

УДК 678.2:[621.65+622.276.054]

А.В. Ивановский¹, e-mail: alivan95@ya.ru; **А.В. Деговцов**¹, e-mail: degovtsov.aleksey@yandex.ru;
Н.Н. Соколов¹, e-mail: sokolovnn2010@rambler.ru; **Р.Р. Хайретдинов**², e-mail: rishat.hayretdinov@lukoil.com;
А.В. Шляпчинский³, e-mail: shlyapchinskiyav@tmn.lukoil.com; **А.В. Ткач**⁴, e-mail: aleksandr.tkach@lukoil.com;
И.Г. Хасанов⁴, e-mail: aleksandr.tkach@lukoil.com

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия).

² ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» (Когалым, Россия).

³ ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», филиал «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмень (Тюмень, Россия).

⁴ ООО «ЛУКОЙЛ ЭПУ Сервис» (Когалым, Россия).

Результаты опытно-промышленных испытаний установок электроприводных лопастных насосов с открытыми рабочими колесами на объектах ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»

Для эксплуатации боковых стволов малого диаметра широко применяются электроприводные лопастные насосы. При использовании в этих насосах ступеней с открытыми рабочими колесами появляется возможность уменьшить осевые габариты и вибрационные нагрузки, возникающие в оборудовании. В статье приведены результаты опытно-промышленных испытаний установок электроприводных лопастных насосов, ступени которых имеют открытые рабочие колеса, выполненные из нержавеющей стали и алюминиевого сплава с керамическим покрытием. Внедрение насосных установок проходило на скважинах на Ватьеганском месторождении в ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь». Представлены сведения об условиях эксплуатации скважин, результаты отработки разработанного оборудования. Ступени, прошедшие опытно-промышленные испытания, прошли также проверку на изменение геометрических размеров и деградацию характеристики. Показано, что ступени из нержавеющей стали имеют минимальные изменения размеров и характеристик и могут быть повторно использованы для работы в скважинах.

Ключевые слова: боковой ствол малого диаметра, ступень электроцентробежного насоса, открытое рабочее колесо, опытно-промышленное испытание, нержавеющая сталь, алюминиевый сплав с покрытием, деградация размеров и рабочих характеристик.

.....

А.В. Ивановский¹, e-mail: alivan95@ya.ru; **А.В. Деговцов**¹, e-mail: degovtsov.aleksey@yandex.ru;
Н.Н. Соколов¹, e-mail: sokolovnn2010@rambler.ru; **Р.Р. Хайретдинов**², e-mail: rishat.hayretdinov@lukoil.com;
А.В. Шляпчинский³, e-mail: shlyapchinskiyav@tmn.lukoil.com; **А.В. Ткач**⁴, e-mail: aleksandr.tkach@lukoil.com;
И.Г. Хасанов⁴, e-mail: aleksandr.tkach@lukoil.com

¹ Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education “Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)” (Moscow, Russia).

² LUKOIL-Western Siberia LLC (Kogalym, Russia).

³ LUKOIL-Engineering LLC, KogalymNIPIneft Branch Office in Tyumen (Tyumen, Russia).

⁴ LUKOIL EPU Service LLC (Kogalym, Russia).

The Results of Pilot Testing of Electric Submersible Pump Units with Open Impellers at the Facilities of Lukoil – Western Siberia LLC

Electric-driven vane pumps are widely used for the operation of small-diameter side shafts. When using stages with open impellers in these pumps, it is possible to reduce the axial dimensions and vibration loads that occur in the equipment. In the article the results of field tests of electric-driven vane pumps, whose stages have open impellers made of stainless steel and aluminum alloy with a ceramic coating, are presented. The introduction of pumping plants was held at wells on Vatieganskoye field of LUKOIL – Western Siberia LLC. Information about the operating conditions of wells is presented,

and the results of working off the developed equipment are shown. Stages that have passed field tests have been tested for changes in geometric dimensions and degradation of characteristics. It is shown that stainless steel steps have minimal changes in size and characteristics and can be reused for work in wells.

