

2(350).2022

ISSN 0130-3872



**Строительство
нефтяных
и
газовых
скважин**

**на суше
и на море**

**Construction
of oil and gas wells on land
and sea**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

VII Международная конференция

АРКТИКА-2022

Арктика: устойчивое развитие

2–3 марта 2022, Москва

Стань участником

Специализированная выставка | Спонсорство

Тел. +7 (495) 662-97-49 (многоканальный)

Электронная почта: arctic@s-kon.ru

www.arctic.s-kon.ru

Официальная поддержка:



Организаторы:



СИСТЕМНЫЙ КОНСАЛТИНГ





**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
"Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина"**

*Редакция НТЖ "Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море"
от всей души поздравляет членов Редколлегии, Редсовета, коллег и читателей
с двумя знаменательными датами: днем Науки и днём Защитника Отечества!
Желаем успехов в профессиональной деятельности,
благополучия и крепкого здоровья!*

Научно-технический журнал

СТРОИТЕЛЬСТВО НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН НА СУШЕ И НА МОРЕ

Scientific-technical journal

**Construction
of oil and gas wells on land
and sea**

СТРОИТЕЛЬСТВО НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН НА СУШЕ И НА МОРЕ

Февраль 2022 г.

№ 2(350)

Издается с 1993 г.
Выходит 12 раз в год

Учредитель

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина"

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Близиных В.Ю. (главный редактор) – д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН, акад. Украинской нефтегазовой академии, г. Москва

Липатов В.И. (зам. главного редактора) – канд. техн. наук, г. Москва,

Быков И.Ю. (зам. главного редактора) – д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН, г. Ухта,

Агзамов Ф.А. – д-р техн. наук, проф., г. Уфа,

Антониади Д.Г. – д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН, г. Краснодар,

Бастриков С.Н. – д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН, г. Тюмень,

Вахромеев А.Г. – д-г.-м.н., доцент, г. Иркутск,

Войченко В.С. – д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН, акад. Украинской нефтегазовой академии, г. Минск,

Евсеев В.Д. – д-р техн. наук, проф., г. Томск,

Кузнецов Ю.С. – д-р техн. наук, проф., г. Москва,

Куликов В.В. – д-р техн. наук, проф., г. Москва,

Кунина П.С. – д-р техн. наук, проф., г. Краснодар,

Курбанов Я.М. – д-р техн. наук, проф., г. Тюмень,

Кязимов Э.А. – д-р техн. наук, г. Баку,

Литвиненко В.С. – д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН, РАГН, МАНЭБ, г. Санкт-Петербург,

Мыслук М.А. – д-р техн. наук, проф., акад.

Украинской нефтегазовой академии, г. Ивано-Франковск,

Нескоромных В.В. – д-р техн. наук, проф., г. Красноярск,

Нижник А.Е. – д-р техн. наук, проф., г. Краснодар,

Оганов А.С. – д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН, г. Москва,

Повалихин А.С. – д-р техн. наук, доцент, акад. РАЕН, г. Москва,

Рябконов С.А. – д-р техн. наук, проф., г. Краснодар,

Сочнев О.Я. – д-р техн. наук, член-кор. РАЕН, г. Москва,

Трифанов Г.Д. – д-р техн. наук, проф., г. Пермь,

Хегай В.К. – д-р техн. наук, проф., член-кор. РАЕН, г. Ухта,

Хузина Л.Б. – д-р техн. наук, доцент, г. Альметьевск,

Шайдаков В.В. – д-р техн. наук, проф., г. Уфа.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ

- Хегай В.К., Хегай К.В.* О формировании резонансных колебаний бурильной колонны5
Гимазтдинова Э.А., Хузина Л.Б. Анализ поглощений промывочной жидкости в верхних горизонтах при бурении нефтяных скважин12

БУРОВЫЕ РАСТВОРЫ

- Аишурова А.М.* Применение экологически безопасных компонентов для обработки буровых растворов17
Гулузаде Т. Использование буровых растворов на силикатной основе для обеспечения устойчивости ствола скважины20

ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ

- Шайдаков В.В., Шестакова Е.В., Барабанов А.А.* Установка для исследования процесса дозирования реагентов25

КРЕПЛЕНИЕ СКВАЖИН

- Шарафутдинов З.З.* Действие расширяющих добавок на процесс формирования цементного камня28

ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ И ОСВОЕНИЕ СКВАЖИН

- Пуляевский М.С., Греков Г.В., Зырянов Н.М., Вахромеев А.Г.* Комплексный подход к выбору эффективной технологии вовлечения в добычу ТриЗ нефти из низкопроницаемых карбонатных коллекторов преображенского горизонта Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения, Восточная Сибирь35

