



Обкаточно-тормозной стенд двигателя внутреннего сгорания на базе асинхронного электропривода с рекуперативным преобразователем частоты

Д. В. Байков*, А. П. Иншаков, Ю. Б. Федотов
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

*bdv2304@mail.ru

Введение. Статья посвящена повышению качества производства и ремонта двигателей внутреннего сгорания средств малой механизации.

Материалы и методы. В работе использованы известные положения теоретической механики, общие положения теории цепей, теории двигателей внутреннего сгорания, а также методы современной теории управления и теории электрического привода. Достоверность результатов подтверждена экспериментальной реализацией обкаточно-тормозного стенда.

Результаты исследования. Предложена и практически реализована новая конструкция стенда для обкатки и испытаний двигателей средств малой механизации. Отличительной особенностью данной конструкции является простота, надежность, высокая энергоэффективность и низкая стоимость. В структуру испытательного стенда двигателей средств малой механизации входит асинхронный короткозамкнутый двигатель с встроенной системой независимого охлаждения, подключенной посредством автоматического выключателя к электрической сети, питающей через автоматический выключатель рекуперативный преобразователь частоты. Данный преобразователь, в свою очередь, состоит из транзисторного выпрямителя, на входе которого установлены входные дроссели, а на выходе через звено постоянного тока подключен транзисторный инвертор напряжения. Через автоматический выключатель инвертор питает асинхронный короткозамкнутый двигатель, соединенный через муфту с испытываемым двигателем внутреннего сгорания, на котором установлены датчики, необходимые для контроля и измерения параметров при испытаниях различного рода.

Обсуждение и заключения. Предложенная конструкция обкаточно-тормозного стенда способна обеспечить различные режимы работы: холодную и горячую обкатку, с нагрузкой и без нее. Стенд характеризуется малыми массогабаритными параметрами, низкой стоимостью и высокой энергоэффективностью, поскольку в тормозном режиме рекуперировывает энергию обратно в сеть. Стенд способен обеспечить большинство из существующих способов обкатки двигателей внутреннего сгорания, включая наиболее сложные: обкатка на низких и высоких оборотах, обкатка с реверсом двигателя. Дальнейшая работа по усовершенствованию испытательного стенда видится в полной автоматизации процесса обкатки и испытаний двигателей средств малой механизации.

Ключевые слова: обкаточно-тормозной стенд, обкатка, двигатель внутреннего сгорания, средства малой механизации, рекуперативный преобразователь частоты, асинхронный электропривод

Для цитирования: Байков Д. В., Иншаков А. П., Федотов Ю. Б. Обкаточно-тормозной стенд двигателя внутреннего сгорания на базе асинхронного электропривода с рекуперативным преобразователем частоты // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 2. С. 255–265. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201802.255-265>

Благодарности: Статья подготовлена как часть прикладных исследований в соответствии с Соглашением о предоставлении субсидии № 14.574.21.0135 при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Уникальный идентификатор прикладных исследований – RFMEFI57417X0135.

Rolling-Brake Stand of Internal Combustion Engine Based on Asynchronous Electric Drive with Recuperative Frequency Converter

D. V. Baykov*, A. P. Inshakov, Yu. B. Fedotov

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

**bdv2304@mail.ru*

Introduction. The article reviews repair of internal combustion engines for small-scale mechanization facilities.

Materials and Methods. The known positions of theoretical mechanics, general theories of chains, the theory of internal combustion engines and methods of modern control theory and the theory of electric drive are used in the work. The reliability of the results is confirmed by the experimental implementation of a rolling- brake stand.

Results. A new design of the stand for running-in and testing of small-scale mechanization engines was proposed and implemented. A distinctive feature of this device is simplicity, reliability, high energy efficiency and low cost. The structure of the test bench of the engines of small-scale mechanization includes an asynchronous squirrel-cage motor. This device has a built-in independent cooling system, connected to the electrical network by means of an automatic switch, and a recuperative frequency converter. This converter consists of a transistor rectifier. Input chokes are installed at the input of the rectifier. Transistor voltage inverter through the DC link is connected to the output of the rectifier. The inverter supplies an asynchronous squirrel-cage motor via a circuit breaker. The electric motor is connected through a coupling with the internal combustion engine under test. The sensors for monitoring and measuring parameters for various tests are installed on this device.