Keywords: small-diameter side hole, stage of the electric submersible pump, open impeller, pilot test, stainless steel, coated aluminum alloy, degradation of dimensions and performance characteristics.



Рис. 1. Направляющий аппарат и рабочее колесо ЭЦН02А-25, выполненные из стали 40Х13, до опытно-промышленных испытаний
Fig. 1. Diffuser and impeller of ETcN02A-25 pump stages, made of stainless steel AISI 420, before pilot testing



Рис. 2. Направляющий аппарат и рабочее колесо ЭЦН02А-25, выполненные из алюминиевого сплава В-95-1, до опытно-промышленных испытаний
Fig. 2. Diffuser and impeller of ETcN02A-25 pump stages, made of aluminium alloy AA7075, before pilot testing

К числу технологических решений проблем, связанных с такими осложнениями при добыче нефти, как повышенное содержание свободного газа и механических примесей в пластовом флюиде, относятся установки электроприводных лопастных насосов (ЭЛН), ступени которых оснащены открытыми рабочими колесами. Эти насосы могут работать с содержанием свободного газа на приеме до 50 % и выше, меньше подвержены солеотложению, имеют малую монтажную высоту ступени, малую массу и дисбаланс ротора, что снижает уровень вибрации при работе, особенно при повышенной частоте вращения. Конструкция открытых рабочих колес позволяет использовать при их изготовлении инновационные материалы и технологии, что увеличивает эффективность работы оборудования в осложненных условиях, а также позволяет снизить себестоимость их изготовления [1].

На кафедре «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности» РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина была спроектирована ступень с от-

крытым рабочим колесом для насоса ЭЦН02А-25, предназначенного для работы в боковых стволах скважин с наружным диаметром обсадной колонны 102 мм. При изготовлении ступеней была применена технология механической обработки на многшпindelных 4- и 5-координатных обрабатывающих центрах, позволившая использовать в качестве конструкционного материала нержавеющую сталь 40Х13 [2] (рис. 1) и алюминиевый сплав В-95Т [3] с нанопокрывением, полученным способом микродугового оксидирования (МДО) (рис. 2) [4].

Малая монтажная высота, составляющая около 17,5 мм, позволяет размещать в 4-метровом корпусе насосной секции (модуля) 220–225 ступеней.

После успешного завершения стендовых испытаний в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина и на стенде тестирования электроприводных центробежных насосов на базе ООО «Иж-нефтепласт» насосные секции насосов ЭЦН02А-25 (40) были направлены на объекты ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», где были проведены опытно-



Рис. 3. Неочищенное рабочее колесо ЭЦН02А-25 после опытно-промышленных испытаний
Fig. 3. Uncleaned impeller of ETcN02A-25 pump stages after pilot testing

промышленные испытания. Они продемонстрировали низкое потребление электроэнергии при использовании центробежных насосов с открытыми рабочими колесами ЭЦН02А-25 (40), а также возможность работы установок без газосепаратора, что обеспечивает снижение капитальных и текущих затрат, а также совокупной стоимости владения оборудованием [1].

Одна из двух насосных установок проработала до отказа 551 сут при уста-

Ссылка для цитирования (for citation):

Ивановский А.В., Деговцов А.В., Соколов Н.Н., Хайретдинов Р.Р., Шляпчинский А.В., Ткач А.В., Хасанов И.Г. Результаты опытно-промышленных испытаний установок электроприводных лопастных насосов с открытыми рабочими колесами на объектах ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь» // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2020. № 1–2. С. 56–62.

Ivanovskiy A.V., Degovtsov A.V., Sokolov N.N., Khayretdinov R.R., Shlyapchinskiy A.V., Tkach A.V., Khasanov I.G. The Results of Pilot Testing of Electric Submersible Pump Units with Open Impellers at the Facilities of Lukoil – Western Siberia LLC. Territorija "NEFTEGAS" [Oil and Gas Territory]. 2020;(1–2): 56–62. (In Russ.)