РАЗРАБОТКА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

- Лягов И.А., Лягов А.В., Шайдаков В.В., Грогуленко В.В., Зинатуллина Э.Я.* Техническая система "Перфобур" для вторичного вскрытия продуктивного пласта47

ЗАКАНЧИВАНИЕ СКВАЖИН

- Верисокин А.Е., Шлеин Г.А.* Комплексная технология освоения нефтяных скважин с помощью струйных аппаратов после проведения гидроразрыва пласта53

БУРЕНИЕ НА МОРЕ

- Сериков Д.Ю., Борейко Д.А., Серикова Е.П.* Об особенностях сооружения подводных переходов магистральных трубопроводов: выбор технологии и используемое оборудование58
Измуханбетов А.Б. Процесс проектирования ликвидации поисково-разведочной скважины в казахстанском секторе Каспийского моря68

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

- Михаилу Яковлевичу Гельфгату – 75 лет77

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

- Памяти Владимира Ивановича Липатова79

CONSTRUCTION OF OIL AND GAS WELLS ON LAND AND SEA

February 2022

№ 2(350)

published since 1993

12 issues per year

CONTENTS

TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF DRILLING

- Khegai V.K., Khegai K.V.* On the formation of the drill string resonance vibrations 5
- Gimaztdinova E.A., Khuzina L.B.* Analysis of drilling fluid losses in the upper horizons when drilling oil wells 12

DRILLING FLUIDS

- Ashurova A.M.* Using of environmentally friendly components for drilling muds treatment 17
- Guluzade T.* Use of silicate-based drilling fluids to ensure wellbore stability 20

EQUIPMENT AND TOOLS

- Shaidakov V.V., Shestakova E.V., Barabanov A.A.* A unit for studying the process of reagents dosing 25

WELLS CEMENTING

- Sharafutdinov Z.Z.* Expanding additives effect on the cement stone formation 28

EXPLORATION WORKS AND WELLS DEVELOPMENT

- Pulyaevsky M.S., Grekov G.V., Zyryanov N.M., Vakhromeev A.G.* An integrated approach to the selection of an effective technology for involving hard-to-recover oil reserves from low-permeable carbonate reservoirs of the Preobrazhensky horizon of the Verkhnechonskoye oil and gas condensate field, Eastern Siberia 35

DEVELOPMENT OF OIL AND GAS FIELDS

- Lyagov I.A., Lyagov A.V., Shaidakov V.V., Grogulenko V.V., Zinatullina E.Ya.* "Perfobur" technical system for secondary opening of a productive formation 47

WELLS COMPLETION

- Verisokin A.E., Shlein G.A.* Integrated technology for oil wells development after hydraulic fracturing using jet devices 53

DRILLING OFFSHORE

- Serikov D.Yu., Boreiko D.A., Serikova E.P.* Some features of construction of main pipelines underwater crossings: choice of technology and equipment used 58
- Izmukhanbetov A.B.* Designing process of an exploration well abandonment in the Kazakhstan sector of the Caspian Sea 68

ANNIVERSARY

- Mikhail Yakovlevich Gelfgat – 75 year anniversary 77

MEMORIAL DATES

- In memory of Vladimir Ivanovich Lipatov 79

Founder of journal – National University of Oil and Gas "Gubkin University"

EDITORIAL BOARD:

Bliznyukov V.Yu. (Chief editor) – DSc, professor,

Lipatov V.I. (Deputy Chief editor) – Phd, Bykov I.Yu. (Deputy Chief editor) – DSc, professor,

Agzamov F.A. – DSc, professor, Antoniadis D.G. – DSc, professor, Bastrikov S.N. – DSc, professor, Vakhromeev A.G. – DSc, professor, Voytenko V.S. – DSc, professor, Evseev V.D. – DSc, professor, Kuznetsov Yu.S. – DSc, professor, Kulikov V.V. – DSc, professor, Kunina P.S. – DSc, professor, Kurbanov Ya.M. – DSc, professor, Kyazimov E.A. – DSc

Litvinenko V.S. – DSc, professor, Myslyuk M.A. – DSc, professor, Neskromny V.V. – DSc, professor, Nizhnik A.E. – DSc, professor, Oganov A.S. – DSc, professor, Povalikhin A.S. – DSc, professor, Ryabokon S.A. – DSc, professor, Sochnev O.Ya. – DSc, professor, Trifanov G.D. – DSc, professor, Khegay V.K. – DSc, professor, Khuzina L.B. – DSc, professor, Shaidakov V.V. – DSc, professor.

