

УДК 622.276.53

А.Е. Бортников¹, e-mail: BortnikovAE@tmn.lukoil.com; **В.Н. Ивановский²**, e-mail: ivanovskivn@yandex.ru;
А.В. Кузьмин², e-mail: ant1932@yandex.ru; **А.А. Сабиров²**, e-mail: sabirov@gubkin.ru;
Р.Р. Хайретдинов³, e-mail: Rishat.Hayretdinov@lukoil.com; **И.Г. Хасанов³**, e-mail: ilnur.Khasanov@lukoil.com

¹ ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», филиал «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени (Тюмень, Россия).

² ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия).

³ ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» (Когалым, Россия).

О возможности эксплуатации боковых стволов малого диаметра установками электроцентробежных насосов с открытыми рабочими колесами на примере месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»

Массовое применение технологий интенсификации добычи нефти привело к повышению содержания свободного газа и механических примесей в скважинном флюиде, что ведет к существенной деградации характеристик центробежных насосов. Повышается также риск солеотложения на поверхностях скважинного оборудования. Кроме того, нефтяники все больше используют боковые стволы скважин с малыми диаметрами обсадных колонн и большими темпами набора кривизны, эксплуатация которых стандартными установками электроцентробежных насосов невозможна.

Одним из вариантов решения проблем, связанных с указанными осложнениями при добыче нефти, является применение установок электроцентробежных насосов, ступени которых оснащены открытыми рабочими колесами. Эти насосы способны работать с содержанием свободного газа на приеме насоса до 50 % и выше. Они меньше подвержены солеотложению, имеют малую монтажную высоту ступени, малую массу и дисбаланс ротора, что снижает уровень вибрации при работе, особенно при повышенной частоте вращения. Это очень важно при эксплуатации малогабаритных скважин и искривленных боковых стволов. Конструкция открытых рабочих колес позволяет применять при их изготовлении инновационные материалы и технологии, использование которых увеличивает эффективность работы оборудования в осложненных условиях, а также позволяет снизить себестоимость изготовления. В РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина была спроектирована ступень с открытым рабочим колесом для насоса ЭЦН2А-25(40), предназначенного для работы в боковых стволах скважин с наружным диаметром обсадной колонны 102 мм. Для изготовления ступеней применялась технология механической обработки на многошпиндельных 4- и 5-координатных обрабатывающих центрах. Такая технология позволила отойти от литейных технологий и применить в качестве конструкционного материала нержавеющей сталь 40Х13. Ступени имеют малую монтажную высоту (около 17,5 мм), что позволяет размещать в 4-метровом корпусе секции 220–225 ступеней. Созданные ступени проходили стендовые испытания в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, а также на стенде тестирования электроцентробежных насосов на базе ООО «Ижнефтепласт». После подтверждения работоспособности и получения комплексной характеристики насосных секций насосов ЭЦН2А-25(40) указанные секции были направлены на объекты ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» для прохождения опытно-промышленных испытаний.

В результате проведения испытаний центробежных насосов с открытыми рабочими колесами ЭЦН2А-25(40) были выявлены низкое потребление электроэнергии и возможность работы установок без газосепаратора, что обеспечивает снижение капитальных и текущих затрат, а также совокупной стоимости владения этим инновационным оборудованием.

Ключевые слова: ступени электроприводных центробежных насосов с открытыми рабочими колесами, промышленные испытания, боковой ствол скважины.

.....

А.Е. Бортников¹, e-mail: BortnikovAE@tmn.lukoil.com; **В.Н. Ивановский²**, e-mail: ivanovskivn@yandex.ru;
А.В. Кузьмин², e-mail: ant1932@yandex.ru; **А.А. Сабиров²**, e-mail: sabirov@gubkin.ru;
Р.Р. Хайретдинов³, e-mail: Rishat.Hayretdinov@lukoil.com; **И.Г. Хасанов³**, e-mail: ilnur.Khasanov@lukoil.com

¹ LUKOIL-Engineering LLC, Tyumen branch of KogalymNIPIneft (Tyumen, Russia).

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)» (Moscow, Russia).

³ LUKOIL-West Siberia LLC (Kogalym, Russia).