Conclusions. The study demonstrated high energy characteristics, good speed and wide range of speed regulation of an asynchronous electric drive based on the space-vector modulation method. According to the results of the study, this type of electric drive quite possible can replace the electric drive based on two-unit converters due to the smaller weight and size parameters, high speed and reliability. The test stand of small mechanization engines contains an asynchronous squirrel-cage motor with an integrated independent cooling system connected via an automatic switch to an electrical network feeding a recuperative frequency converter via an automatic switch consisting of an active transistor rectifier with input chokes installed at its input, and at the output through a DC link connected to a transistor voltage inverter, supplying, in turn, by means of a circuit-breaker, an asynchronous short-circuited electric motor connected through a coupling to a test internal combustion engine on which sensors are installed, which are necessary for monitoring and measuring parameters for various tests.

Keywords: stand, break-in, internal combustion engine, small mechanization means, recuperative frequency converter

For citation: Baykov D. V., Inshakov A. P., Fedotov Yu. B. Rolling-Brake Stand of Internal Combustion Engine Based on Asynchronous Electric Drive with Recuperative Frequency Converter. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(2):255–265. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201802.255-265>

Acknowledgements: The article was prepared as the part of applied research (AR) according to the Agreement on the provision of subsidy no. 14.574.21.0135 with the financial support of Russian Federation Ministry of Education and Science. The unique identifier of AR is RFMEFI57417X0135.



Введение

Техническая модернизация сельскохозяйственной техники является важным направлением повышения ее работоспособности и продления срока использования. Большую роль в механизации труда сельских товаропроизводителей (фермеров, индивидуальных предпринимателей) играют механические средства мощностью до 10–20 кВт (средства малой механизации).

Ежегодно в сервисные центры поступает свыше 300 тыс. неисправных мотоблоков и мотокультиваторов [1]. Основной причиной поломки являются неисправности в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) [2]. За период эксплуатации совокупная стоимость ремонта может превысить стоимость ДВС в несколько раз [3]. Кроме того, у отремонтированного ДВС значительно снижается производительность и срок службы [4]. Поэтому актуальной проблемой является повышение качества и ремонта двигателей средств малой механизации.

Известно, что качественно произведенная обкатка ДВС способна повысить эффективность работы и увеличить ресурс обкатываемого двигателя [5].

Обзор литературы

В настоящее время активно ведется разработка, исследование и совершенствование обкаточно-тормозных стендов (ОТС) различных конструкций, в состав которых входят различные типы нагружающих устройств [1; 6–10]. Среди промышленно выпускаемых можно выделить обка-

точные универсальные стенды серий КС и КСАТ производства ООО «Копис», стенды испытания ДВС «Контур-Сид» производства ООО «КЭР Инжиринг», стенды серии ОТС производства ООО «НТЦ “Техническая диагностика и прецизионные измерения”» и испытательные стенды серии КИ ГОСНИТИ.

Подобные стенды можно разделить на тормозные, в которых в качестве тормоза используют электрические, гидравлические или пневматические нагружающие устройства, и бестормозные, когда нагрузка и ее изменение осуществляется с помощью маховика, изменения положения топливodosирующего органа, дросселирования и рециркуляции газов^{1–3} [6–8].

Наиболее ярким примером стендов, использующих бестормозную обкатку ДВС, являются обкаточные универсальные стенды с динамическим нагружением серии КС производства ООО «КОПИС». В работе⁴ отмечены недостатки стендов данной серии. Среди них автор выделяет односкоростной режим холодной обкатки ДВС с помощью тихоходного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (750 об/мин), который включается в работу с помощью прямого пуска. Данный способ пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором может привести к образованию задиров, неприработанных поверхностей сопряжений ДВС, а также значительным токовым перегрузкам питающей

¹ Царёв О. А. Способ и технические средства холодной обкатки дизелей со статико-динамическим нагружением : дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2010. URL: <http://www.dissercat.com/content/sposob-i-tekhnicheskie-sredstva-kholodnoi-obkatki-dizelei-so-statiko-dinamicheskim-nagruzheniem>

² Тимохин С. В. Энерго-ресурсосбережение при обкатке тракторных дизелей путем создания и реализации в ремонтном производстве модулей с динамическим нагружением : дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1999. URL: <http://www.dissercat.com/content/energo-resursosberezhenie-pri-obkatke-traktornykh-dizelei-putem-sozdaniya-i-realizatsii-v-re>

³ Моисеев К. Л. Повышение эффективности приработки дизелей совершенствованием технологии и средств обкатки с динамическим нагружением : дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2012. URL: <http://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-prirobotki-dizelei-sovershenstvovaniem-tekhnologii-i-sredstv-obkatki>

⁴ Царёв О. А. Способ и технические средства холодной обкатки дизелей со статико-динамическим нагружением : дис. ... канд. техн. наук.