Решением Президиума ВАК Минобрнауки России НТЖ "Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море" включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Свидетельство о регистрации средств массовой информации ПИ № ФС 77-77940 от 19.02.2020.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и международную реферативную базу данных и системы цитирования Chemical Abstracts.

Издательство – Издательский дом "Губкин"
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Адрес редакции:
119991, Россия, г. Москва, Ленинский просп., 65,
корп. 1.

Сайт: <https://www.gubkin.ru>
E-mail: zavyalov.a@gubkin.ru, zavyalovap@yandex.ru,
olenka.kalinina.00@inbox.ru
Тел. 8-499-507-91-68.



Ведущий редактор *О.А. Калинина*

Компьютерная верстка *Т.Д. Диатроптова*

Корректор *Т.В. Быстракова*

Переводчик *О.М. Бисярина*

Подписано в печать 12.01.2022 г. Формат 84×108 1/16.
Бумага офсетная. Офсетная печать. Усл. печ. л. 8,40.
Уч.-изд. л. 8,54. Тираж 1000 экз.
Цена свободная.

Индекс журнала

10334, 10335 – по объединенному каталогу
"Пресса России".

Печатно-множительная база:
ИП Терентьева Ю.Б.
115551, Россия, г. Москва, Шипиловский пр., 43, корп. 2.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за соблюдение принципов научной этики и достоверность приведенных сведений.

© РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
2022

При перепечатке материалов ссылка на издание обязательна.

Редакционный совет научно-технических журналов, издаваемых РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

- Мартынов В.Г. – Ректор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р экон. наук, профессор, академик РАО, председатель совета
- Максименко А.Ф. – Проректор по научной и международной работе РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, профессор, заместитель председателя совета
- Лопатин А.С. – Председатель комиссии по редакционно-издательской деятельности Ученого Совета РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, заведующий кафедрой, д-р техн. наук, профессор, главный редактор журнала "Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса", заместитель председателя совета
- Завьялов А.П. – Директор Издательского дома "Губкин" РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, канд. техн. наук, доцент, секретарь совета
- Близнюков В.Ю. – Руководитель проекта ПАО "НК "Роснефть", д-р техн. наук, профессор, главный редактор журнала "Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море" (по согласованию)
- Гируц М.В. – Декан факультета научно-педагогических кадров и кадров высшей квалификации РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р хим. наук, доцент
- Голунов Н.Н. – Проректор по дополнительному профессиональному образованию РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, канд. техн. наук, доцент
- Гриняев С.Н. – Декан факультета комплексной безопасности ТЭК РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, профессор
- Дедов А.Г. – Заведующий кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р хим. наук, профессор, академик РАН, главный редактор журнала "Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина"
- Дмитриевский А.Н. – Научный руководитель ИПНГ РАН, д-р геол.-минер. наук, профессор, академик РАН, главный редактор журнала "Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений" (по согласованию)
- Ивановский В.Н. – Заведующий кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, профессор, главный редактор журнала "Территория Нефтегаз"
- Казак А.С. – Ученый секретарь ООО "НИИгазэкономика", д-р техн. наук, профессор, главный редактор журнала "Автоматизация и информатизация ТЭК" (по согласованию)
- Комков А.Н. – Начальник управления наукометрических исследований и поддержки публикационной активности РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, канд. техн. наук, доцент
- Лоповок Г.Б. – Директор Издательского центра РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, канд. экон. наук, доцент
- Мастепанов А.М. – Заведующий Аналитическим центром энергетической политики и безопасности ИПНГ РАН, профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р экон. наук, профессор, главный редактор журнала "Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом"
- Мельгунов В.Д. – Заведующий кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р юрид. наук, профессор
- Мещеряков С.В. – Заведующий кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, профессор, заместитель главного редактора журнала "Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе"
- Михайлов М.Н. – Профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, главный редактор журнала "Нефтепромысловое дело"
- Мурадов А.В. – Профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, заместитель руководителя редакционной коллегии журнала "Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина"
- Оганов А.С. – Заведующий кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, профессор, главный редактор журнала "Вестник Ассоциации буровых подрядчиков"
- Поздняков А.П. – Профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, заместитель главного редактора журнала "Автоматизация и информатизация ТЭК"
- Постникова О.В. – Декан факультета геологии и геофизики нефти и газа РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р геол.-минерал. наук, профессор
- Соловьянов А.А. – Заместитель директора ФГБУ "Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды", главный редактор журнала "Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе", д-р хим. наук, профессор (по согласованию)
- Телегина Е.А. – Декан факультета международного энергетического бизнеса РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р экон. наук, профессор, член-корреспондент РАН
- Туманян Б.П. – Профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, главный редактор журналов "Химия и технология топлив и масел", "Технологии нефти и газа", "Промышленный сервис"

Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2022. № 2(350). С. 47–52.

