

DOI: 10.47026/1810-1909-2023-2-24-31

УДК 622.276.054.4-83: [620.9:502.17]

ББК [3156.59: 3313.111.2]: 3128.01

Э.М. АРТЫКАЕВА, Л.Н. ВАСИЛЬЕВА, Р.А. РОМАНОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ШТАНГОВЫХ СКВАЖИННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Ключевые слова: штанговая скважинная насосная установка, электрооборудование, асинхронный двигатель, вентильный двигатель, линейный двигатель, SCADA-система TRACE MODE, ваттметрrogramма.

В настоящее время в экономике страны вопросы нефтедобычи находятся на одном из первых мест. В связи с этим организация эффективной работы электрооборудования нефтедобывающих установок со штанговыми скважинными насосными установками требует пристального внимания и является весьма актуальной.

Цель работы – повышение энергоэффективности электрооборудования штанговых скважинных насосных установок путём использования перспективных типов электроприводов, а также контроля работы с использованием SCADA-системы TRACE MODE.

Материалы и методы. С целью повышения энергоэффективности электропривода штанговых скважинных насосных установок предлагается рассмотреть возможность применения взамен асинхронного двигателя вентильного двигателя с постоянными магнитами, имеющего значительно улучшенные энергетические и массогабаритные показатели, контроль работы осуществлять с использованием SCADA-системы TRACE MODE, так как они зарекомендовали себя как эффективная технология автоматизированного управления.

Результаты работы. В статье приводится сравнительная оценка работы электроприводов штанговых скважинных насосных установок традиционных станков-качалок с асинхронным двигателем и вентильным двигателем. Показано, что вследствие высокой перегрузочной способности вентильного двигателя его номинальную мощность можно выбрать в 2-3 раза меньше, чем у асинхронного двигателя. К тому же коэффициент мощности вентильного двигателя близок к 1. Всё это повышает КПД электрооборудования штанговых скважинных насосных установок и, соответственно, уменьшает потребление электроэнергии. В качестве другого варианта повышения энергоэффективности электрооборудования штанговых скважинных насосных установок предложено использование линейного вентильного двигателя. Исключение редуктора, ремённой передачи и кривошипно-шатунного механизма должно позволить достичь более высокого КПД всего электромеханического комплекса штанговых скважинных насосных установок. Применение SCADA-системы TRACE MODE в интеллектуальных станциях управления позволяет создать управляемую сеть с возможностью реализации удаленного операторского контроля за технологическим процессом, дистанционного включения и выключения устройств, чтения данных из базы системы проектирования в режиме реального времени; отображения информации на экране монитора; осуществления сетевого обмена данными с промышленными контроллерами; архивирования и передачи текущих значений.

Выводы. В статье приводится сравнительный анализ нескольких видов электроприводов на базе вентильных двигателей взамен традиционных асинхронных двигателей. Показаны преимущества применения таких приводов и их энергетическая эффективность, обусловленная более высокими значениями КПД и коэффициента мощности. Для контроля работы штанговых скважинных насосных установок предлагается использовать SCADA-систему TRACE MODE.

Введение. В настоящее время доля затрат на электроэнергию при эксплуатации месторождений доходит до 50% всех затрат нефтедобывающих предприятий.

В связи с этим проблемы модернизации электрооборудования нефтепромыслов с целью повышения эффективности и решения проблемы энергосбережения являются актуальными.

В нефтедобывающих компаниях России большая часть добычи нефти осуществляется с помощью штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ) [5]. Штанговая скважинная насосная установка состоит из насосной части и привода (станка-качалки). В станках-качалках применяют асинхронные электродвигатели (АД) с короткозамкнутым ротором серий 4А, 4АМ, АИР, 5А с повышенным пусковым моментом мощностью от 1,5 до 55 кВт. Асинхронные двигатели надёжны, имеют простую конструкцию и невысокую стоимость. К недостаткам привода ШСНУ относятся: сложность кинематической схемы; большие масса и габариты; механизмы привода требуют обслуживания и ремонта, АД выбирают с повышенной номинальной мощностью.