электрической сети⁵. Авторами работ⁶⁻⁷ также отмечается неправильность назначения типовых режимов холодной обкатки ДВС, проводимых на нескольких скоростях при частоте вращения от 400 до 1 400 об/мин с плавным ее увеличением в начальный период.

Авторским коллективом Пензенской ГСХА во главе с профессором С. В. Тимохиным проводятся исследования по совершенствованию конструкций стендов с динамическим нагружением⁸⁻¹⁰. Результатом их работы стал опытный образец стенда с динамическим нагружением, производство которого налажено на ОАО «Завод коммунальной энергетики» (г. Пенза). Промышленно выпускаемый стенд позволяет проводить холодную обкатку ДВС в пяти фиксированных режимах с плавным увеличением частоты вращения в начале процесса и при переходе со ступени на ступень¹¹. Фрикционная управляемая муфта сцепления автотракторного типа, установленная между электрическим двигателем и коробкой передач, обес-

печивает плавное увеличение частоты вращения коленчатого вала ДВС и нагрузки электрического двигателя при пуске, что снижает вероятность появления задигов и ограничивает пусковые токи¹². Несмотря на все свои достоинства, процесс обкатки ДВС, проводимый на стендах с динамическим нагружением, характеризуется большой продолжительностью, что, как отмечается авторами, обусловлено в основном пониженной средней за цикл динамического нагружения угловой скоростью коленчатого вала, а также пониженной эффективностью такта выбега с точки зрения приработки вследствие малых нагрузок на сопряжения и повышенной продолжительности такта¹³⁻¹⁵.

В настоящее время тормозные стенды нашли наиболее широкое промышленное применение. Среди испытательных стендов с такой конструкцией необходимо выделить серию ОТС КИ ГОСНИТИ. Стенды данной серии состоят из трехфазных асинхронных электрических машин с фазным ро-

⁵ Там же.

⁶ Там же.

⁷ **Тимохин С. В.** Энерго-ресурсосбережение при обкатке тракторных дизелей путем создания и реализации в ремонтном производстве модулей с динамическим нагружением : дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1999. URL: <http://www.dissercat.com/content/energo-resursosberezhenie-pri-obkatke-traktornykh-dizelei-putem-sozdaniya-i-realizatsii-v-re>

⁸ **Царёв О. А.** Способ и технические средства холодной обкатки дизелей со статико-динамическим нагружением : дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2010. URL: <http://www.dissercat.com/content/sposob-i-tehnicheskie-sredstva-kholodnoi-obkatki-dizelei-so-statiko-dinamicheskim-nagruzhen>

⁹ **Тимохин С. В.** Энерго-ресурсосбережение при обкатке тракторных дизелей путем создания и реализации в ремонтном производстве модулей с динамическим нагружением : дис. ... д-ра техн. наук.

¹⁰ **Моисеев К. Л.** Повышение эффективности приработки дизелей совершенствованием технологии и средств обкатки с динамическим нагружением : дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2012. URL: <http://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-prirobotki-dizelei-sovershenstvovaniem-tehnologii-i-sredstv-obkatki>

¹¹ **Царёв О. А.** Способ и технические средства холодной обкатки дизелей со статико-динамическим нагружением : дис. ... канд. техн. наук.

¹² **Тимохин С. В.** Энерго-ресурсосбережение при обкатке тракторных дизелей путем создания и реализации в ремонтном производстве модулей с динамическим нагружением : дис. ... д-ра техн. наук.

¹³ **Царёв О. А.** Способ и технические средства холодной обкатки дизелей со статико-динамическим нагружением : дис. ... канд. техн. наук.

¹⁴ **Тимохин С. В.** Энерго-ресурсосбережение при обкатке тракторных дизелей путем создания и реализации в ремонтном производстве модулей с динамическим нагружением : дис. ... д-ра техн. наук.