Construction of oil and gas wells on land and sea. 2022; (2(350): 47–52.

Научная статья

УДК 622.23.05

DOI: 10.33285/0130-3872-2022-2(350)-47-52

ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА "ПЕРФОБУР" ДЛЯ ВТОРИЧНОГО ВСКРЫТИЯ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА

И.А. Лягов¹, А.В. Лягов², В.В. Шайдаков³, В.В. Грогуленко⁴, Э.Я. Зинатуллина⁵

¹ООО "Перфобур", Москва, Россия

^{2, 3, 4, 5}Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

⁵zinatullina@perfobur.ru

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы вторичного вскрытия продуктивного пласта. Представлена информация о современных системах куммулятивной, щелевой гидропескоструйной перфорации и ряда других, оцениваются их недостатки. Акцент делается на технику и технологии вторичного вскрытия продуктивного пласта скважины бурением на шлангокабеле разветвленных каналов сверхмалого диаметра 58...71 мм, длиной до 15 м и радиусом кривизны 5...12 м по прогнозируемой и контролируемой траектории. Представлен состав технической системы "Перфобур", включающий наземный шлангокабельный, а также приемнообработывающие и скважинный комплексы. Скважинный комплекс включает долото, центраторы, малогабаритный секционный винтовой забойный двигатель, гибкую немагнитную бурильную компоновку, ориентатор, инклинометр, гидронагружатель – виброгаситель, жесткий толкатель. Система передачи информации состоит из наддолотного инклинометра, передающего по скоростному беспроводному электромагнитному каналу информацию материнской телесистеме и далее по информационному оптоволоконному каналу, проходящему по шлангокабелю, на наземный приемнообработывающий комплекс. Технология успешно применена с использованием традиционных НКТ и агрегатов различной грузоподъемности при вторичном вскрытии более 70 скважинных операций с использованием семи технологических флотов.

Ключевые слова: скважина, продуктивный пласт, шлангокабель, бурение боковых стволов, винтовой забойный двигатель, инклинометр, ориентатор

Для цитирования: Лягов И.А., Лягов А.В., Шайдаков В.В., Грогуленко В.В., Зинатуллина Э.Я. Техническая система "Перфобур" для вторичного вскрытия продуктивного пласта // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2022. – № 2(350). – С. 47–52. – DOI: 10.33285/0130-3872-2022-2(350)-47-52

Original article

"PERFOBUR" TECHNICAL SYSTEM FOR SECONDARY OPENING OF A PRODUCTIVE FORMATION

I.A. Lyagov¹, A.V. Lyagov², V.V. Shaidakov³, V.V. Grogulenko⁴, E.Ya. Zinatullina⁵

¹LLC "Perfobur", Moscow, Russia

^{2, 3, 4, 5}Ufa State Oil Technical University, Ufa, Russia

⁵zinatullina@perfobur.ru

Abstract. The article deals with the problems of secondary opening of a productive formation. Information on modern systems of cumulative, slotted hydro-sand-jet perforation and a number of others is presented, their disadvantages are assessed. The emphasis is placed on the technique and technology of a productive formation secondary opening of a well by drilling on a flexible drill string of multi-directional ultra-small channel of 58...71 mm diameter, up to 15 m long and 5...12 m radius of curvature along the predicted and controlled trajectory. The assembly of "Perfobur" technical system is presented, which includes a ground-based umbilical cable as well as receiving-processing and borehole complexes. The downhole complex includes a drill bit, centralizers, small-sized sectional screw downhole motor, flexible non-magnetic drilling unit, orientating device, inclinometer, hydraulic loader – vibration damper, rigid pusher. The information transmission system consists of an inclinometer above the bit, which transmits information to the mother telesystem through a high-speed wireless electromagnetic channel and then through information fiber-optic channel passing through an umbilical cable to a ground receiving-processing complex. The technology has been successfully applied with the use of traditional tubing and units of various carrying capacities during the secondary opening of more than 70 wells using seven technological fleets.

