

# **Бурение скважин и разработка месторождений**

---

## ***Drilling of wells and fields development***

*2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений  
(технические науки)*

УДК 622.243.27.05  
DOI: 10.31660/0445-0108-2022-6-73-82

### **Исследование бесштанговой технологии добычи нефтегазового флюида в искривленных скважинах**

**А. Н. Лищук<sup>1\*</sup>, С. А. Леонтьев<sup>2</sup>, Д. О. Степанов<sup>3</sup>, А. Т. Нагиев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>АО «Группа ГМС», Москва, Россия

<sup>2</sup>Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

<sup>3</sup>Филиал АО «ГМС Нефтемаш», Москва, Россия

\*lan@hms.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты опытно-промышленных испытаний плунжерной погружной насосной установки на наклонно направленной скважине Ромашкинского месторождения. Сравниваются эксплуатационные параметры (потребления электроэнергии и развиваемого момента приводом при работе в установившемся режиме) бесштанговой технологии добычи нефти с применением установок штанговых глубинных насосов и традиционных станков-качалок.

Подробно рассматриваются инклинометрические параметры ствола скважины, приводятся определенные характеристики энергопотребления, а также данные по развивающемуся в процессе работы крутящему моменту на валу привода опытной плунжерной погружной насосной установки, полученные во время прохождения промышленных испытаний.

Рассмотрев полученные экспериментальные результаты, авторы статьи сделали вывод, что новая бесштанговая технология добычи нефти принципиально доказывает свою работоспособность в условиях эксплуатации в наклонно направленной скважине, а энергетические показатели подтверждают эффективность и в данном случае значительно превосходят установки на базе штанговых глубинных насосов.

**Ключевые слова:** бесштанговая технология, механизированные способы добычи нефти, плунжерное насосное оборудование, энергопотребление

**Для цитирования:** Исследование бесштанговой технологии добычи нефтегазового флюида в искривленных скважинах / А. Н. Лищук, С. А. Леонтьев, Д. О. Степанов, А. Т. Нагиев. – DOI 10.31660/0445-0108-2022-6-73-82 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 6. – С. 73–82.

### **Investigating the rodless technology of oil and gas fluid production in deviated wells**

**Alexander N. Lishchuk<sup>1\*</sup>, Sergey A. Leontiev<sup>2</sup>, Dmitry O. Stepanov<sup>3</sup>,  
Ali T. Nagiev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>HMS Group JSC, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>3</sup>Branch of HMS Neftemash JSC, Moscow, Russia

\*lan@hms.ru

**Abstract.** The article presents the results of field trials of an experimental plunger submersible pumping unit on a directional well at the Romashkino oil field. The authors compare the performance parameters (electricity consumption and torque developed by the drive during steady-state operation) of the rodless oil production technology to the use of rod pump units and traditional pumping units.

It is dealt with the inclinometric parameters of the wellbore, certain characteristics of energy consumption, as well as data on the torque developed during operation on the drive shaft of an experimental plunger submersible pumping unit obtained during field trials.

The authors of the article considered the experimental results obtained and came to the conclusion that the new rodless technology of oil production fundamentally proves its performance under operating conditions in a directional well, and the energy indicators confirm the efficiency and significantly exceed installations based on rod pumps.

**Keywords:** rodless technology, mechanized methods of oil production, plunger pumping equipment, energy consumption

**For citation:** Lishchuk, A. N., Leontiev, S. A., Stepanov, D. O., & Nagiev, A. T. (2022). Investigating the rodless technology of oil and gas fluid production in deviated wells. Oil and Gas Studies, (6), pp. 73-82. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2022-6-73-82

## Введение

В настоящее время в условиях осложненной эксплуатации скважин (низкий приток флюида, низкая проницаемость и неоднородность эксплуатационных объектов, сложный профиль скважин) снижается надежность работы стандартного глубинно-насосного оборудования (ГНО). Это приводит к необходимости поиска новых механизированных способов добычи нефти [1–13].

