 2015. – 124 с.
2. Пат. 145761 У1 РФ, МПК G01P 3/00 Устройство для измерения частоты вращения вала турбокомпрессора / Иншаков А. П., Курбаков И. И., Кувшинов А. Н., Корнаухов О. Ф. – №2013157453/28 ; заявл. 24.12.13 ; опубл. 27.09.14.
3. Малкин, В. С. Техническая диагностика : учебное пособие. – СПб. : Лань, 2013. – 272 с.
4. Прокопенко, Н. И. Экспериментальные исследования двигателей внутреннего сгорания : учебное пособие. – СПб. : Лань, 2010. – 592 с.
5. Иншаков, А. П. Определение неисправностей газотурбинного наддува двигателя / А. П. Иншаков, А. Н. Кувшинов, И. И. Курбаков [и др.] // Сельский механизатор. – 2018. – № 1. – С. 34-35.
6. Иншаков, А. П. Информационные средства для повышения надежности использования мобильной техники / А. П. Иншаков, С. С. Капитонов, В. А. Филин [и др.] // Сельский механизатор. – 2018. – № 1. – С. 41-43.
7. Иншаков, А. П. Определение загрузки автотракторного дизеля с газотурбинным наддувом по температуре отработавших газов и частоте вращения вала турбокомпрессора / А. П. Иншаков, И. И. Курбаков, М. С. Курбакова, С. А. Гаранин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 4. – С. 57-63.
8. Иншаков, А. П. Испытательный стенд для проверки работоспособности турбокомпрессоров автотракторных двигателей / А. П. Иншаков, И. И. Курбаков, М. С. Курбакова, С. А. Ладиков // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 4. – С. 63-70.
9. Иншаков, А. П. Проверка системы наддува непосредственно на двигателе в сборе без запуска ДВС / А. П. Иншаков, И. И. Курбаков, М. С. Курбакова [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2018. – № 4 (40). – С. 89-93.
10. Иншаков, А. П. Использование динамических характеристик двигателя и турбокомпрессора для диагностирования систем газотурбинного наддува / А. П. Иншаков, И. И. Курбаков, М. С. Курбакова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 3. – С. 34-39.
11. Иншаков, А. П. Диагностика на модернизированном стенде КИ-5543 ГОСНИТИ турбокомпрессора ТКР 6.1 с двигателем Д-245 / А. П. Иншаков, И. И. Курбаков, А. Н. Кувшинов [и др.] // Сельский механизатор. – 2016. – № 9. – С. 34-35.
12. Иншаков, А. П. Выбор средств технического диагностирования двигателей / А. П. Иншаков, А. Н. Кувшинов, И. И. Курбаков, Д. В. Байков // Сельский механизатор. – 2015. – № 8. – С. 32-33.
13. Коларж, С. А. Повышение качества контроля организационно-технологических процессов уплотнения щебеночного балласта при производстве путевых ремонтно-восстановительных работ : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.22 / Коларж Сергей Александрович. – Новосибирск : Сибирский ГУПС, 2019. – 135 с.
14. Орлов, С. В. Повышение эффективности шлифования торцов колец крупногабаритных подшипников путём управления осевой упругой деформацией : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / Орлов Сергей Васильевич. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2014. – 153 с.
15. Устройства для мобильных систем Е14-140, Е14-140-М. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.platan.ru/pdf/datasheets/lcard/e14-140\\_Manual.pdf](http://www.platan.ru/pdf/datasheets/lcard/e14-140_Manual.pdf)

#### References

1. Inshakov A. P., Kurbakov I. I., & Kuvshinov A. N. (2015). Metodi ocenki rabotosposobnosti sistem gazoturbinogo nadduva avtotraktornih dvigatelei [Methods for evaluating the performance of gas turbine supercharging systems of tractor engines]. Saransk: National Research Mordovian State University named after N. P. Ogarev [in Russian].