Таблица 1. Масса деталей ступеней насоса ЭЦН02А-25(40) из стали 40Х13
Table 1. Weight of ETcN02A-25 pump stage elements, made of stainless steel AISI 420

№	Рабочие колеса Impellers			Направляющие аппараты Diffusers		
	Масса до опытно-промышленных испытаний, г Weight before pilot testing, g	Масса после опытно-промышленных испытаний, г Weight after pilot testing, g	Потери массы, % Weight loss, %	Масса до опытно-промышленных испытаний, г Weight before pilot testing, g	Масса после опытно-промышленных испытаний, г Weight after pilot testing, g	Потери массы, % Weight loss, %
1	42,89	39,43	8,07	114,5	108,1	5,59
2	39,52	38,92	1,52	114,8	106,5	7,23
3	42,33	39,43	6,85	114,1	108	5,35
4	41,57	39,88	4,07	114,5	114,1	0,35
5	42,15	39,96	5,20	114,4	104,1	9,00
6	42,21	40,49	4,07	114,6	108,5	5,32



Рис. 4. Рабочие органы ступени ЭЦН02А-25 из алюминиевого сплава В-95-1:
а) рабочее колесо; б) направляющий аппарат; в) сборка нескольких ступеней
Fig. 4. Working bodies of ETcN02A-25 pump stages, made of aluminium alloy AA7075:
a) impeller; b) diffuser; c) multi-stage assembly



Рис. 5. Рабочие колеса ступени ЭЦН02А-25 из стали 40Х13
Fig. 5. Impellers of ETcN02A-25 pump stages, made of stainless steel AISI 420

новленной продолжительности опытно-промышленных испытаний 180 сут. Причиной остановки работы оборудования стало снижение дебита скважины.

В результате ревизии поднятой на поверхность установки было обнаружено, что:

- вращение вала насосной секции отсутствует (клин);
- шлицевые части вала насосной секции в норме;
- есть отложения в каналах верхнего радиального подшипника и на внутренних поверхностях концевых деталей насоса.

Разбор насоса без применения разрушающих методов не представлялся возможным, в связи с чем для извлечения ступеней был произведен поперечный разрез корпуса.

По итогам испытаний отмечено, что рабочие колеса ступеней из алюминиевого сплава В-95-1 подверглись гидроабразивному и коррозионному износу до полного разрушения (рис. 4а). Направляющие аппараты частично промыты, визуально наблюдается отслоение покрытия (рис. 4б и 4в). Таким образом, отбраковке подлежало 97 % ступеней из данного материала.

Обследование ступеней из стали 40Х13 показало наличие незначительного механического износа рабочих колес, а также незначительные отложения солей и механических примесей на поверхности рабочих колес (рис. 5) и направляющих аппаратов.

Были отмечены следы гидроабразивного износа на внутренней поверхности корпуса насоса в виде промоин в месте стыковки направляющих аппаратов из алюминиевого сплава В-95-1 и из стали 40Х13.

С деталей насоса были собраны пробы отложений и переданы в лабораторию для химико-аналитических исследований в ООО «Центр научно-исследовательских и производственных работ» (Когалым).

Химический анализ отобранных с рабочих органов ступеней проб показал наличие:

- органической части – нефтепродукты и остатки нефти (≈ 10 %);

Cabex — энергия успеха



ufi
Approved
Event

Cabex

19-я Международная выставка
кабельно-проводниковой
продукции

17–19 марта 2020 года
Москва, КВЦ «Сокольники»

- Кабели и провода
- Кабельная арматура
- Электромонтажные изделия
- Электротехнические изделия
- Оборудование для монтажа, переработки кабеля
- Материалы для производства кабеля

Рисунки

Получите электронный
билет по промокоду
M99-NA-3486



Организаторы



Международная
Выставочная
Компания

+7 (495) 252 11 07
cabex@imvk.ru



АССОЦИАЦИЯ
ЭЛЕКТРОКАБЕЛЬ

ОАО «ИВМК»

Генеральный
информационный партнер

RusCable.Ru

Энергетика, Электротехника, Связь,
Партнер отраслевой ассоциации ОАО «ИВМК» (ИВМК)