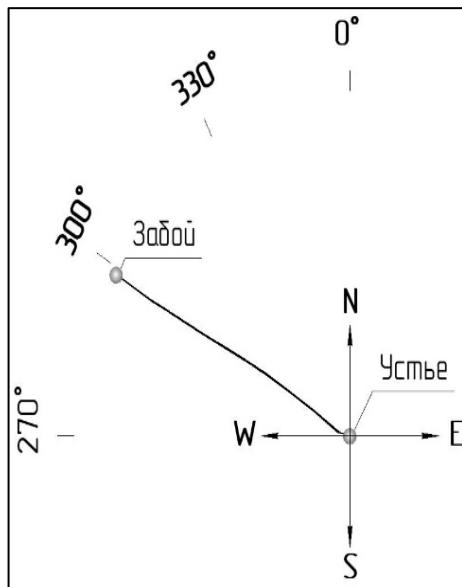
В данной статье приводятся результаты опытно-промышленных испытаний по применению бесштанговой технологии с применением плунжерного насосного оборудования на скважине Ромашкинского месторождения. Данная технология сравнивается с традиционным способом добычи с применением установок штанговых глубинных насосов (УШГН) и традиционных станков-качалок.

## Объект и методы исследования

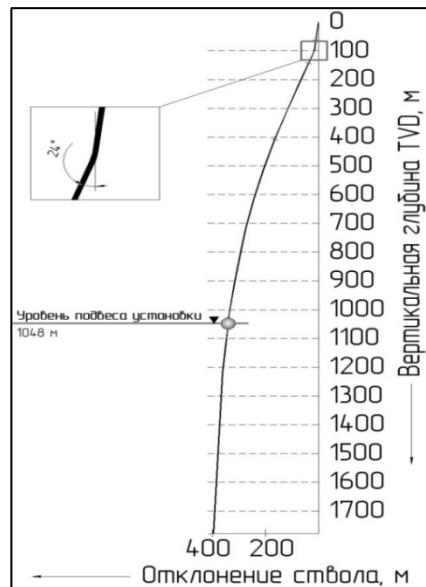
Работоспособность узлов бесштанговой установки почти не зависит от ее пространственной ориентации и создает возможность для реализации освоения наклонно направленных скважин. Разработанную технологию исследовали на нефтяной скважине Ромашкинского месторождения, инклинометрические данные которой представлены на рисунках 1 и 2.

Рассматриваемая скважина имеет четырехинтервальный профиль с участком набора параметров кривизны на глубинах 100–200 м при максимальной интенсивности набора кривизны, что является критичным показателем для профиля наклонно направленной скважины [14–18]. На практике добыча штанговым методом в скважинах подобного типа часто сопровож-

дается обрывом штанг на глубинах около 100–200 метров в интервале увеличения зенитного угла (табл. 1).



*Рис. 1. Азимутальная ориентировка ствола*



*Рис. 2. Инклинометрические данные скважины апробации*

*Таблица 1*

*Параметры четырехинтервального профиля скважины*

Длина скважины по стволу, м	Зенитный угол, град.	Азимут, град.	Отклонение от вертикали, м
0	0	0	0
100	10	285	5,3
200	24	304	30,3
300	23,3	302	70,6
400	22,3	301	109,7
500	20	298	145,8
600	18	297	178,4
700	16	296	203
800	13,3	297	233,4
900	12,3	298	255,9
1 000	11,3	297	277,5
1 100	9,3	296	295,9
1 200	9	298	312,1
1 300	8,45	302	327,6
1 400	8,15	300	342,2
1 500	8	300	356,3
1 600	10	303	371
1 700	8,15	306	387
1 780	6	300	397

В нашем случае при отсутствии глубинных штанг события их обрыва исключаются. При этом энергия на подъем продукции из скважины с глубины 1 048 метров (место расположения бесштанговой установки) расходуется только на перемещение плунжера насоса, так как не требуется ее расход на преодоление силы трения.