2. Inshakov A. P., Kurbakov I. I., Kuvshinov A. N., & Kornaukhov O. F. (2014). Ustroistvo dlia izmereniia chastoti vrashcheniia vala turbokompressora [Device for measuring the speed of rotation of the turbocharger shaft]. *Patent 145761 U1 Russian Federation, IPC G01P 3/00, 2013157453/28* [in Russian].
3. Malkin, V. S. (2013). *Tekhnicheskaiia diagnostika* [Technical diagnostics]. St. Petersburg: Lan' [in Russian].
4. Prokopenko, N. I. (2010). *Eksperimentalnie issledovaniia dvigatelei vnutrennego sgoraniya* [Experimental studies of internal combustion engines]. St. Petersburg: Lan' [in Russian].
5. Inshakov, A. P., Kuvshinov, A. N., Kurbakov, I. I., Kurbakova, M. S., & Sadikov, S. A. (2018). *Opreделение неисправностей газотурбинного наддува двигателя* [Definition of malfunctions of the gas turbine supercharging of the engine]. *Seliskii mekhanizator – Selskiy Mechanizator, 1*, 34-35 [in Russian].
6. Inshakov, A. P., Kapitonov, S. S., Filin, V. A. Kurbakov, A. I., Kuvshinov, A. N., & Kurbakova, M. S. (2018). *Informacionnie sredstva dlia povisheniia nadezhnosti ispolzovaniia mobilnoi tekhniki* [Information means to improve the reliability of the use of mobile technology]. *Seliskii mekhanizator – Selskiy Mechanizator, 1*, 41-43 [in Russian].
7. Inshakov, A. P., Kurbakov, I. I., Kurbakova, M. S., & Garanin, S. A. (2018). *Opreделение zagruzki avtotraktornogo dizelia s gazoturbinnim nadduvom po temperature otrabotavshih gazov i chastote vrashcheniia vala turbokompressora* [Determination of loading of tractor diesel engine with gas turbine boost on the temperature of the exhaust gas and the shaft rotation frequency of the turbocharger]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy, 4*, 57-63 [in Russian].
8. Inshakov, A. P., Kurbakov, I. I., Kurbakova, M. S., & Sadikov, S. A. (2018). *Ispytatel'nyi stend dlia proverki rabotosposobnosti turbokompressorov avtotraktornih dvigatelei* [Test bench for monitoring the performance of turbochargers of automotive engines]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy, 4*, 63-70 [in Russian].
9. Inshakov, A. P., Kurbakov I. I., Kurbakova M. S., Ladikov, S. A., & Ponomarev, A. G. (2018). *Proverka sistemi nadduva neposredstvenno na dvigatele v sbore bez zapuska DVS* [Test system of the boost directly on the engine Assembly without running the engine]. *Vestnik Riazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva – Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostycheva, 4 (40)*, 89-93 [in Russian].
10. Inshakov, A. P., Kurbakov, I. I., & Kurbakova, M. S. (2017). *Ispolizovanie dinamicheskikh harakteristik dvigatel'ia i turbokompressora dlia diagnostirovaniia sistem gazoturbinnogo nadduva* [The use of dynamic characteristics of the engine and turbocompressor for diagnosing gas turbine boost systems]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy, 3*, 34-39 [in Russian].
11. Inshakov A. P., Kurbakov I. I., Kuvshinov A. N., Karpov V. N., & Kurbakova M. S. (2016). *Diagnostika na modernizirovannom stende KI-5543 GOSNITI turbokompressora TKR 6.1 s dvigatelem D-245* [Diagnosis on the upgraded stand-KI 5543 GOSNITI turbo-compressor TKR 6.1 with engine D-245]. *Seliskii mekhanizator – Selskiy Mechanizator, 9*, 34-35 [in Russian].
12. Inshakov, A. P., Kuvshinov, A. N., Kurbakov, I. I., & Baikov, D. V. (2015). *Vibor sredstv tekhnicheskogo diagnostirovaniia dvigatelei* [The Choice of technical means for diagnostics of engines]. *Seliskii mekhanizator – Selskiy Mechanizator, 8*, 32-33 [in Russian].
13. Kolar, S. A. (2019). *Povishenie kachestva kontroliia organizacionno-tekhnologicheskikh processov uplotneniia shchebenochnogo ballasta pri proizvodstve putevkh remontno-vosstanovitel'nykh rabot* [Improving the quality control of organizational and technological processes of compacting crushed stone ballast in the manufacture of track repair work]. *Candidate's thesis*. Novosibirsk: Siberian State University of Railway Transport [in Russian].
14. Orlov, S. V. (2014). *Povishenie effektivnosti shlifovaniia torcov kolec krupnogabaritnykh podshipnikov putiom upravleniia osevoi uprugoi deformatsiei* [Improving the efficiency of grinding the ring ends of large-size bearings by controlling the axial elastic deformation]. *Candidate's thesis*. Volgograd : Volgograd State Technical University [in Russian].
15. *Ustroistva dlia mobilnykh sistem E14-140, E14-140-M. Rukovodstvo polizovatel'ia* [Devices for mobile systems E14-140, E14-140-M. User manual]. Retrieved from [http://www.platan.ru/pdf/datasheets/lcard/e14-140\\_Manual.pdf](http://www.platan.ru/pdf/datasheets/lcard/e14-140_Manual.pdf)