Специальный
отраслевой партнер



Таблица 2. Основные размеры направляющих аппаратов ступеней насоса ЭЦН02А-25(40) из стали 40Х13

Table 2. Main dimensions of ETcN02A-25 pump stage diffusers, made of stainless steel AISI 420

№ аппарата No of diffuser	Параметр Parameter							
	Внешний диаметр, мм External diameter, mm		Диаметр под втулку, мм Bushing diameter, mm		Высота аппарата, мм Diffuser height, mm		Диаметр под шайбу, мм Downthrust washer diameter, mm	
	До опытно-промышленных испытаний Before pilot testing	После опытно-промышленных испытаний After pilot testing	До опытно-промышленных испытаний Before pilot testing	После опытно-промышленных испытаний After pilot testing	До опытно-промышленных испытаний Before pilot testing	После опытно-промышленных испытаний After pilot testing	До опытно-промышленных испытаний Before pilot testing	После опытно-промышленных испытаний After pilot testing
1	59,96	59,96	18,99	18,99	18,04	18,04	21,46	21,46
2	59,92	59,92	18,98	18,98	18,06	18,06	21,46	21,46
3	59,95	59,95	18,95	18,95	18,05	18,05	21,47	21,47
4	59,96	59,96	18,91	18,91	18,05	18,05	21,46	21,46
5	59,97	59,97	18,97	18,97	18,12	18,12	21,44	21,44
6	59,96	59,96	18,95	18,95	18,10	18,10	21,45	21,45

Таблица 3. Основные размеры рабочих колес ступеней насоса ЭЦН2А-25(40) из стали 40Х13

Table 3. Main dimensions of ETcN02A-25 pump stage impellers, made of stainless steel AISI 420

№ колеса No of impeller	Параметр Parameter														
	Высота, мм Impeller height, mm			Диаметр втулки, мм Bushing diameter, mm			Диаметр под вал, мм Shaft diameter, mm			Высота лопаток, мм Blade height, mm			Толщина лопаток, мм Blade thickness, mm		
	До опытно-промышленных испытаний Before pilot testing	После опытно-промышленных испытаний After pilot testing	Δ, %	До опытно-промышленных испытаний Before pilot testing	После опытно-промышленных испытаний After pilot testing	Δ, %	До опытно-промышленных испытаний Before pilot testing	После опытно-промышленных испытаний After pilot testing	Δ, %	До опытно-промышленных испытаний Before pilot testing	После опытно-промышленных испытаний After pilot testing	Δ, %	До опытно-промышленных испытаний Before pilot testing	После опытно-промышленных испытаний After pilot testing	Δ, %
1	13,46	13,45	0,07	18,95	18,78	0,90	12,69	12,69	0,00	5,47	5,05	7,68	1,82	1,78	2,20
2	13,45	13,44	0,07	18,94	18,82	0,63	12,68	12,68	0,00	5,53	5,07	8,32	1,81	1,79	1,10
3	13,44	13,41	0,22	18,94	18,81	0,69	12,7	12,7	0,00	5,49	5,02	8,56	1,79	1,75	2,23
4	13,45	13,42	0,22	18,93	18,84	0,48	12,69	12,69	0,00	5,47	5,03	8,04	1,8	1,77	1,67
5	13,43	13,42	0,07	18,89	18,7	1,01	12,71	12,71	0,00	5,5	5,05	8,18	1,8	1,79	0,56
6	13,44	13,43	0,07	18,94	18,83	0,58	12,7	12,7	0,00	5,5	5,02	8,73	1,81	1,76	2,76

• неорганической части: соли – карбонаты железа, кальция и магния ($\Sigma \approx 50\%$), оксиды железа ($\approx 5\%$), сульфиды железа ($\approx 10\%$);

• нерастворимого остатка – серого порошка ($\approx 20\%$) и механических примесей – кварцевого песка ($\approx 5\%$).

В табл. 1 представлены значения массы рабочих колес и направляющих аппара-

тов ступеней, участвовавших в опытно-промышленных испытаниях, в табл. 2 – основные размеры рабочих органов.