### Экспериментальная часть

Известно [13], что надежность и работоспособность штанговой колонны напрямую зависит от профиля скважины. При эксплуатации УШГН в пространственно искривленных стволах повышаются риски, связанные с обрывом или отворотом штанг, что приводит к срыву подачи скважинной продукции и аварийной остановке добычи нефти. Указанные аварийные ситуации возникают в результате действия циклических факторов, вызванных силами трения штанги о колонну, изгибающими и крутящими моментами, обусловленными кривизной профиля скважины, а также растягивающими нагрузками [19], воспринимаемыми штангами в момент изменения направления движения колонны.

Зависимость силы трения воспринимаемой штангой от угла пространственного искривления ствола скважины выглядит следующим образом:

$$P_{mp} = f \cdot \beta \cdot (P_{\text{ж}} + K_{nl} \cdot P_u), \quad (1)$$

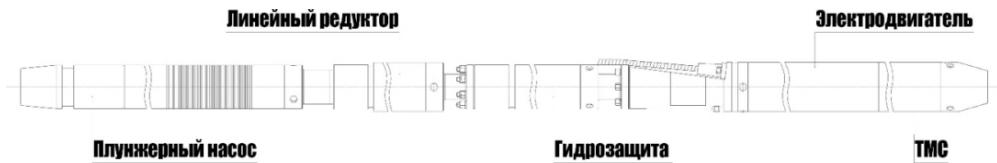
где  $f$  — коэффициент трения штанги о трубу;  $\beta$  — угол пространственного искривления ствола;  $P_{\text{ж}}$  — вес жидкости, Н;  $K_{nl}$  — коэффициент плавучести штанги;  $P_u$  — вес штанги в воздухе, Н.

Эмпирически полученные результаты замеров на скважинах с различными инклинометрическими характеристиками [20] показывают количественное значение силы  $P_{mp}$  в диапазоне от 9 до 32 кН. То есть, помимо очевидных негативных последствий эксплуатации под воздействием данной силы, ведущей к истиранию штанг насосных установок и разрушению тела ствола скважины, имеются существенные энергетические потери на ее преодоление, в отдельных случаях, при рассмотрении малодебитного сектора оборудования, увеличивающие потребляемую мощность насосной установки в 1,5–2,0 раза.

Экспериментально установленное максимальное значение крутящего момента напрямую не является критичным, около 6 Н·м, при этом оно также может стать осложняющим фактором при невнимательности во время монтажа колонны штанг, связанной с недостаточным моментом затяжки резьбовых соединений [19].

Очевидно, что в случае использования предлагаемой концепции эксплуатации малодебитного фонда скважин — технологии с применением погружной плунжерной насосной установки, в составе которой отсутствуют глубинные штанги, исключается возможность возникновения описан-

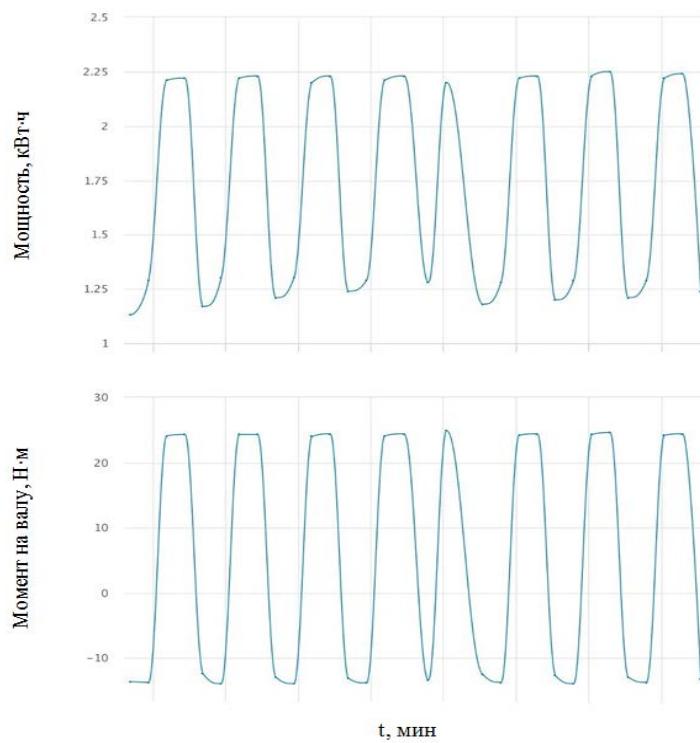
ных выше негативных факторов. Отсутствие традиционного станка-качалки, в свою очередь, влечет к снижению энергозатрат и металлоемкости всей установки по добыче нефти. На рисунке 3 приведена схема данной установки [21].