¹⁵ **Моисеев К. Л.** Повышение эффективности приработки дизелей совершенствованием технологии и средств обкатки с динамическим нагружением : дис. ... канд. техн. наук.



тором, пусковой аппаратуры, установочных и соединительных устройств, а также систем измерения расхода топлива и других параметров ДВС¹⁶ [6–8]. Характерной особенностью этих стендов является использование свойства обратимости электрических машин, т. е. при холодной обкатке они работают в двигательном режиме, а при горячей – в генераторном.

Стоит отметить, что все выпускаемые ОТС предназначены для обкатки и испытаний ДВС мощностью > 20 кВт и поэтому не могут осуществить полную обкатку ДВС средств малой механизации [1]. Отсутствие специализированных испытательных стендов таких ДВС можно объяснить невысокой стоимостью как самих средств малой механизации, так и их двигателей, а также невозможностью и нецелесообразностью адаптации существующих промышленно-выпускаемых ОТС для обкатки двигателей мобильной сельскохозяйственной техники малой мощности ввиду огромных энергетических затрат, мощностей и стоимости существующих стендов [1; 6–7]. Поэтому на кафедре мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» была поставлена задача по разработке конструкций недорогих и эффективных стендов, адаптированных для обкатки и испытаний ДВС средств малой механизации.

Материалы и методы

В процессе разработки ОТС были использованы общепринятые положения теоретической механики, теории

цепей, теории двигателей внутреннего сгорания, а также методы современной теории управления и теории электрического привода. Использовалось следующее промышленное оборудование: асинхронный короткозамкнутый двигатель с принудительной вентиляцией ДАР 112 М4 БУЗ-ИМ1081-ИТ02500-В, рекуперативный преобразователь частоты Mitsubishi FR-A741-5,5К с панелью управления FR-DU07, дизельный четырехтактный двигатель GREENFIELD GF178 F и группа автоматических выключателей IEK ВА47-29 С25 3р и IEK ВА47-29 С32 3р. Рама ОТС и соединительная муфта были изготовлены индивидуально.

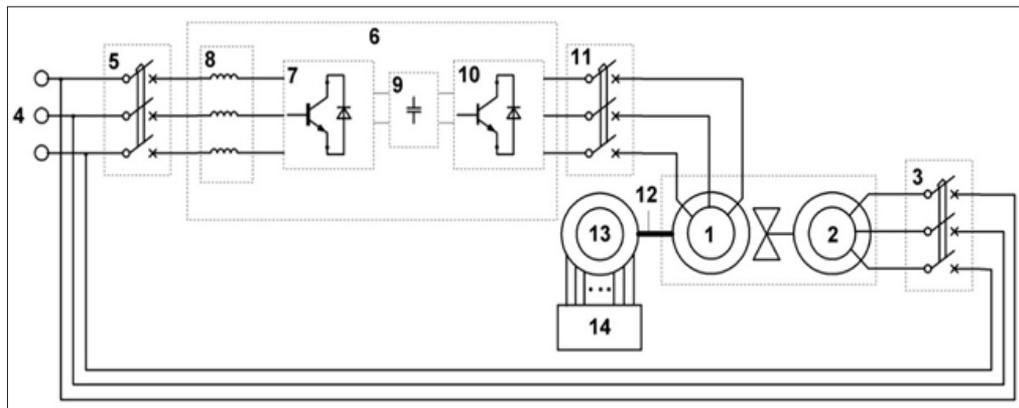
Результаты исследования

Для решения поставленной задачи нами была предложена (рис. 1) и практически реализована (рис. 2) новая конструкция ОТС на базе рекуперативного двухзвенного преобразователя частоты¹⁷.

На рис. 1 показано, что ОТС содержит в своем составе асинхронный короткозамкнутый двигатель 1 с встроенной системой независимого охлаждения 2, подключенной (посредством автоматического выключателя 3) к электрической сети 4, питающей через автоматический выключатель 5 рекуперативный преобразователь частоты 6, состоящий из активного транзисторного выпрямителя 7, на входе которого установлены входные дроссели 8, а на выходе через звено постоянного тока 9, подключенному к транзисторному инвертору напряжения 10, питающему, в свою очередь, посредством включения через автоматический выключатель 11, асинхронный короткозамкнутый электродвигатель 1,

¹⁶ Моисеев К. Л. Повышение эффективности приработки дизелей совершенствованием технологии и средств обкатки с динамическим нагружением : дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2012. URL: <http://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-prirobotki-dizelei-sovshenstvovaniem-tehnologii-i-sredstv-obkatk>

¹⁷ Патент 171449 РФ, МПК7 F02B 79/00, G01M 15/04. Стенд для обкатки и испытаний двигателей внутреннего сгорания мобильной сельскохозяйственной техники малой мощности / Д. В. Байков [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва». № 2016115292; заявл. 19.04.2016; опубл. 01.06.2017; бюл. № 16. 4 с., ил.