Keywords: well, productive formation, umbilical cable, sidetracking, screw downhole motor, inclinometer, orientating device

Качественное вторичное вскрытие продуктивных пластов во многом определяет дальнейшую эффективную эксплуатацию добывающих нефтяных и газовых скважин [1, 2]. На сегодняшний день наиболее эффективными способами вторичного вскрытия пла-

ста являются применение современных перфорационных систем, бурение радиальных каналов малого диаметра и кислотное воздействие на пласт. Среди куммулятивных перфораторов стоит выделить перфораторы компании Schlumberger. Одной из последних

разработок компании стало применение перфорационных систем PURE, так называемая "чистая" перфорация. Технология интересна тем, что при ее использовании минимизируется динамический перепад давлений непосредственно в процессе образования перфорационного канала за счет эффекта имплозии [3, 4]. Но все-таки ряд негативных моментов, присущих кумулятивной перфорации, устранить в полной мере не удалось. Это, в первую очередь, растрескивание цементного камня от фугасной вибрации, и как следствие – заколонные перетоки, для ликвидации которых необходимы дополнительные дорогостоящие технологические операции. Кроме того, кумулятивные перфораторы не всегда позволяют выйти из зоны кольматации, поскольку глубина каналов, полученная с помощью кумулятивных перфораторов, с индексом "deep penetration" достигает не более двух метров.

Разработано множество способов щадящей перфорации. В компании ОАО "НПО "Бурение" считают, что наиболее рациональными и перспективными являются щелевая гидropескоструйная перфорация, гидромеханическая перфорация, использующая накатные ролики или ножи-пробойники для формирования перфорационных отверстий, а также зондовая. К недостаткам щелевых гидropескоструйных перфораторов следует отнести малую глубину каналов, не позволяющую выйти из зоны кольматации, а следовательно, установить достаточно совершенную гидродинамическую связь пласта со скважиной [5].

Известен также гидромеханический щелевой перфоратор фирмы Nekko. Особенность перфоратора заключается в одновременном формировании двух или четырех щелей шириной до 14 мм и глубиной намытых каверн до 1 м, при этом площадь фильтрации перфорационных щелей может составить 200...240 см² [4].

Перфорационная система канадской компании PetroJet работает по средством разрушения горной породы скважины высоконапорными струями. Глубина канала может составлять 100 м. В основе перфорационной системы лежит использование специального отклонителя, способного трансформироваться из прямого состояния в криволинейное и обратно. Отклонитель спускается на колонне НКТ в точку забуривания каналов после предварительного удаления участка обсадной колонны. Бурильная колонна диаметром 32 мм адаптирована к установке колтубинга. К нижнему концу бурильной колонны крепится гидравлическая буровая головка, а к ее верхнему концу – гидравлический регулятор подачи, определяющий скорость проходки. После завершения бурения радиального ствола для ограничения поступления песка в скважину и регулирования фильтрации на забое радиального канала устанавливается с помощью зазубренного копьеобразного якоря гибкий щелевой фильтр (FSB) и выполняется гравийная набивка для заполнения затрубного пространства вокруг бурильной колонны [1, 12].

Заканчивание скважин по технологии кислотно-мониторной обработки Fishbones позволяет применять ее в открытых стволах карбонатных коллекторов, создавая каналы длиной до 12 м, что дает возможность выходить за пределы загрязненной зоны пласта, одновременно проводя интенсификацию пластового флюида. Расчеты, выполнение авторами проекта, показали, что в случае успешного применения технологии Fishbones в меловых породах на глубине 1000 м результатом будет практически двукратное увеличение добычи по сравнению с ГРП и увеличение на одну треть по сравнению с традиционной кислотной обработкой. Из основных недостатков технологии стоит отметить, что для проведения перфорации по технологии Fishbones необходимо соблюдать радиальный зазор между кондуктором и стенкой скважины менее 7 мм, для того, чтобы высокопрочные трубы вышли из корпуса перфоратора и попали в породу. Это не всегда возможно в карбонатных скважинах из-за низкого качества калибровки открытых стволов. Если же в скважине величина радиального зазора не соблюдена, то есть вероятность, что "иглы Fishbones" проникнут не в породу, а в этот зазор и обовьют свой корпус и НКТ, на которых он спускается в скважину [2, 11].

Решить задачу качественной гидродинамической связи в системе скважина–пласт может применение технологии префобурения сети разветвленных каналов сверх малого диаметра по прогнозируемой траектории при вторичном вскрытии. Так, например, технология RadTech радиального бурения каналов большой протяженности была разработана американской компанией Rad Tech International Inc и получила широкое распространение в США и Колумбии, применялась в Канаде, Боливии, Аргентине, Чили, на Ближнем Востоке. Применение технологии префобурения позволило восстановить для эксплуатации тысячи простаивающих скважин, увеличить нефтеотдачу пластов, проводить направленный гидроразрыв пласта и оптимизировать сетку разбуривания месторождений [7, 9, 10].