В результате испытаний была определена геометрия рабочих органов ЭЛН:

1) в рабочих колесах:

- диаметр под вал не изменился;
- диаметр втулок уменьшился в пределах 1 %;

• толщина лопаток уменьшилась в пределах до 3 %;

• высота лопаток уменьшилась не более чем на 9 %;

2) в направляющих аппаратах все геометрические размеры остались без изменений.

Анализ изменений геометрических размеров рабочих органов ЭЛН из ста-

ли 40X13 позволил сделать предварительный вывод о незначительной деградации характеристик насоса в результате промысловых испытаний. Деградация характеристик будет связана с уменьшением коэффициента полезного действия (КПД) за счет снижения объемного КПД, что обусловлено уменьшением диаметра втулок рабочих колес и, соответственно, увеличением объемных потерь от рециркуляции жидкости между ступенями, и гидравлического КПД, что связано с увеличением зазоров между колесом и аппаратом, а также образованием дополнительных вихрей [5].

Для определения возможности повторного использования ступеней, выполненных из стали 40X13 и прошедших опытно-промысловые испытания, по критерию сохранения рабочих характеристик ступени были испытаны на горизонтальном стенде в соответствии с рекомендациями [6]. По результатам испытаний получена комплексная характеристика. Схема испытательного стенда представлена на рис. 6 [7, 8].

В ходе испытаний количество уровней расходов жидкости (подачи насоса) составляло не менее восьми. Испытания начинались при полностью закрытой задвижке на нагнетательном патрубке 7 (рис. 6) и проводились до режима «полностью открытая задвижка». Число повторов экспериментов, составляющих серию для построения осредненной комплексной характеристики, было равно пяти. При испытании в сборке использовалось шесть рабочих ступеней. Частота вращения вала электродвигателя поддерживалась с помощью частотного преобразователя на уровне 2910 об/мин [8]. При испытаниях на стенде определялись:

- величины давления жидкости на входе и выходе из сборки ступеней;
- расход модельной жидкости;
- момент на валу стенда, частота вращения ротора насоса.

На основании этих величин были построены напорно-расходная и энергетическая характеристики ступеней (зависимость напора H и КПД насоса η от расхода Q описывается как $H = f(Q)$, $\eta = f(Q)$). Напорно-расходная и энергетическая характеристики ступеней

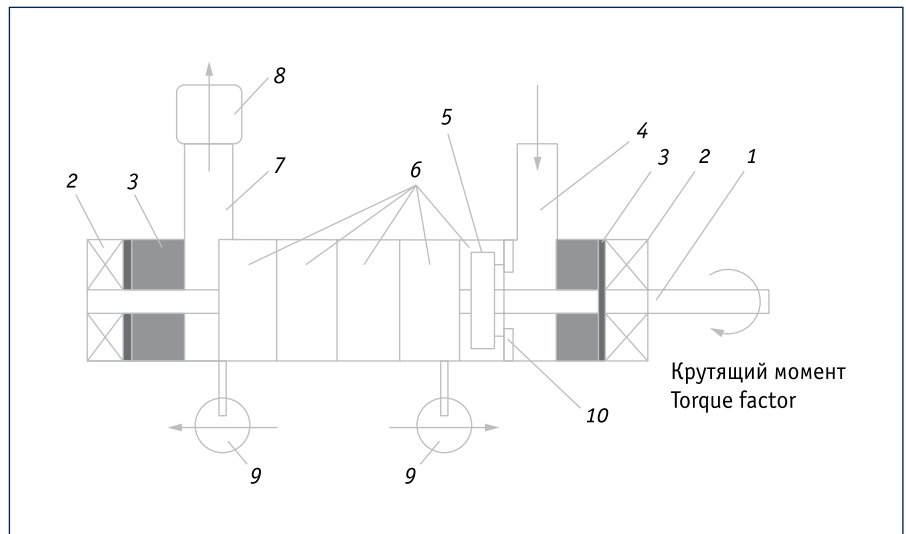


Рис. 6. Схема стенда для испытания ступеней электролопастного насоса:

- 1 – приводной вал; 2 – подшипник вала; 3 – уплотнительный узел вала; 4 – входной патрубок; 5 – рабочее колесо; 6 – направляющие аппараты; 7 – нагнетательный патрубок; 8 – расходомер; 9 – манометры; 10 – узел опоры рабочего колеса на направляющий аппарат

Fig. 6. Diagram of test bench for ESP stages:

- 1 – drive shaft; 2 – shaft bearing; 3 – shaft seal assembly; 4 – inlet; 5 – impeller; 6 – guide vanes; 7 – discharge nozzle; 8 – flowmeter; 9 – pressure gauges; 10 – impeller bearing assembly on the guide vanes

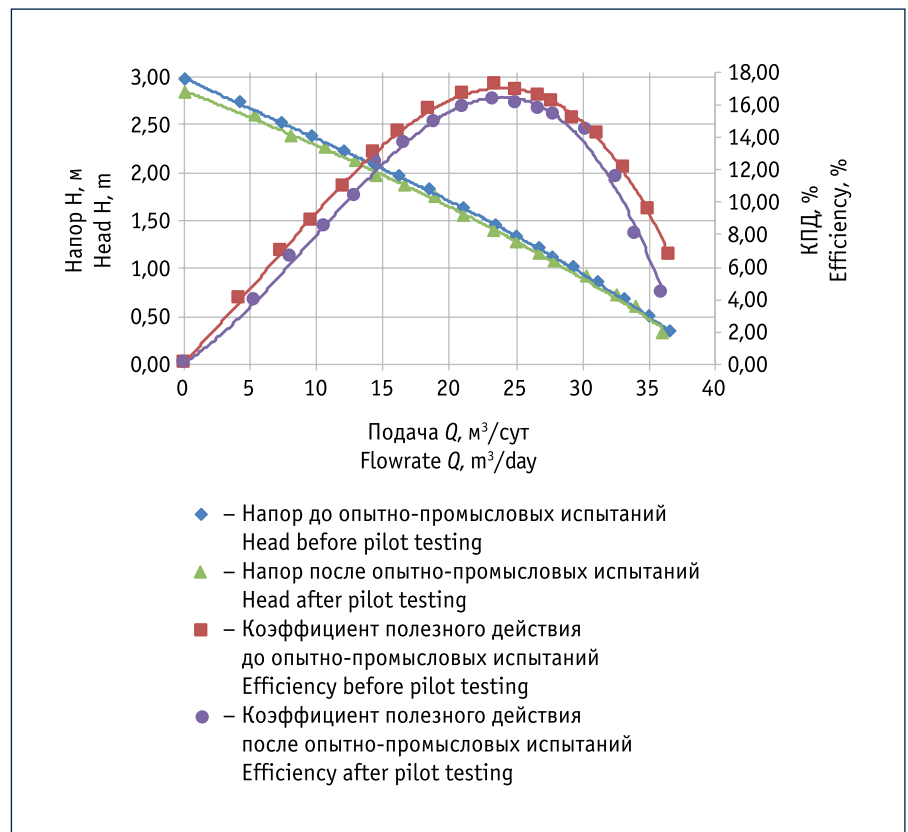


Рис. 7. Напорно-расходная и энергетическая характеристики ступеней ЭЦН02А-25 до и после опытно-промысловых испытаний (частота вращения вала – 2910 об/мин)

Fig. 7. Head-flowrate and energy characteristics of ETcN02A-25 pump stages before and after pilot testing (shaft speed is 2910 rpm)



ЭЦН02А-25 (40), полученные в результате испытаний на горизонтальном стенде, представлены на рис. 7.

Анализ результатов испытаний подтвердил предварительный вывод: после опытно-промысловых испытаний характеристики ступеней из нержавеющей стали практически не изменились. Оптимальная подача ступени ЭЦН02А-25 не изменилась и составляла 25 м³/сут, прочие параметры изменились в пре-

делах статистической погрешности. К примеру, при оптимальной подаче напор ступени снизился на 5 %, КПД в оптимальном режиме уменьшился на 1,2 пункта, с 17,18 до 15,98 %.