Р и с. 1. Функциональная схема ОТС двигателей средств малой механизации:

1 – асинхронный короткозамкнутый двигатель; 2 – встроенная система независимого охлаждения; 3, 5, 11 – автоматический выключатель; 4 – электрическая сеть; 6 – рекуперативный преобразователь частоты; 7 – активный транзисторный выпрямитель; 8 – входные дроссели; 9 – звено постоянного тока; 10 – транзисторный инвертор напряжения; 12 – соединительная муфта; 13 – ДВС; 14 – датчики

Fig. 1. Functional diagram of the stand for running in engines of small-scale mechanization means: 1 – asynchronous squirrel-cage motor; 2 – built-in independent cooling system; 3, 5, 11 – circuit breaker; 4 – electric network; 6 – recuperative frequency converter; 7 – active transistor rectifier; 8 – input chokes; 9 – a link of a direct current; 10 – transistor voltage inverter; 12 – coupling; 13 – internal combustion engine; 14 – sensors



Р и с. 2. ОТС двигателей средств малой механизации: 1 – асинхронный короткозамкнутый двигатель с принудительной вентиляцией ДАР 112 М4 БУЗ-IM1081-ИТ02500-В; 2 – автоматический выключатель 1; 3 – автоматический выключатель 2; 4 – автоматический выключатель 3; 5 – рекуперативный преобразователь частоты Mitsubishi FR-A741-5,5K; 6 – соединительная муфта; 7 – дизельный четырехтактный двигатель GREENFIELD GF178 F; 8 – рама обкаточно-тормозного стенда

Fig. 2. The stand for breaking-in of engines of means of small-scale mechanization: 1 – asynchronous squirrel-cage motor with forced ventilation ДАР 112 М4 БУЗ-IM1081-ИТ02500-В; 2 – circuit breaker 1; 3 – circuit breaker 2; 4 – circuit breaker 3; 5 – recuperative frequency converter Mitsubishi FR-A741-5,5K; 6 – coupling; 7 – diesel four-stroke engine GREENFIELD GF178 F; 8 – frame of the brake-bending stand



соединенный через муфту 12 с ДВС 13, на котором установлены датчики 14, необходимые для контроля и измерения параметров при различного рода испытаниях.

Работа ОТС в режимах холодной и горячей обкатки ДВС происходит следующим образом.

Включением автоматического выключателя 5 запускается рекуперативный преобразователь частоты 6, в котором на активный транзисторный выпрямитель 7 и транзисторный инвертор напряжения 10 подается управляющий сигнал и осуществляется формирование необходимого входного тока и выходного напряжения рекуперативного преобразователя частоты 6, исходя из необходимой скорости вращения асинхронного короткозамкнутого двигателя 1.

Включением автоматического выключателя 11 разрешается запуск асинхронного короткозамкнутого двигателя 1. Затем производится регулирование частоты его вращения. При работе двигателя 1 вращающийся момент ротора образует реактивный момент на статоре, стремящийся повернуть двигатель в обратном направлении. Поскольку реактивный момент на статоре равен вращающемуся моменту ротора, то по нему датчиками 14 измеряется тормозной момент ДВС 13.

Асинхронный короткозамкнутый двигатель 1 работает на ОТС в двух режимах: двигательном и генераторном. Первый режим характерен для холодной обкатки ДВС 13, а второй – для горячей. В режим горячей обкатки ОТС переходит, как только частота вращения асинхронного короткозамкнутого двигателя 1 становится выше синхронной, что происходит за счет вращения ДВС 13. В данном режиме большая часть механической энергии ДВС 13 преобра-

зуется в электрическую, и, пройдя через входные дроссели 8, возвращается обратно в электрическую сеть 4.