Технология, предлагаемая авторами данной статьи с использованием системы "Перфобур", обладает рядом преимуществ перед вышеописанными аналогами, в первую очередь, это бурение перфорационных каналов по прогнозируемой траектории длиной до 50 м и возможность ориентирования бурильной компоновки на забое скважины, позволяющая пробурить до 4-х каналов из заданной отметки. Другой особенностью технологии является возможность многократного входа в уже пробуренный канал, например, для глубокого проникающей кислотной обработки, установки фильтров или выполнения других геологических операций и технологических исследований (ГТМ) [8].

При сравнении предлагаемой технологии с наиболее популярной кумулятивной перфорацией отмечается, что площадь фильтрации одного перфорационного канала длиной 14 м, пробуренного системой "Перфобур", в 3 раза больше, чем у 20 кумулятивных

отверстий, выполненных перфоратором зарядами 4505 PowerJet OMEGA.

В настоящее время компания "Перфобур" подготовила и провела испытание на специальном стенде оборудования для выполнения технологических операций с использованием колтюбинговой трубы, а в дальнейшем и шлангокабеля с каналом связи. Принципиальная схема компоновки технической системы "Перфобур" (ТС) на шлангокабеле представлена на рис. 1.

В состав данной системы входит наземное, скважинное оборудование и инструмент. В качестве наземного шлангокабельного комплекса в зависимости от глубины и траектории скважины могут быть использованы колтюбинговые установки легкого, среднего или тяжелого класса с соответствующим тяговым усилием инжектора, например: МК10Т, МК20Т, МК30Т и др.

Техническая система для бурения размещается в секциях корпуса и включает: долота типа PDC диаметром 68...71 мм, центраторы типа ГЦ диаметром 66...68 мм, специальные малогабаритные винтовые забойные двигатели, разработанные по техническому заданию компании "Перфобур" – 2Д-42.9/10; 2Д-43.5/6.42; 2ДО-43.NGT.5/6.3; ДОТ-49РС.800, выполненные двухсекционными с укороченными рабочими органами, (после тщательного обобщения теории циклоидального зацепления и методов торцового профилирования рабочих органов с выбором оптимальных сочетаний коэффициентов зацепления), а также со специальным шпинделем и гибкими межкорпусными и межроторными сочленениями [15, 17, 22]. Такая компоновка низа буровой колонны с определенными изгибными и крутильными жесткостями подбиралась аналитически и по данным многочисленных стендовых, а затем и промышленных испытаний показала, что способствует получению искомого радиуса кривизны до 5...7 м [13]. Причем траектория каналов получается схожей с дугой окружности, в которую вписывается компоновка [14]. В скважинную систему также входят компоновка из нескольких гибких стальных немагнитных труб диаметром 28...32 мм, длиной 3,5...7 м с замковыми резьбовыми соединениями,

гидронагружатель – виброгаситель типа ДГ, ориентатор типа ОР, жесткая труба толкатель, система корпусов с направляющим пазом и клапанный модуль с вертлюгом [18, 23]. Насосная установка используется с трехплунжерным насосом типа СИН46.03 с плавной регулировкой подачи бурового раствора.

Для фрезерования окна в обсадной колонне используется клиновидный отклонитель с якорем. Компоновка для фрезерования включает многофункциональную фрезу диаметром 71...75 мм, в зависимости от диаметра и группы прочности эксплуатационной колонны, специальный двигатель габарита 54 или 55 мм с одним углом перегиба, например, типа Д1-54М; Д55М.5/6.22; ДО-55.000; ДОТ-54РС.800.

Все несерийные элементы выполнены на уровне изобретения, являются продуктом отечественного производства и изготовлены по конструкторской документации и техническому заданию компании ООО "Перфобур" [16].

Система передачи информации состоит из забойного геофизического модуля, передающего данные по электромагнитному каналу основной телесистеме, включающей устройства приема и передачи данных, и далее по каналу связи (например, оптоволоконному),