The Possibility for Exploitation by the Lateral Holes of Small Diameter ESP Installations with Open Impellers illustrated an Example of Fields of LUKOIL – West Siberia LLC

The mass application of oil production intensification technologies has led to an increase in the content of free gas and mechanical impurities in the borehole fluid, which leads to a significant degradation of the characteristics of centrifugal pumps. There is also an increased risk of salinity on the surfaces of downhole equipment. Also, oilmen are increasingly using lateral boreholes with small diameters of casing strings and a high rate of curvature set, the operation of which is impossible with standard ESP units.

One of the options for solving the problems associated with these complications in oil production is the use of ESP, the stages of which are equipped with open impellers.

These pumps are capable of operating with a free gas content at a pump intake of up to 50% and above, they are less susceptible to salt deposition, have a small installation height of the stage, a small mass and rotor imbalance, which reduces the level of vibration during operation, especially at high speeds. This is very important in the operation of small wells and curved lateral trunks. The design of the open impeller allows the use of innovative materials and technologies in their manufacture, the use of which increases the efficiency of the equipment in complicated conditions, and also reduces the cost of manufacture.

In Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) was designed stage with open impeller for pump ETsN02A-25(40) intended for operation in the lateral wellbore with an outer diameter of the casing 102 mm. For the manufacture of treads applied technology machining on multi-spindle 4-axis and 5-axis machining centers. This technology made it possible to depart from foundry technology to be used as a construction material stainless steel 40X13. The steps have a small mounting height (about 17.5 mm), which allows placing 220–225 stage in a 4-meter section housing. Created step passed bench tests in Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), and bench testing of ESP on the basis of "Izhnefteplast". After confirming the performance and obtain comprehensive characteristics of the pumping sections of the pump ETsN02A-25(40), these sections were aimed at the facilities of LUKOIL-West Siberia LLC to pass field testing.

As a result of the OPI of centrifugal pumps with open impellers ETsN02A-25(40) revealed low power consumption and the possibility of the UES without a gas separator, which reduces capital and operating costs, as well as the total cost of ownership of this innovative equipment.

Keywords: stages of the electrodriving centrifugal pumps with open impellers, field test, lateral hole.

В последнее время из-за массового использования технологий интенсификации добычи с применением гидроразрывов пласта и увеличением депрессии на пласт за счет снижения забойного давления ниже давления насыщения скважинный флюид все чаще включает большое количество свободного газа и механических примесей. Применение для добычи такого флюида обычных центробежных насосов ведет к существенной деградации характеристик из-за перекрытия их проточных каналов скоплениями газа, засорения этих каналов механическими примесями,

быстрого износа основных рабочих поверхностей рабочих колес, направляющих аппаратов и подшипниковых узлов. Также интенсификация добычи нефти и увеличение обводненности продукции скважин приводят к повышению рисков солеотложения на поверхностях скважинного оборудования [1]. Кроме того, нефтяники все чаще используют боковые стволы скважин с малыми диаметрами обсадных колонн и большими темпами набора кривизны, эксплуатация которых стандартными установками электроцентробежных насосов (УЭЦН) невозможна.

Одним из вариантов решения проблем, связанных с указанными осложнениями при добыче нефти, является применение УЭЦН, ступени которых оснащены открытыми рабочими колесами (РК). Ступени с открытыми рабочими колесами из-за особенностей своей конструкции способны работать с содержанием свободного газа на приеме насоса до 50 % и выше, что особенно ценно в скважинах с боковыми стволами малого диаметра (БСМД), так как эффективность применения газосепаратора в них снижается из-за его малого диаметрального габарита.

Для цитирования (for citation):

Бортников А.Е., Ивановский В.Н., Кузьмин А.В., Сабиров А.А., Хайретдинов Р.Р., Хасанов И.Г. О возможности эксплуатации боковых стволов малого диаметра установками электроцентробежных насосов с открытыми рабочими колесами на примере месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2018. № 4. С. 28–32.

Bortnikov A.E., Ivanovskiy V.N., Kuzmin A.V., Sabirov A.A., Khairtdinov R.R., Khasanov I.G. The Possibility for Exploitation by the Lateral Holes of Small Diameter ESP Installations with Open Impellers illustrated an Example of Fields of LUKOIL – West Siberia LLC. Territorija «NEFTEGAS» = Oil and Gas Territory, 2018, No. 4, P. 28–32. (In Russ.)