Цель работы – повышение энергоэффективности электрооборудования ШСНУ путём использования перспективных типов электроприводов, а также контроля работы с использованием SCADA-системы TRACE MODE.

Материалы и методы. С целью повышения энергоэффективности электропривода ШСНУ предлагается рассмотреть возможность применения взамен АД вентильного двигателя с постоянными магнитами, имеющего значительно улучшенные энергетические и массогабаритные показатели, контроль работы осуществлять с использованием SCADA-системы TRACE MODE, так как они зарекомендовали себя как эффективная технология автоматизированного управления.

Результаты работы. Контроль и диагностика ШСНУ осуществляются на основе динамограмм (усилие на полированном штоке) и ваттметрограмма (потребляемая мощность) [3, 8, 9]. На рис. 1 представлены динамограмма (развёрнутая) и совмещенная с ней ваттметрограмма ШСНУ, из которой видно, что в течение одного цикла работы штанговых насосных установок нагрузка двигателя меняется в $2,5 \div 5$ раз относительно номинальной.

Для обеспечения требуемой перегрузочной способности двигателя по моменту асинхронные двигатели выбирают с повышенной номинальной мощностью (в 2 раза и более), что приводит к дополнительным потерям энергии.

Более эффективным электроприводом ШСНУ является электропривод на базе вентильного двигателя с постоянными магнитами на роторе, что особенно актуально для приводов малodeбитных скважин [1, 6]. Это обстоятельство объясняется тем, что вентильный двигатель в сравнении с асинхронным имеет значительно большую перегрузочную способность: $M_{\max} = (5 \div 10)M_{\text{ном}}$, более высокий КПД и меньшие потери холостого хода. К тому же коэффициент мощности вентильного двигателя близок к 1. Всё это повышает КПД электрооборудования ШСНУ и уменьшает потребление электроэнергии.

Для сравнения в табл. 1 представлены некоторые характеристики асинхронного и вентильного двигателей с близкими максимальными моментами на валу.

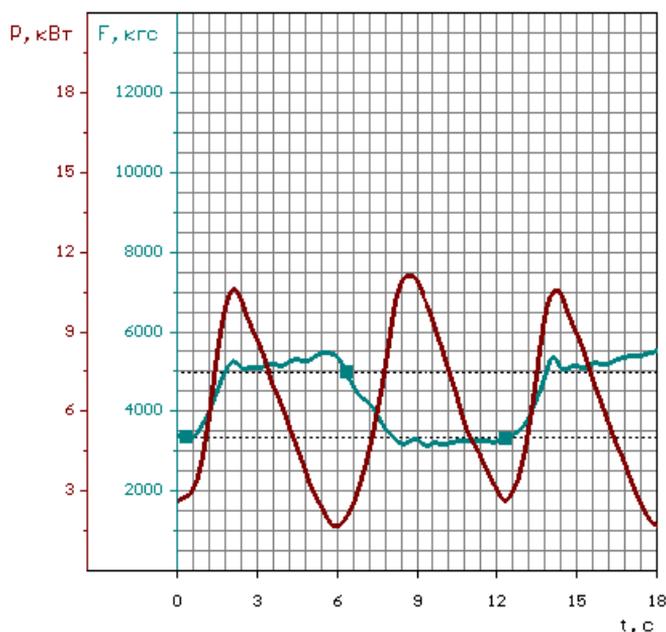


Рис. 1. Динамограмма и ваттметрограмма ШСНУ

Таблица 1

Технические параметры двигателей

| Тип двигателя | Максимальный момент на валу, Н·м | Энергетический КПД ($\eta \cdot \cos \phi$) | Масса двигателя, кг |
|---------------|----------------------------------|---|---------------------|
| АИР160S8 | 208 | 0,62 | 125 |
| 6ДВМ215S | 175 | 0,9 | 29 |

Высокая стоимость является основным недостатком ВД с ПМ. Однако при современных ценах на электроэнергию применение регулируемого электропривода на базе вентильного электродвигателя дает экономию электроэнергии, которая покрывает высокие первичные затраты.