Автоматический выключатель 3 запускает систему независимого охлаждения 2 асинхронного короткозамкнутого двигателя 1. Данная система вращается с частотой питающей электрической сети 4, использующейся в качестве вентилятора охлаждающего обмотки асинхронного короткозамкнутого двигателя 1.

Предложенная конструкция ОТС может быть реализована с помощью различного промышленно выпускаемого оборудования.

В конструкции ОТС, представленной на рис. 2, в качестве рекуперативного преобразователя частоты был использован преобразователь частоты Mitsubishi FR-A741-5,5K, характеризующийся высокой энергетической эффективностью и возможностью рекуперации тормозной энергии в сеть¹⁸ [11–12]. Данный преобразователь также оснащен панелью управления FR-DU07 (рис. 3), на которой задается частота вращения асинхронного короткозамкнутого двигателя и производится индикация измеряемых параметров.

В качестве асинхронного короткозамкнутого двигателя с встроенной системой независимого охлаждения был использован двигатель с принудительной вентиляцией ДАР 112 М4 БУЗ-IM1081-ИТ02500-В, а в качестве испытуемого ДВС – дизельный двигатель GREENFIELD GF178 F, представляющий собой четырехтактный одноцилиндровый двигатель с воздушным охлаждением и верхним расположением клапанов и предназначенный для установки на садовую бензотехнику (мотопомпы, генераторы, культиваторы, мотоблоки, виброплиты и др.) мощностью до 5,2 л. с. Данный двигатель

¹⁸ Kharitonov S., Brovanov S., Zinoviev G. Power analysis of a multimodular wind power system including PMG, active rectifier and VSI // Proc. 7th International Conference-Workshop Compatibility and Power Electronics. 2011. P. 78–85. DOI: <https://doi.org/10.1109/CPE.2011.5942211>



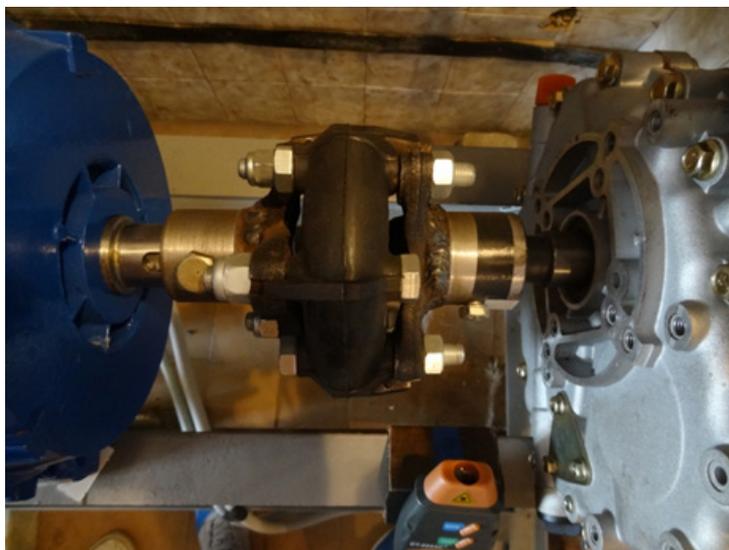
Р и с. 3. Панель управления FR-DU07 Mitsubishi FR-A741-5,5K
 F i g. 3. Control panel FR-DU07 Mitsubishi FR-A741-5,5K

оснащен системой легкого старта, ручным стартером и защитой от низкого уровня масла в картере.

Как видно из рис. 2, асинхронный короткозамкнутый двигатель ДАР 112 М4 БУЗ-ИМ1081-ИТ02500-В и дизельный двигатель GREENFIELD GF178 F закреплены на раме ОТС, а их валы от-

центрованы и объединены с помощью специально изготовленной соединительной муфты (рис. 4).

ОТС оснащен тремя автоматическими выключателями, в качестве которых использованы выключатели IEK BA47-29 C25 3р и IEK BA47-29 C32 3р.