*Рис. 3. Схема погружной нефтяной плунжерной насосной установки*

В состав рассматриваемой насосной установки входят следующие основные технические узлы: насос плунжерный ННЛ; гидромеханический погружной редуктор ГМПР; гидрозащита ГТМА5ЛДЭ; электродвигатель ПЭДТ; система погружной телеметрии ТМС; станция управления ОСА; трансформатор ТМПН; удлинитель кабельный КЭСБП; кабельная линия КПБП.

## Результаты



*Рис. 4. График потребления электроэнергии и развивающегося момента приводом при работе в установившемся режиме*

В течение 6 месяцев в рамках опытно-промышленных испытаний на скважине проводили регистрацию характеристик по потребляемой мощности и развивающему моменту привода установки в процессе испытаний новой погружной плунжерной насосной установки на режиме добычи 3,0–3,5 м<sup>3</sup>/сут при 3–5 % обводненности. Газовый фактор незначителен, его влиянием пренебрегли. Полученные данные приведены на рисунке 4.

Из предложенных к рассмотрению графиков видно, что электроэнергия в процессе добычи скважинного флюида в установившемся режиме потребляется циклически равномерно, стабильно по времени и без рывков. Из экспериментальных данных видно среднее значение — 1,75 кВт·ч.

### **Выводы**

Новая бесштанговая технология добычи нефти принципиально показала свою высокую работоспособность в условиях эксплуатации наклонно направленной скважины. Очевидно, что конструкция ГНО исключает срыв подачи скважинной продукции из-за обрыва штанг, при этом продемонстрированы низкие показатели энергопотребления на уровне 12–14 кВт на кубический метр добываемой продукции в сутки, что более чем в два раза ниже, чем на режимах с помощью УШГН. Ранее определенные параметры энергопотребления добычи нефти на этой же скважине при одинаковых режимах, но традиционным способом добычи с УШГН и с участием глубинных штанг и станка-качалки составили значение 32,1 кВт на кубический метр добываемой продукции в сутки. Полученные данные хорошо коррелируют с вышеупомянутыми данными [20] об увеличенной потребляемой мощности насосной установки в 1,5–2,0 раза из-за использования штанг и их трения о стенки эксплуатационной колонны.

*Авторы приносят благодарность С. В. Иванову и К. В. Филиппову за помощь в проведении промысловых работ.*

### **Список источников**

1. Мищенко, И. Т. Скважинная добыча нефти : учебное пособие / И. Т. Мищенко. – Москва : Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. – 816 с. – Текст : непосредственный.
2. Мищенко, И. Т. Выбор рационального способа эксплуатации скважин нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами / И. Т. Мищенко, Т. Б. Бравичева. – Москва : РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2002. – 120 с. – Текст : непосредственный.
3. Мищенко, И. Т. Выбор способа эксплуатации скважин нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами / И. Т. Мищенко, Т. Б. Бравичева, А. И. Ермолаев. – Москва : Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2005. – 448 с. – Текст : непосредственный.
4. Адонин, А. Н. Процессы глубиннонасосной нефтедобычи / А. Н. Адонин. – Москва : Недра, 1964. – 264 с. – Текст : непосредственный.