В качестве другого варианта повышения энергоэффективности электрооборудования ШСНУ предложено использование линейного вентильного двигателя (рис. 2). Исключение редуктора, ремённой передачи и кривошипно-шатунного механизма должно позволить достичь более высокого КПД всего электромеханического комплекса ШСНУ.

Электропривод можно установить на устье скважины либо выполнить двигатель погружным. Линейный двигатель представляет собой модульную систему, в ней используются сосредоточенные катушечные обмотки кольцевой формы. Для уменьшения потребляемого тока и повышения напряжения отдельные модули системы соединяются последовательно. Электромагнитные расчеты линейного двигателя показали, что КПД линейного двигателя составляет от $0,55 \div 0,73$ в зависимости от типа используемых постоянных магнитов [2, 7].

В табл. 2 представлены основные показатели рассмотренных выше вариантов.

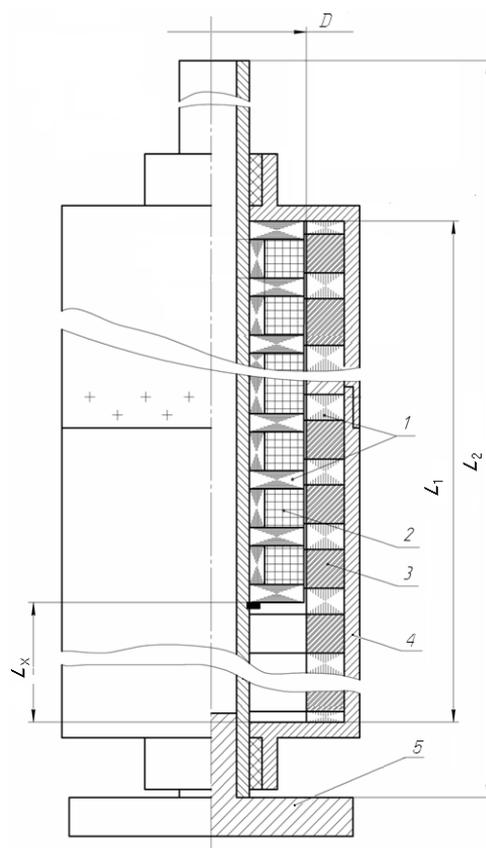


Рис. 2. Конструкция линейного двигателя:

- 1 – магнитопровод ротора, магнитопровод статора; 2 – обмотка статора;
 3 – постоянный магнит (материал ПМ: феррит-стронция; магнетопласт;
 неодим–железо–бор спеченный; самарий–кобальт); 4 – ротор; 5 – фланец статора

Таблица 2

Основные показатели ШСНУ с ЭП на базе вентильного двигателей

| Тип электропривода | КПД | cosφ | ΔW, тыс. кВт·ч в год |
|---|------|------|-------------------------|
| ШСНУ с ЭП на базе вентильного двигателя | 0,8 | 1 | 30 |
| ШСНУ с ЭП на базе линейного вентильного двигателя | 0,65 | 1 | 7 |

Для повышения эффективности ШСНУ предлагается контроль работы осуществлять с применением SCADA-системы TRACE MODE. Для принятия решения по управлению режимом электропривода в систему мониторинга в реальном режиме времени передается и затем накапливается в базе данных множество параметров ШСНУ, оценка динамического состояния установки производится с помощью динамограмм и ваттметрограмм. Данную задачу трудно формализовать, она вызывает проблемы информационной перегрузки, которые можно легко избежать, внедрив интеллектуальную систему SCADA. Среди отечественных разработок флагманом выступает SCADA-система Trace

Mode фирмы AdAstra. Эта интегрированная среда, разработанная для проектирования и внедрения в эксплуатацию систем автоматизированного управления, включает большое количество различных инструментов и позволяет осуществлять разработку распределенных иерархических систем автоматизированного проектирования и управления.

Последовательность замеров потребляемой приводом ШСНУ активной мощности, полученная с помощью датчиков шкафа управления, передается по каналам связи на автоматизированное рабочее место оператора SCADA-системы и визуализируется на экране монитора в виде тренда [4]. В качестве примера на рис. 3 представлены ваттметрограммы, полученные с использованием SCADA-системы TRACE MODE.