РК открытого типа меньше подвержены солеотложению, из-за отсутствия дисков у рабочего колеса снижается монтажная высота ступени, уменьшаются масса, дисбаланс ротора и вибрация всей установки при работе, особенно при повышенной частоте вращения. Это очень важно при эксплуатации малогабаритных скважин и искривленных боковых стволов, где для достижения необходимого напора установки частота вращения вала УЭЦН обычно составляет 4500–6000 об/мин. Конструкция открытых РК позволяет применять при их изготовлении инновационные материалы и технологии, использование которых увеличивает эффективность работы оборудования в осложненных условиях, а также позволяет снизить себестоимость изготовления [2].

Однако в открытых рабочих колесах имеют место утечки жидкости через зазоры между открытыми торцами лопастей рабочего колеса и стенками полости, в которой оно вращается, что приводит к уменьшению напора и коэффициента полезного действия (КПД) насоса. При этом необходимым условием безотказной работы насосов с открытыми рабочими колесами является поддержание в течение всего срока службы контролируемого осевого зазора между открытым колесом (импеллером) и стенками полости, в которой оно вращается, причем величина этого зазора должна быть минимально возможной.

При наличии в перекачиваемой среде свободного газа ее взаимодействие с подвижными и неподвижными стенками ступени приводит к образованию мелкомасштабных вихрей с поперечным размером меньшим, чем ширина проточных каналов ступени. Это приводит к диспергации потока, препятствуя срыву подачи и увеличивая допустимое содержание свободного газа.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ СТУПЕНИ С ОТКРЫТЫМ РАБОЧИМ КОЛЕСОМ ДЛЯ НАСОСА ЭЦН2А-25(40)

На кафедре машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина была спроектирована ступень с открытым рабочим колесом для насоса



Рис. 1. Общий вид модели ступени ЭЦН02А-25(40)

Fig. 1. General view of the stage model ETsN02A-25(40)

ЭЦН2А-25(40), предназначенного для работы в боковых стволах скважин с наружным диаметром обсадной колонны 102 мм [3, 4]. Модель этой ступени представлена на рис. 1. Ступень имеет специальную конструкцию и геометрию проточной части рабочего колеса и направляющего аппарата, которые обеспечивают возможность его эффективной работы на жидкости с большим содержанием свободного газа и механических примесей.

Для усиления положительных качеств данной ступени при ее изготовлении применялась технология механической обработки на многошпиндельных 4- и 5-координатных обрабатывающих центрах. Такая технология позволила отойти от литейных технологий и применить в качестве конструкционного материала нержавеющей сталь 40Х13. Свойства этого материала (твердость, стойкость к коррозии, высокая частота поверхности проточных каналов) позволяет снизить возможности солеотложения, коррозии, износа. Масса рабочего колеса из стали 40Х13 в 2,3 раза меньше массы рабочего колеса в стандартном исполнении, что приводит к двукратному снижению вибрационных нагрузок при работе насосного оборудования.

Ступени были разработаны для использования в малогабаритных быстроходных центробежных насосах, предназначенных для эксплуатации боковых стволов малого диаметра. Обозначение насоса ЭЦН02А-25(40) говорит о том, что данный насос является центробежным, предназначен для работы в обсадных колоннах с внутренним диаметром не менее 88 мм, номинальная подача насоса при частоте вращения вала

2910 об/мин составляет 25 м³/сут, при частоте вращения вала 4500 об/мин – 40 м³/сут. Необходимо отметить, что созданные ступени имеют малую монтажную высоту (около 17,5 мм), что позволяет размещать в 4-метровом корпусе секции 220–225 ступеней.

Созданные ступени проходили стендовые испытания в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, а также на стенде тестирования ЭЦН производства ЗАО «МЕХТА» на базе ООО «Ижнефтепласт».

Если в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина стендовые испытания проводились на сборках из 5–7 ступеней, то в ООО «Ижнефтепласт» были проведены испытания секции насоса, состоящей из 221 ступени с открытыми рабочими колесами.

После подтверждения работоспособности и получения комплексной характеристики насосных секций насосов ЭЦН02А-25(40) указанные секции были направлены на объекты ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» для прохождения опытно-промышленных испытаний (ОПИ).

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫСЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЦН02А-25(40)

Сотрудники ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени и РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина провели работу по выбору скважин-кандидатов для проведения ОПИ, разработали и утвердили программу и методику ОПИ.