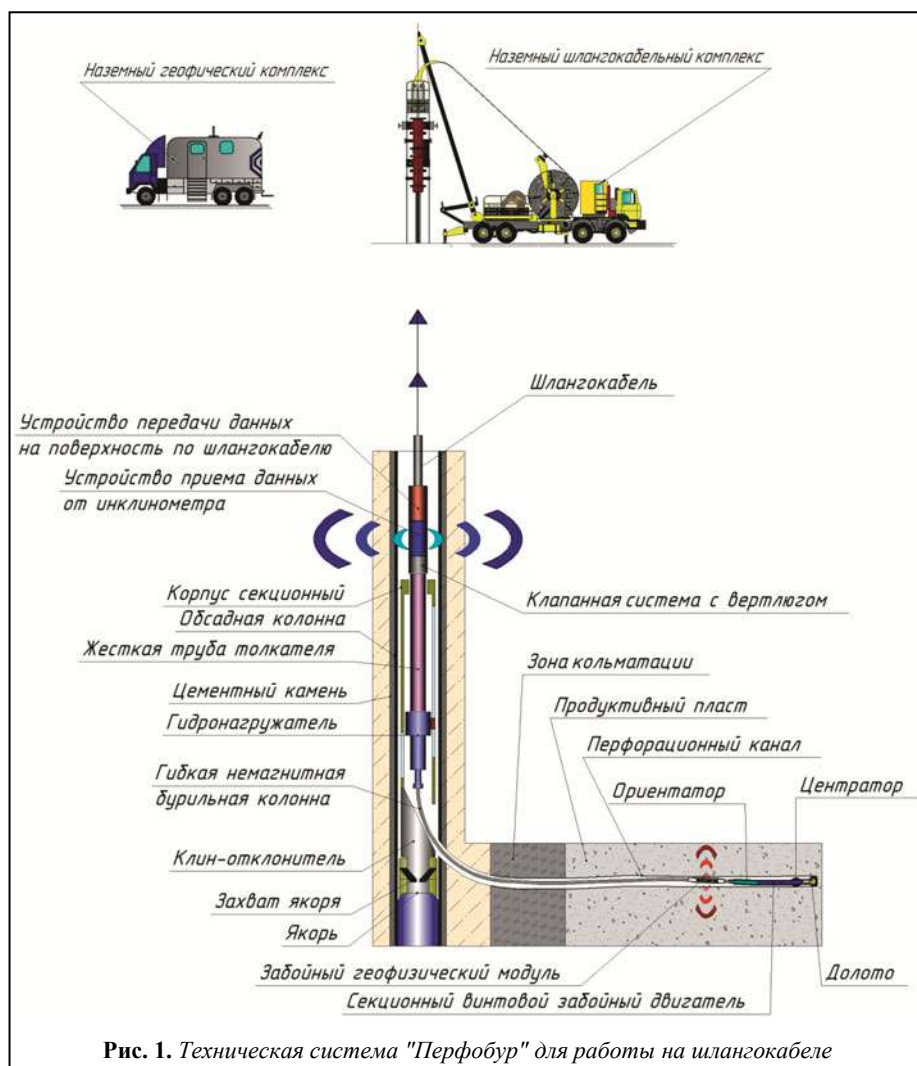


Рис. 1. Техническая система "Перфобур" для работы на шлангокабеле



Рис. 2. Схема передачи информации с забоя на поверхность

проходящему по шлангокабелю на наземный приемно-обрабатывающий комплекс (рис. 2.).

Возможно применение различных телеметрических систем отечественного или зарубежного производства, например: БТС-172 (Петротул), Таргет, АПС (Петротул), Вектор (Башнефтегеофизика), Компас (Буринтех), ЗТС-42 КК с НДМ (ВНИИГИС-ЗТК), MWD (Baker Hughes), MWD 650, 350, 1200 (Halliburton), СлимПалс, ИмПалс (Schlumberger) [19].

Модуль НДМ-ЭМ – это малогабаритная забойная геофизическая система с электромагнитным каналом связи, информация с которой передается на основную телесистему типа ЗТС-42 ЭМ-М, ЗТС-42КК, а затем полный пакет данных – на поверхность по шлангокабелю. Применение наддолотного модуля в составе телесистемы позволит получать информацию практически с забоя скважины, оперативно реагировать на изменение геологической ситуации на забое, контролировать траекторию ствола скважины в процессе бурения.

Нижняя измерительная система (названная на рисунке "инклинометр on-line", аналог модуля НДМ-ЭМ) устанавливается между ВЗД и гибкой немагнитной трубой, фиксирует зенитный и азимутальный углы, давление, температуру и крутящий момент на ВЗД. Она обеспечивает установку отклоняющих параметров в начальный момент и оперативный контроль, регулирование рабочими параметрами в процессе бурения. Нижняя измерительная система по скоростному беспроводному электромагнитному каналу связи передает забойную информацию основной телесистеме, расположенной от нижней на расстоянии до 100 м, в зависимости от длины перфорационного канала. В состав основной системы входит устройство приема данных от инклинометра on-line и устройство передачи данных на поверхность, например, по оптоволоконному каналу, где информация декодируется и интерпретируется наземным геофизическим приемно-обрабатывающим комплексом. При необходимости скважинную систему возможно снабдить детектором радиации (счетчик Гейгера), который измеряет естественную радиоактивность горных пород [6].

В качестве шлангокабеля планируется применять металлополимерные колтюбинговые трубы (МКТ) [20, 21].