Применение среды TRACE MODE в интеллектуальных станциях управления позволяет создать управляемую сеть с возможностью реализации удаленного операторского контроля за технологическим процессом, дистанционного включения и выключения устройств, чтения данных из базы системы проектирования в режиме реального времени; отображения информации на экране монитора; осуществления сетевого обмена данными с промышленными контроллерами; архивирования и передачи текущих значений.

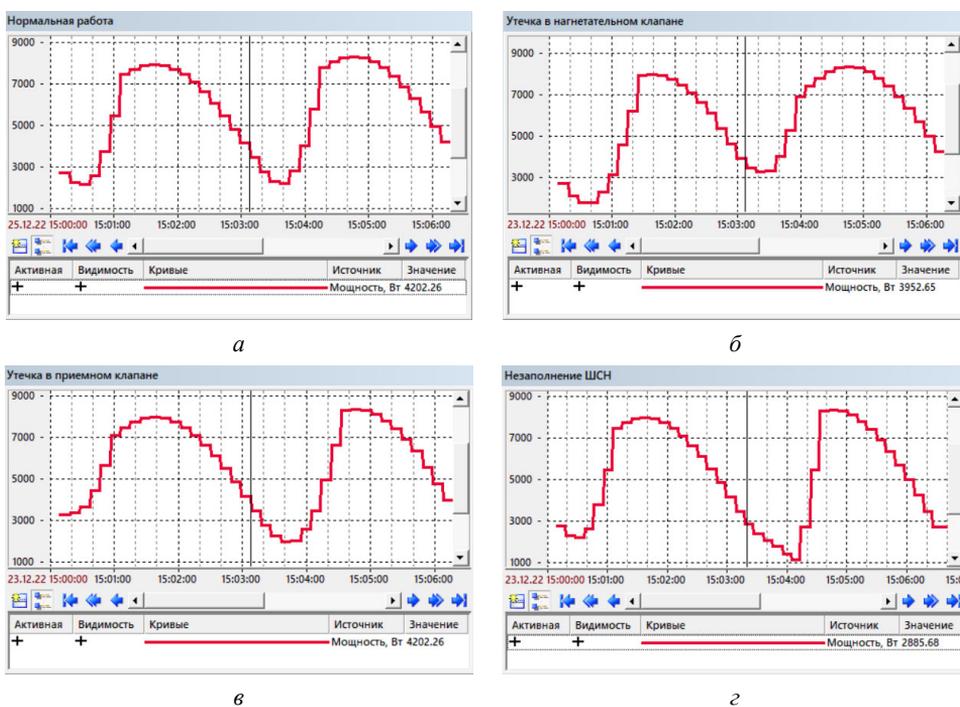


Рис. 3. Отображение результатов ваттметрограмм на экране TRACE MODE:

- а* – ваттметрограмма при нормальной работе ШСНУ;
- б* – ваттметрограмма при утечке в нагнетательном клапане;
- в* – ваттметрограмма при утечке в приёмном клапане;
- z* – ваттметрограмма при незаполнении ШСНУ

Именно использование интеллектуальных технологий при проектировании и разработке систем управления технологическими процессами является экономически выгодным и конструктивно оправданным.

Выводы. В статье приводится сравнительный анализ нескольких видов электроприводов на базе вентильных двигателей взамен традиционных асинхронных двигателей. Показаны преимущества применения таких приводов и их энергетическая эффективность, обусловленная более высокими значениями КПД и коэффициента мощности. Для контроля работы штанговых скважинных насосных установок предлагается использовать SCADA-систему TRACE MODE.