5. Якупов, Р. Н. Результаты опытной эксплуатации электроцентробежных насосов со станциями управления нового поколения / Р. Н. Якупов, Р. Р. Халимов, К. Х. Вильданов // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 8. – С. 86–88. – Текст : непосредственный.
6. Кратковременно-периодическая работа скважин на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь». Опыт внедрения и перспективы развития / А. Ф. Абдуллин, И. К. Абдулин, Е. В. Соколянская, В. В. Юдчиц. – DOI 10.30713/0207-2351-2018-10-20-25. – Текст : непосредственный // Нефтепромысловое дело. – 2018. – № 10. – С. 20–25.
7. Дудин, Е. Ю. Выбор и обоснование оптимальных показателей работы УЭЦН, в режиме периодической эксплуатации на месторождениях России : магистерская диссертация / Е. Ю. Дудин ; Томский политехнический университет. – Томск, 2019. – 127 с. – Текст : непосредственный.
8. Сухотеплый, В. П. Приводы на основе вентильных электродвигателей в составе УЭЦН при эксплуатации малодебитного фонда скважин / В. П. Сухотеплый. – Текст : непосредственный // Инженерная практика. – 2010. – № 7. – С. 91–95.
9. Ивановский, В. Н. Максимально и минимально допустимые частоты вращения ротора УЭЦН при регулировании добывных возможностей с помощью частотных преобразователей / В. Н. Ивановский. – Текст : непосредственный // XII Всероссийская техническая конференция «Производство и эксплуатация УЭЦН», Альметьевск, 27–30 сентября 2004 г. – Альметьевск, 2004. – С. 6–23.
10. Сундетов, М. Е. Определение эффективности периодической эксплуатации малодебитного фонда скважин на примере Шингинского месторождения / М. Е. Сундетов. – Текст : непосредственный // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина. – Том 2. – Томск : Томский политехнический университет, 2016. – С. 1096–1099.
11. Демьянова, Л. А. Теория, экспериментальные исследования и расчет струйных аппаратов при откачке газожидкостных смесей : учебное пособие / Л. А. Демьянова, А. Н. Дроздов. – Москва : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2000. – 184 с. – Текст : непосредственный.
12. Ишмурзин, А. А. Энергосберегающие технологии добычи нефти из малодебитных наклонно-направленных скважин / А. А. Ишмурзин, И. Т. Мищенко. – Уфа : Нефтегазовое дело, 2008. – 238 с. – Текст : непосредственный.
13. Справочник по добыче нефти / К. Р. Уразаков, Э. О. Тимашев, В. А. Молчанова, М. Г. Волков. – Пермь : Астер Плюс, 2020. – 600 с. – Текст : непосредственный.
14. Калинин, А. Г. Искривление скважин / А. Г. Калинин. – Москва : Недра, 1974. – 304 с. – Текст : непосредственный.
15. Бурение наклонных и горизонтальных скважин : справочник / А. Г. Калинин, Б. А. Никитин, К. М. Солодкий, Б. З. Султанов. – Москва : Недра, 1997. – 647 с. – Текст : непосредственный.
16. Проектирование профиля и конструкции наклонно направленной пологой скважины / С. А. Оганов, Г. С. Абдрахманов, А. В. Перов, Г. С. Оганов. – Текст : непосредственный // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и море. – 1998. – № 12. – С. 3–8.