ВЫВОДЫ

1. Конструкция ступеней с открытыми рабочими колесами является работоспособной. Малые монтажная высота ступеней и масса ротора насоса позво-

ляют использовать короткие насосные секции, работающие при высоких частотах вращения (до 6000 об/мин). Насосные секции с открытыми рабочими колесами имеют низкое энергопотребление и в большинстве случаев не требуют использования газосепараторов.

2. Ступени с открытыми рабочими колесами, изготовленные из нержавеющей стали 40Х13, имеют низкую отбраковку по геометрическим и массовым критериям. Характеристика ступеней, отработавших в скважине более 500 сут, практически не отличается от характеристики новых ступеней, что позволяет использовать указанные ступени для повторной работы в скважине.

3. Не рекомендовано использовать ступени скважинных лопастных насосов из алюминиевого сплава В-95-1 с микродуговым оксидированием поверхности для работы в скважинных насосных установках, поставляемых в соответствии с Едиными техническими требованиями нефтяных компаний.

Литература:

1. 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.
2. ГОСТ 5632-2014. Нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки (с изм. № 1) [Электронный источник]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200113778> (дата обращения: 25.02.2020).
3. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки (с изм. № 1–3, с поправками) [Электронный источник]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003141> (дата обращения: 25.02.2020).
4. Ивановский В.Н., Кузьмин А.В., Матвеев А.В. и др. О возможности использования алюминиевых сплавов для изготовления ступеней ЭЦН // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2017. № 5. С. 33–39.
5. Касьянов В.М. Гидромашины и компрессоры: учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, 1981. 295 с.
6. ГОСТ 6134-2007 (ISO 9906:2007). Насосы динамические. Методы испытаний [Электронный источник]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200060193> (дата обращения: 25.02.2020).
7. Янгулов П.Л. Усовершенствование методики определения характеристики центробежных насосов для добычи нефти при работе на вязкой жидкости: дис. ... канд. техн. наук. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2013. 199 с.
8. Деговцов А.В., Соколов Н.Н., Ивановский А.В. и др. О влиянии вязкости перекачиваемой жидкости на комплексную характеристику малогабаритных ступеней установок электроцентробежных насосов с открытыми рабочими колесами // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2018. № 1–2. С. 54–60.

References:

1. Bortnikov A.E., Ivanovskiy V.N., Kuzmin A.V. et al. 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;(4):28-32. (In Russ.)
2. Interstate Standard (GOST) 5632-2014. Stainless Steels and Corrosion Resisting, Heat-Resisting and Creep Resisting Alloys. Grades. Weblog. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200113778> [Accessed 25th February 2020]. (In Russ.)
3. Interstate Standard (GOST) 4784-97. Aluminium and Wrought Aluminium Alloys. Grades. Weblog. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200003141> [Accessed 25th February 2020]. (In Russ.)
4. Ivanovskiy V.N., Kuzmin A.V., Matveev A.V. et al. On the Possibility of Using Aluminum Alloys for Manufacturing ECN stages. Oborudovaniye i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa [Equipment and Technologies for Oil And Gas Industry]. 2017;(5):33–39. (In Russ.)
5. Kasyanov V.M. Hydraulic Machines and Compressors: textbook for universities. 2nd edition, updated and revised. Moscow: Nedra; 1981. (In Russ.)
6. Interstate standard (GOST) 6134-2007 (ISO 9906:2007). Rotodynamic Pumps. Test Methods. Weblog. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200060193> [Accessed 25th February 2020]. (In Russ.)
7. Yangulov P.L. Improvement of the Method for Determining the Characteristics of Centrifugal Pumps for Oil Production when Working on a Viscous Liquid. Candidate's Thesis in Engineering Sciences. Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas; 2013. (In Russ.)
8. Degovtsov A.V., Sokolov N.N., Ivanovskiy A.V. et al. On the Influence of the Pumped Liquid Viscosity on the Complex Characteristics of Small-Sized Stages of Electric Submersible Pumps with Open Impellers. Territorija "NEFTEGAS" [Oil and Gas Territory]. 2018;(1–2):54–60. (In Russ.)