Литература

1. *Артыкаева Э.М.* Повышение энергоэффективности станков-качалок путём применения линейного цилиндрического вентильного двигателя // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Альметьевск: Изд-во АГНИ, 2019. С. 344–347.
2. *Артыкаева Э.М., Генин В.С., Нестерин В.А.* Перспективы применения вентильных электродвигателей в системах энергоресурсосберегающего оборудования нефтедобывающих штанговых насосных установок // Электротехника. 2011. № 10. С. 2–7.
3. *Белов И.Г.* Исследование работы глубинных насосов динамографом. М.: Гостоптехиздат, 1960. 428 с.
4. *Генин В.С., Васильева Л.Н., Шарафутдинов Н.Р., Артыкаева Э.М.* Использование SCADA-системы TRACE MODE для контроля СКН по ваттметрограмме // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: материалы V Междунар. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. С. 252–262.
5. *Мищенко И.Т.* Скважинная добыча нефти. М.: Нефть и газ, 2003. 816 с.
6. Повышение эффективности электропривода станка-качалки нефти / *А.А. Афанасьев, В.А. Нестерин, В.С. Генин и др.* // Электротехника. 2018. № 8. С. 24–28.
7. Проектирование электрических машин / под ред. И.П. Копылова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2011. 767 с.
8. Средства автоматизации технологических установок нефтегазодобывающих предприятий / *В.Я. Чаронов, М.И. Альтикуллер, В.С. Генин, и др.* Чебоксары: Офисная полиграфия, 2002. 272 с.
9. *Хакимьянов М.И.* Повышение эффективности эксплуатации электроприводов нефтедобывающих штанговых глубинных насосов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2018. № 1-2. С. 82–89.
10. SCADA-системы TRACE MODE [Электронный ресурс]. URL: <http://www.adastra.ru>.

АРТЫКАЕВА ЭЛЬМИРА МИДХАТОВНА – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики, Альметьевский государственный нефтяной институт, Россия, Альметьевск (85elmira@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3336-9579>).

ВАСИЛЬЕВА ЛИДИЯ НИКОЛАЕВНА – кандидат педагогических наук, доцент кафедры автоматизации и управления в технических системах, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (oln2404@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2809-9044>).

РОМАНОВ АРТЁМ АРТЕМЬЕВИЧ – старший преподаватель кафедры электротехнологий электрооборудования и автоматизированных производств, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (ragnum@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6517-7198>).

Elmira M. ARTYKAEVA, Lidia N. VASILEVA, Roman A. ROMANOV
IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRICAL EQUIPMENT
OF SUCKER ROD PUMPING UNITS

Key words: sucker rod pumping unit, electrical equipment, asynchronous motor, brushless motor, linear motor, Trace Mode SCADA system, wattmeter.

Currently, in the country's economy, oil production issues are the focus. In this regard, the organization of effective operation of electrical equipment of oil-producing installations with sucker rod pumps requires close attention and is very relevant.

The purpose of the work is to increase the energy efficiency of electrical equipment of sucker rod pumping units by using promising types of electric drives, as well as monitoring operation using the TRACE MODE SCADA system.

Materials and methods. In order to increase the energy efficiency of the electric drive of sucker rod pumping units, it is proposed to consider the possibility of using a valve motor with permanent magnets instead of the asynchronous motor. It has significantly improved energy and mass-dimensional indicators. It is also proposed to control the operation using the TRACE MODE SCADA system, since it has proven itself to be an effective automated control technology.

The results of the work. The article provides a comparative assessment of the operation of electric drives of sucker rod pumping units of traditional rocking machines with an asynchronous motor and a valve motor. It is shown that due to high overload capacity of the valve motor, its rated power can be 2-3 times less than that of an asynchronous motor. In addition, the power factor of the valve motor is close to 1. All this increases the efficiency of the electrical equipment of the sucker rod pumping units and, accordingly, reduces the consumption of electricity. As another option for improving the energy efficiency of electrical equipment of sucker rod pumping units, the use of a linear valve motor is proposed. The exclusion of the gearbox, belt drive and crank mechanism allows achieving higher efficiency of the entire electromechanical complex of sucker rod pumping units. The use of the TRACE MODE SCADA system in intelligent control stations makes it possible to create a controlled network with the possibility of implementing remote operator control over the technological process, switching devices on and off remotely, reading data from the database of the design system in real time; displaying information on the monitor screen; network data exchange with industrial controllers; archiving and transmitting the current values.

Conclusions. The article presents a comparative analysis of several types of electric drives based on valve motors instead of traditional asynchronous motors. The advantages of using such drives and their energy efficiency due to higher values of efficiency and power factor are shown. It is proposed to use the TRACE MODE SCADA system to control the operation of sucker rod pumping units.