Объектом ОПИ являлись электроприводные центробежные насосы ЭЦН02А-25(40) в количестве двух штук. Целью проведения ОПИ является подтверждение паспортных характеристик, определение работоспособности и технико-экономической эффективности насосов ЭЦН02А-25(40) при использовании в скважинах с БСМД на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь». Результатами промысловых испытаний стали два успешных запуска насосных установок на двух скважинах Ватьеганского месторождения ТПП «Повхнефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь». Данные по запуску насосных устано-

Таблица 1. Скв. 1 куста 1 Ватьеганского месторождения. Запущена в работу 07.04.2017 в 17:53
 Table 1. Well No. 1 of the bush 1 of the Vatyeganskoye field. Put into operation on April 7, 2017 at 17:53

| Время Time | $Q_{ж}$, м ³ /сут | H ₂ O, % | H _{динг} , м (m) | P _{затр} , атм (atm) | N, об/мин (rpm) | F, Гц | P _{пр} , атм (atm) | U, В (V) | I, А | Загрузка питателя высокого давления (ПВД), % Load ratio of the high- pressure feeder (HPP), % |
|---------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|-------|-----------------------------|----------|------|---|
| 17:53 | – | – | 705 | 0 | 2400 | 80 | 83,9 | 397 | 10,7 | 39,7 |
| 17:55 | – | – | 707 | 0 | 3000 | 100 | 83,9 | 397 | 14,1 | 49,2 |
| 18:22 | – | – | 709 | 0 | 4440 | 148 | 82,5 | 396 | 21,7 | 67,3 |
| 18:32 | 54,0 | 100 | 709 | 0,1 | 5000 | 166 | 79,9 | 396 | 23,6 | 81,9 |
| 19:12 | 43,2 | 99 | 708 | 0,1 | 4500 | 150 | 80,9 | 396 | 18,2 | 59,1 |
| 19:23 | 34,0 | 99 | 710 | 0,2 | 4200 | 140 | 80,9 | 397 | 15,8 | 53,0 |

Таблица 2. Скв. 2 куста 2 Ватьеганского месторождения. Запущена в работу 16.04.2017 в 14:40
 Table 2. Well No. 2 of the bush 2 of the Vatyeganskoye field. Put into operation on April 16, 2017 at 14:40

| Время Time | $Q_{ж}$, м ³ /сут | H ₂ O, % | H _{динг} , м (m) | P _{затр} , атм (atm) | N, об/мин (rpm) | F, Гц | P _{пр} , атм (atm) | U, В (V) | I, А | Загрузка питателя высокого давления (ПВД), % Load ratio of the HPP, % |
|---------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|-------|-----------------------------|----------|------|--|
| 14:40 | – | – | 1090 | 0 | 2400 | 80 | 59,5 | 386 | 12,1 | 44,0 |
| 14:42 | – | – | 1090 | 0 | 3000 | 100 | 59,9 | 383 | 16,5 | 56,6 |
| 15:41 | – | – | 1093 | 0 | 4500 | 150 | 59,7 | 378 | 21,8 | 64,5 |
| 15:57 | 27 | 100 | 1106 | 0 | 4620 | 154 | 59,8 | 378 | 20,2 | 62,8 |
| 16:25 | 36 | 100 | 1090 | 0 | 4740 | 158 | 57,8 | 379 | 18,4 | 58,7 |
| 16:32 | 43 | 100 | 1090 | 0 | 4980 | 166 | 57,8 | 377 | 19,8 | 62,0 |
| 17:12 | 28 | 100 | 1106 | 0 | 4620 | 154 | 58,3 | 380 | 17,6 | 57,0 |

вок представлены в табл. 2 и 3. Номера скважин и кустов (№ 1 и 2) – условные. Характеристика насоса ЭЦН02А представлена на рис. 2 и 3.

В данной скважине окно зарезки бокового ствола располагается на глубине 1590 м, длина бокового ствола составляет 802 м. Насосная установка была спущена на колонне насосно-компрессорных труб (НКТ) 60 мм на глубину 1660 м.