Р и с. 4. Соединительная муфта валов двигателей
 F i g. 4. Motor shaft couplings



Обсуждение и заключения

Предложенная конструкция ОТС позволяет реализовать различные способы холодной и горячей обкатки ДВС средств малой механизации, включая обкатку на низких и высоких оборотах, а также обкатку с реверсом двигателя. Кроме того, стенд характеризуется хорошей энергоэффективностью, малыми массогабаритными показателями

и низкой стоимостью (< 150 тыс. руб.). Дальнейшее развитие стенда видится в полной автоматизации процесса обкатки ДВС средств малой механизации. Для этого может быть использован один из промышленных интерфейсов преобразователя частоты, а управление процессом обкатки и испытаний двигателей – выведено на персональный компьютер.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Байков Д. В., Иншаков А. П., Десяев С. С. Стенд для обкатки и испытаний двигателей мотобильной сельскохозяйственной техники малой мощности // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 2. С. 51–53. DOI: <https://doi.org/10.12737/18699>
2. Андруш В. Г. Выбор рационального режима обкатки ремонтируемых двигателей // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. 2014. № 11. С. 127–133. URL: <http://elib.psu.by/handle/123456789/11768>
3. Повышение надежности нагружающего устройства типа «машина постоянного тока – тиристорный преобразователь» при проведении обкатки и испытаний мощных автотракторных двигателей / А. П. Иншаков [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3. С. 66–69. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24415505>
4. Храмов Н. В. Полная обкатка автотракторных двигателей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. Вып. 12, ч. 2. С. 179–185. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/polnaya-obkatka-avtotraktornyh-dvigatelay>
5. Сорокин И. А. Ускоренная обкатка как контроль качества ремонта дизельных двигателей Д-240 // Вестник НГИЭИ. 2013. Т. 21, № 2. С. 50–57. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/uskorenna-ya-obkatka-kak-kontrol-kachestva-remonta-dizelnyh-dvigatelay-d-240>
6. Особенности построения схем электромеханических энергосберегающих стендов для обкатки и испытания автотракторных дизелей / А. П. Иншаков [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3. С. 81–85. URL: <https://naukaru.editorum.ru/ru/nauka/article/11237/view#article-annotation>
7. К вопросу модернизации и разработки стендов для обкатки и испытаний автотракторных двигателей / А. П. Иншаков [и др.] // Техника и оборудование для села. 2015. Т. 216, № 6. С. 45–48. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23651820>
8. Тодарев В. В., Погуляев М. Н., Дорошенко И. В. Энергосберегающие электромеханические стенды для испытания двигателей внутреннего сгорания и трансмиссий сельскохозяйственной техники // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. 2007. № 4. С. 80–84. URL: <https://elib.gstu.by/handle/220612/15256>
9. Княнов Н. В., Крюков О. В., Титов В. Г. Автоматизированный стенд для обкатки и испытаний автотракторных двигателей // Автоматизация в промышленности. 2009. № 6. С. 52–57. URL: https://avtprom.ru/system/files/52-57_0.pdf
10. Чикунов Ю. М., Чикунов А. М. Энергетический стенд с улучшенными характеристиками // Сельский механизатор. 2012. № 10. С. 28–29. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18049059>
11. Hassanzadeh F., Hajizadeh A., Abbasi F. Stability analysis and optimal state feedback control of back-to-back converter // Journal of Technology Innovations in Renewable Energy. 2013. Vol. 2, no. 2. P. 139–143. URL: <http://www.lifescienceglobal.com/pms/index.php/jtire/article/view/636>

12. **Saeedifard M., Iravani R.** Dynamic performance of a modular back-to-back HVDC system // IEEE Transactions on Power Delivery. 2010. Vol. 25, no. 4. P. 2903–2912. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2010.2050787>

Поступила 15.01.2018; принята к публикации 23.03.2018; опубликована онлайн 29.06.2018

Об авторах:

Байков Дмитрий Владимирович, научный сотрудник кафедры электроники и электротехники, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68/1), ResearcherID: F-9790-2018, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2203-5899>, bdv2304@mail.ru

Иншаков Александр Павлович, профессор кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68/1), доктор технических наук, ResearcherID: G-3580-2018, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3205-2396>, kafedra_mes@mail.ru

Федотов Юрий Борисович, заведующий кафедрой электроники и электротехники, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68/1), кандидат технических наук, доцент, ResearcherID: G-3587-2018, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7978-6784>, fedotovyb@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