17. Технологии и технологические средства бурения искривленных скважин : учебное пособие / В. П. Овчинников, М. В. Двойников, Г. Т. Герасимов, А. Ю. Иванцов ; Федеральное агентство по образованию, Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2008. – 150 с. – Текст : непосредственный.
18. Проектирование профилей с интервалом безориентируемого набора кривизны ствола скважины / К. Н. Харламов, В. П. Ерохин, В. Г. Долгов [и др.]. – Текст : непосредственный // Сборник тезисов Междунар. НКТ «Ресурсосбережение в топливно-энергетическом комплексе России». – Тюмень, 1992. – С. 24.
19. Ишмуразин, А. А. Напряжение и деформации штанговой колонны в пространственно искривленной скважине / А. А. Ишмуразин. – Текст : непосредственный // Нефтегазовое дело. – 2006. – Т. 4, № 1. – С. 65–72.
20. Уразаков, К. Р. Эксплуатация наклонно направленных насосных скважин / К. Р. Уразаков. – Москва : Недра, 1993. – 168 с. – Текст : непосредственный.
21. Патент на изобретение № 2750179 Российской Федерации, МПК B04F 47/00. Погружная нефтедобывающая установка : № 2020135000 : заявл. 26.10.2020 : опубл. 23.06.2021 / Иванов С. В., Лищук А. Н. и др. – Бюл. № 18. – Текст : непосредственный.

### **References**

1. Mishchenko, I. T. (2003). Skvazhinnaya dobycha nefti. Moscow, Neft' i Gaz Gubkin University Publ., 816 p. (In Russian).
2. Mishchenko, I. T., & Bravicheva, T. B. (2002). Vybor ratsional'nogo sposoba ekspluatatsii skvazhin neftyanykh mestorozhdeniy s trudnoizvlekaemyimi zapasami. Moscow, Gubkin University Publ., 120 p. (In Russian).
3. Mishchenko, I. T. Vybor sposoba ekspluatatsii skvazhin neftyanykh mestorozhdeniy s trudnoizvlekaemyimi zapasami. Moscow, Neft' i Gaz Gubkin University Publ., 448 p. (In Russian).
4. Adonin, A. N. (1964). Protsessy glubinnonasosnoy neftedobychi. Moscow, Nedra Publ., 264 p. (In Russian).
5. Yakupov, R. N., Khalimov, R. R., & Vildanov, K. Kh. (2009). Results of pilot operation of electrical submersible pump with new generation control stations. Oil Industry, (8), pp. 86-88. (In Russian).
6. Abdullin, A. F., Abdulin, I. K., Sokolyanskaya, E. V., & Yudchits, V. V. (2018). Short-term-periodic work of wells in the deposits of LLC "LUKOIL-Western Siberia". Experience of implementation and prospects of development. Oilfield Engineering, (10), pp. 20-25. (In Russian). DOI: 10.30713/0207-2351-2018-10-20-25
7. Dudin, E. Yu. (2019). Vybor i obosnovanie optimal'nykh pokazateley raboty UETSN, v rezhime periodicheskoy ekspluatatsii na mestorozhdeniyakh Rossii: magisterskaya dissertatsiya. Tomsk, 127 p. (In Russian).
8. Sukhotepliy, V. P. (2010). Privody na osnove ventil'nykh elektrodvigateley v sostave UETSN pri ekspluatatsii malodebitnogo fonda skvazhin. Inzhenernaya praktika, (7), pp. 91-95. (In Russian).
9. Ivanovsky, V. N. (2004). The maximum and minimum allowable rotational speeds of the ESP rotor when regulating production capabilities using frequency converters. The XII All-Russian technical conference "Production and operation of ESPs". Almetyevsk, pp. 6-23. (In Russian).