Вывод скв. 1 Ватьеганского месторождения, оснащенной установкой ЭЦН02А-25(40), на режим осуществлялся при частоте вращения вала насоса 4200 об/мин, согласно утвержденной программе и методике ОПИ. Дебит скважины, оснащенной установкой ЭЦН02А-25(40), замерялся с помощью сертифицированной промышленной установки АГЗУ «Спутник». Замеренный дебит с помощью АГЗУ «Спутник» сравнивался с результатами расчетов, выполненными на сертифицированном ПО «Автотехнолог + Соль», в которую

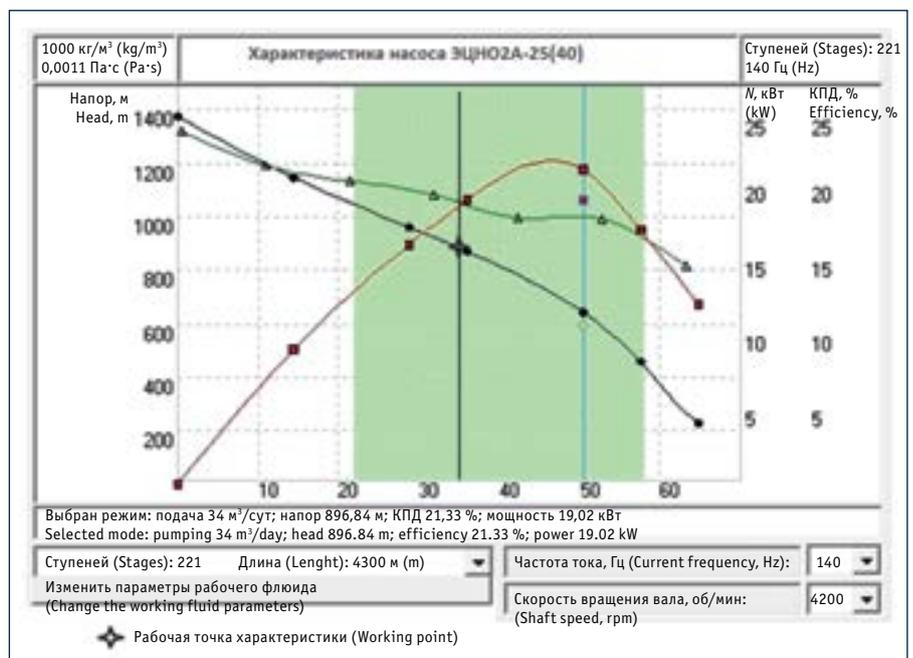


Рис. 2. Характеристики насоса ЭЦН02А-25(40), полученные при частоте вращения вала насоса 4200 об/мин

Fig. 2. Characteristics of the pump ETsN02A-25(40) obtained at frequency of rotation of the pump shaft 4200 rpm

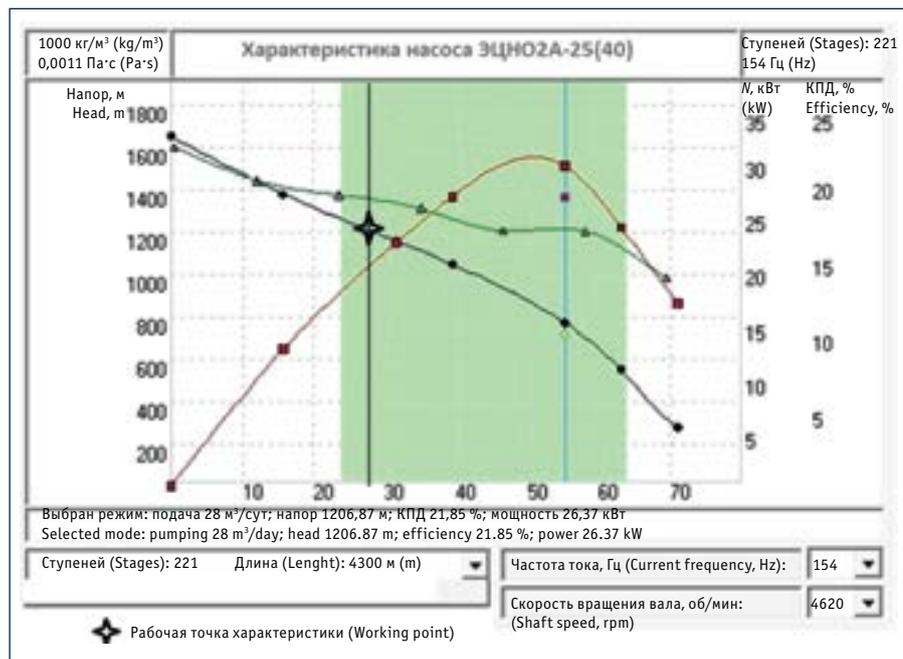


Рис. 3. Характеристики насоса ЭЦН02А-25(40), полученные при частоте вращения вала насоса 4620 об/мин