References

1. Artykaeva E.M. Povyshenie ehnergoeffektivnosti stankov-kachalok putem primeneniya lineinogo tsilindrichesko-go ventil'nogo dvigatelya [Improving the energy efficiency of rocking machines by using a linear cylindrical valve motor]. In: *Dostizheniya, problemy i perspektivy razvitiya neftegazovoi otrasli: materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf* [Proc. of 4th Int. Sci. Conf. «Achievements, problems and prospects of development of the oil and gas industry»]. Almet'yevsk, AGNI Publ., 2019, pp. 344–347.
2. Artykaeva E.M., Genin V.S., Nesterin V.A. Perspektivy primeneniya ventil'nykh ehlektrodvigateli v sistemakh ehnergoresursoberegayushche-go oborudovaniya nefte dobyvayushchikh shtangovykh nasosnykh ustanovok [Prospects of power effectiveness increase of oil-producing hose pump installations]. *Electrotehnika*, 2011, no. 10, pp. 2–7.
3. Belov I.G. *Issledovanie raboty glubinnnykh nasosov dinamografom* [Study of the operation of deep pumps by a dynamographer]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1960, 428 p.
4. Genin V.S., Vasileva L.N., Scharafutdinov N.R., Artykaeva E.M. *Ispolzovanie SCADA-sistemi TRACE MODE dly kontrolya SKN po vattmetrogramme* [The use of the TRACE MODE SCADA system for monitoring the SCN according to a wattmetrogram]. In: *Problemy i perspektivy razvitiya energetiki, elektrotehniki i energoeffektivnosti: materi-aly V Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Proc.

of 5th Int. Sci. Conf. «Problems and prospects for the development of energy, electrical engineering and energy efficiency»). Cheboksary, Chuvash University Publ., 2021, pp. 252–262.

5. Mischenko I.T. *Skvazhinnaya dobycha nefii* [Borehole oil production]. Moscow, 2003, 816 p.

6. *Povyshenie ehffektivnosti ehlektroprivoda stanka-kachalki nefii* [Improving the efficiency of the electric drive of the oil pumping machine] /Afanasief A.A., Nesterin V.A., Genin V.S. et al. *Ehlektrotekhnik*, 2018, no. 8, pp. 24–28.

7. *Proektirovanie ehlektricheskikh mashin 4 izd* [Design of electric machines. 4th ed.] / Kopylov I.P., ed. Moscow, Yurayt Publ., 2011, 767 p.

8. Charonov V.Ya., Altshuller M.I., Genin V.S., Ivanov A.G. et al. *Sredstva avtomatizatsii tekhnologicheskikh ustanovok neftegazodobyvayushchikh predpriyatii* [Automation tools for technological installations of oil and gas producing enterprises]. Cheboksary, 2002, 272 p.

9. Khakimianov M.I. *Povyshenie ehffektivnosti ehkspluatatsii ehlektroprivodov neftedobyvayushchikh shtangovykh glu-binnykh nasosov* [Improving the efficiency of operation of electric drives of oil-producing rod depth pumps]. *Ehlektrooborudovanie: ehkspluatatsiya i remont*, 2018, no. 1-2, pp. 82–89.

10. SCADA TRACE MODE. Available at: <http://www.adastra.ru>.

ELMIRA M. ARTYKAEVA – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electric and Thermal Power Engineering, Almetevsk State Oil Institute, Russia, Almetevsk (85elmira@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3336-9579>).

LIDIA N. VASILEVA – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Automation and Control in Technical Systems, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (oln2404@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2809-9044>).

ROMAN A. ROMANOV – Senior Lecturer, Electrical Equipment and Automated Manufacturing Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (ragnum@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6517-7198>).

Формат цитирования: Артыкаева Э.М., Васильева Л.Н., Романов Р.А. Повышение энергоэффективности электрооборудования штанговых скважинных насосных установок // Вестник Чувашского университета. – 2023. – № 2. – С. 24–31. DOI: 10.47026/1810-1909-2023-2-24-31.