10. Sundetov, M. E. (2016). Determining the effectiveness of periodic operation of a marginal well stock on the example of the Shinginskoye field. Problems of geology and subsoil development: Proceedings of the XXI International Symposium named after Academician M.A. Usov of students and young scientists, dedicated to the 120<sup>th</sup> anniversary of the birth of Professor M.I. Kuchina. Volume 2. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., pp. 1096-1099. (In Russian).
11. Dem'yanova, L. A., & Drozdov, A. N. (2000). Teoriya, eksperimental'nye issledovaniya i raschet struynykh apparatov pri otkachke gazozhidkostnykh smesey. Moscow, Gubkin University Publ., 184 p. (In Russian).
12. Ishmurzin, A. A. (2008). Energosberegayushchie tekhnologii dobuchi nefti iz malodebitnykh naklonno-napravlennykh skvazhin. Ufa, Neftegazovoe delo Publ., 238 p. (In Russian).
13. Urazakov, K. R., Timashev, E. O., Molchanova, V. A., & Volkov, M. G. (2020). Spravochnik po dobyche nefti. Perm, Aster Plyus Publ., 600 p. (In Russian).
14. Kalinin, A. G. (1974). Iskrivlenie skvazhin. Moscow, Nedra Publ., 304 p. (In Russian).
15. Kalinin, A. G., Nikitin, B. A., Solodkiy, K. M., & Sultanov, B. Z. (1997). Burenie naklonnykh i horizontal'nykh skvazhin: spravochnik. Moscow, Nedra Publ., 647 p.
16. Oganov, S. A., Abdurakhmanov, G. S., Perov, A. V., & Oganov, G. S. (1998). Proektirovanie profilya i konstruktsii naklonno napravленnoy pologoy skvazhiny. Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea, (12), pp. 3-8. (In Russian).
17. Ovchinnikov, V. P., Dvoynikov, M. V., Gerasimov, G. T., & Ivantsov, A. Yu. (2008). Tekhnologii i tekhnologicheskie sredstva burenija iskrivlennykh skvazhin. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., 150 p. (In Russian).
18. Kharlamov, K. N., Erokhin, V. P., Dolgov, V. G., Shenberger, V. M., & Zozulya, G. P. (1992). Proektirovanie profiley s intervalom bezorientuemogo nabora krivizny stvola skvazhiny. Sbornik tezisov Mezhdunar. NKT "Resursosberezenie v toplivno-energeticheskem komplekse Rossii". Tyumen, pp. 24. (In Russian).
19. Ishmurzin, A. A. (2006). Pressure and deformations round stir columns in spatially curved chink. Neftegazovoye delo, 4(1), pp. 65-72. (In Russian).
20. Urazakov, K. R. (1993). Ekspluatatsiya naklonno napravlennykh nasosnykh skvazhin. Moscow, Nedra Publ., 168 p. (In Russian).
21. Ivanov, S. V., Lishchuk, A. N. [et al.]. Pogruzhnaya neftedobyyushchaya ustankovka. Patent na izobretenie RF 2750179. No 2020135000. Applied: 26.10.20. Published: 23.06.21. Bulletin No. 18. (In Russian).

#### *Информация об авторах*

*Лищук Александр Николаевич,*  
директор по НИОКР, АО «Группа ГМС», г. Москва, lan@hms.ru

*Леонтьев Сергей Александрович,*  
доктор технических наук, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

#### *Information about the authors*

*Alexander N. Lishchuk, R&D Director, HMS Group JSC, Moscow, lan@hms.ru*

*Sergey A. Leontiev, Doctor of Engineering, Professor at the Department of Development and Exploitation of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen*

**Степанов Дмитрий Олегович,**  
заместитель начальника отдела  
НИОКР, филиал АО «ГМС Нефтемаш»,  
г. Москва

**Нагиев Али Тельман оглы,** кандидат технических наук, советник директора, филиал АО «ГМС Нефтемаш», г. Москва

**Dmitry O. Stepanov, Deputy Chief**  
*of R&D Department, Branch of HMS*  
*Neftemash JSC, Moscow*

**Ali T. Nagiev, Candidate of Engineering,**  
*Advisor to the Director, Branch*  
*of HMS Neftemash JSC, Moscow*

Статья поступила в редакцию 17.05.2022; одобрена после рецензирования 17.10.2022; принятая к публикации 28.10.2022.

The article was submitted 17.05.2022; approved after reviewing 17.10.2022; accepted for publication 28.10.2022.