Fig. 3. Characteristics of the pump ETsN02A-25(40) obtained at frequency of rotation of the pump shaft 4620 rpm

была внесена расходно-напорная характеристика установки ЭЦН02А-25(40) (рис. 2). Расчетный дебит составил 34 м³/сут (при 99 % обводненности продукции), что практически полностью совпадает с данными по дебиту, полученными с помощью АГЗУ «Спутник». В мае 2017 г. частота вращения вала насосной установки была повышена до 5010 об/мин. По состоянию на 15 апреля 2018 г. скв. 1 работает при следующих параметрах:

- дебит жидкости – 52 м³/сут;
- обводненность продукции – 84 %;
- динамический уровень – 660 м;
- частота вращения вала установки – 5010 об/мин;
- загрузка ПЭД – 62 %;
- рабочий ток – 18,5 А.

В скв. 2 окно зарезки бокового ствола располагается на глубине 1600 м, длина бокового ствола составляет 682 м. Насосная установка была спущена на колонне НКТ 60 мм на глубину 1659 м.

Вывод скв. 2 куста 2 Ватъеганского месторождения на режим производился с помощью установки ЭЦН02А-25(40) при частоте 4620 об/мин, согласно утвержденной Программе и методике испытаний. Так же как и в первом случае, подача установки ЭЦН02А-25(40) замерялась с помощью промышленной установки АГЗУ «Спутник». Этот замер сравнивался с результатами расчетов, сделанных на ПО «Автотехнолог + Соль» (рис. 3). Расчетный дебит составил 28 м³/сут (при 100%-й обводненности продукции), что полностью совпадает с данными, полученными с помощью АГЗУ «Спутник».

ВЫВОДЫ

Вывод на режим и последующая работа насосов ЭЦН02А-25(40) подтвердили работоспособность и эффективность данного вида оборудования при использовании в боковых стволах нефтедобывающих скважин с осложненными условиями, такими как малые диаметральные габариты обсадной колонны, большие темпы набора кривизны, высокое газосодержание и большое количество механических примесей в откачиваемой жидкости. В результате проведения ОПИ центробежных насосов с открытыми рабочими колесами ЭЦН02А-25(40) были выявлены низкое потребление электроэнергии и возможность работы УЭЦН без газосепаратора, что обеспечивает снижение капитальных и текущих затрат, а также совокупной стоимости владения этим инновационным оборудованием.

Литература:

1. Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Герасимов И.Н. и др. Интеллектуальные программно-аппаратные комплексы защиты скважинного оборудования от отложения солей // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2015. № 4. С. 20–24.
2. Ивановский В.Н., Сабиров А.А. Скважинные насосные установки для добычи нефти – что нового? // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2010. № 10. С. 55–58.
3. Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Кузьмин А.В. Современные инженерные подходы к проектированию оборудования для добычи нефти и газа // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2014. № 11. С. 17–20.
4. Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Деговцов А.В. и др. Проектирование и исследование характеристик ступеней динамических насосов: Учеб. пособие. М.: Российский гос. ун-т нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. 104 с.

References:

1. Ivanovskiy V.N., Sabirov A.A., Gerasimov I.N., et al. Intelligent Hardware and Software Systems Protect Downhole Equipment from Salt Deposits. Territoriya "NEFTEGAS" = Oil and Gas Territory, 2015, No. 4, P. 20–24. (In Russian)
2. Ivanovskiy V.N., Sabirov A.A. Well Pumping Units for Oil Production – What's New? Territoriya "NEFTEGAS" = Oil and Gas Territory, 2010, No. 10, P. 55–58. (In Russian)
3. Ivanovskiy V.N., Sabirov A.A., Kuzmin A.V. Modern Engineering Approaches to Oil and Gas Production Equipment Design. Territoriya "NEFTEGAS" = Oil and Gas Territory, 2014, No. 11, P. 17–20. (In Russian)
4. Ivanovskiy V.N., Sabirov A.A., Degovtsov A.V., et al. Design and Study of Characteristics of the Stages of Dynamic Pumps. Moscow, Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2015, 104 p. (In Russian)