Д. В. Байков – подготовка начального текста с последующей доработкой, анализ литературных данных; А. П. Иншаков – научное руководство; Ю. Б. Федотов – подготовка и первичный анализ литературных данных, верстка и редактирование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Baykov D. V., Inshakov A. P., Desyaev S. S. Stand for running and testing of low power mobile farm machinery engines. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Samara State Agricultural Academy Bulletin. 2016; 2:51–53. DOI: <https://doi.org/10.12737/18699> (In Russ.)
2. Andrush V. G. Rational regime selection of the renovated engines running. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V: Promyshlennost. Prikladnyye nauki* = Polotsk State University Bulletin. Series V: Industry. Applied Science. 2014; 11:127–133. Available at: <http://elib.psu.by/handle/123456789/11768> (In Russ.)
3. Inshakov A. P., Baykov D. V., Kuvshinov A. N., Kurbakov I. I. Eliablity increasing of loaded devices such as “DC machines – thyristor converters” during the power autotractor engines testing. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Samara State Agricultural Academy Bulletin. 2015; 3:66–69. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24415505> (In Russ.)
4. Hramtsov N. V. Full break-in automotive engines. *Izvestiya Tulskego gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki* = Tula State University Bulletin. Technical Sciences. 2012; 12(2):179–185. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/polnaya-obkatka-avtotraktornyh-dvigatelay> (In Russ.)
5. Sorokin I. A. Fast rolling as quality control of repairing diesel engines D-240. *Vestnik NGIEI* = Herald NGIEI. 2013; 2(21):50–57. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/uskorennyaya-obkatka-kak-kontrol-kachestva-remonta-dizelnyh-dvigatelay-d-240> (In Russ.)
6. Inshakov A. P., Baykov D. V., Kuvshinov A. N., Kurbakov I. I. Schemes creation features of electromechanical energy saving stands for autotractor diesels tests. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Samara State Agricultural Academy Bulletin. 2015; 3:81–85. Available at: <https://naukaru.editorum.ru/ru/nauka/article/11237/view#article-annotation> (In Russ.)



7. Inshakov A. P., Baykov D. V., Kuvshinov A. N., Kurbakov I. I. On the issue of modernization and development of stands for breaking-in and testing of automotive and tractor engines. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2015; 6:45–48. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23651820> (In Russ.)

8. Todarev V. V., Pogulyaev M. N., Doroshchenko I. V. [Energy-conserving electromechanical stands to checkout combustion engines and agricultural machinery transmissions]. *Vestnik Gomelskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. P. O. Sukhogo* = Bulletin of Sukhoy Gomel State Technical University. 2007; 4:80–84. Available at: <https://elib.gstu.by/handle/220612/15256> (In Russ.)

9. Kiyanov N. V., Kryukov O. V., Titov V. G. [Automated test bench for testing and testing of automotive tractor engines]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti* = Automation in Industry. 2009; 6:52–57. Available at: https://avtprom.ru/system/files/52-57_0.pdf (In Russ.)

10. Chikunov Yu. M., Chikunov A. M. Energy booth with improved characteristics. *Selskiy mekhanizator* = Rural Mechanic. 2012; 10:28–29. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18049059> (In Russ.)

11. Hassanzadeh F., Hajizadeh A. Abbasi F. Stability analysis and optimal state feedback control of back-to-back converter. *Journal of Technology Innovations in Renewable Energy*. 2013; 2:139–143. Available at: <http://www.lifescienceglobal.com/pms/index.php/jtire/article/view/636>

12. Saeedifard M., Irvani R. Dynamic performance of a modular back-to-back HVDC System. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2010; 25:2903–2912. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2010.2050787>

Received 15.01.2018; revised 23.03.2018; published online 29.06.2018

About authors:

Dmitriy V. Baykov, Researcher, Electronics and Electrical Engineering Chair, National Research Mordovia State University (68/1 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), ResearcherID: F-9790-2018, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2203-5899>, bdv2304@mail.ru

Aleksandr P. Inshakov, Professor, Leshchankin Chair of Mobile Energy Means and Agricultural Machines, National Research Mordovia State University (68/1 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), D.Sc. (Engineering), ResearcherID: G-3580-2018, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3205-2396>, kafedra_mes@mail.ru

Yuriy B. Fedotov, Head of Electronics and Electrical Engineering Chair, National Research Mordovia State University (68/1 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), docent, ResearcherID: G-3587-2018, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7978-6784>, fedotovyb@mail.ru

Authors' contribution:

D. V. Baykov – writing the draft, reviewing and analyzing the literature; A. P. Inshakov – scientific supervision; Yu. B. Fedotov – analyzing the literature, writing the final text.

All authors have read and approved the final version of the paper.