Стоит отдельно отметить, что применение гибких труб на основе полимерных материалов в процессе бурения скважин было впервые предложено в нашей стране в 60-х годах XX-го века группой отечественных специалистов объединения "Куйбышевнефть"

под руководством Л.Т. Папировского и при непосредственном участии коллектива кафедры нефтепромысловой механики Уфимского нефтяного института под руководством Б.З. Султанова. Коллективом кафедры были разработаны поворотное устройство для ориентирования забойной компоновки и устройство отсоединения инструмента в случае возможных прихватах. В то время трубопроводу был присвоен термин "шлангокабель" и было введено понятие "шлангокабельное бурение". Разработки сегодняшнего дня по этому направлению, в том числе описанные в данной статье, по праву можно назвать продолжением научно-технической школы кафедры нефтепромысловой механики Уфимского нефтяного института, (ныне кафедра "Машины и оборудование нефтегазового оборудования" Уфимского государственного нефтяного технического университета).

В основе конструкции металлополимерных труб лежит применение полимерного материала, армированного проволокой и стальной лентой (рис. 3).

В качестве полимерного материала в составе трубы используется сополимер пропилена с этиленом. Наружный и внутренний слои трубы выполняются из полимерных материалов с целью увеличения стойкости всей системы к механическим, физическим и химическим повреждениям при эксплуатации. Следующими компонентом МКТ являются стальная проволока и стальная лента. Основное назначение армирующих слоев – создание жесткой системы, позволяющее увеличивать разрывную нагрузку полученного композита, а также повышать значение максимального внутреннего давления трубы. Слои проволоки навиваются на слой полимера или на слой другого компонента трубы под определенным углом по отношению к оси трубы.

Первый вариант оборудования разработан группой специалистов Уфимского государственного нефтяного технического университета (УГНТУ) в 2006 г. Был изготовлен специальный стенд и проведена серия

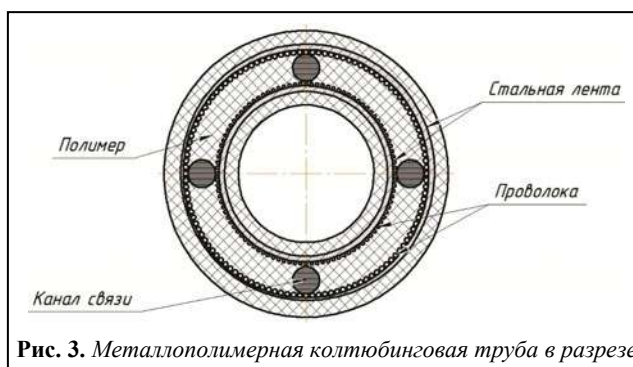


Рис. 3. Металлополимерная колтюбинговая труба в разрезе

стендовых испытаний, в ходе которых пробурены каналы длиной по несколько метров каждый в цементно-песчаных блоках, изготовленных по стандарту API9B. В процессе стендовых испытаний моделировались фрезерование окна в обсадной колонне и бурение каналов в открытом стволе.

В 2010 г. авторами были начаты опытные работы на скважинах. Так, на скв. 952 Чермасанского месторождения испытана в действии буровая компоновка с односекционным двигателем Д-43, на глубине 1421 м.

В 2016 г. модернизированная техническая система "Перфобур" прошла успешные скважинные испытания в ООО "Башнефть-Добыча", где впервые в мировой практике удалось профрезеровать малогабаритным ВЗД два "окна" на одном уровне в интервале 934 м обсадной колонны группы прочности Д с последующим бурением двух разнонаправленных каналов диаметром 58 мм, длиной 7 и 14 м. Якорь был успешно испытан при ориентации в заданном интервале скважины и раскрыт (установлен) с расчетными технологическими параметрами. Узлы модуля показали свою эффективность и надежность при многократных стыковках для дальнейших ГТМ. Модули, предназначенные для ориентации и отклонения узлов системы "Перфобур", подтвердили свою работоспособность и способность повторного вхождения в ранее отфрезерованный и пробуренный канал. Проведена запись траектории пробуренных каналов автономным инклинометром "Кварц". Фактические радиусы кривизны каналов составили 7 и 8 м при 7,7 м расчетных.

Начиная с 2018 г., после успешных испытаний в ООО "Башнефть-Добыча", компанией проводятся работы в других регионах и осуществляется коммерческое использование технической системы "Перфобур" в Волго-Уральской нефтегазовой провинции. Проведено 75 успешных работ по фрезерованию окон в эксплуатационных колоннах диаметров от 140 до 178 мм, различных групп прочности, с последующим бурением разветвленных каналов длиной до 14...15 м и регистрации их траекторий в карбонатных и терригенных коллекторах, с дальнейшей кислотной обработкой или спуском специальных фильтров, в скважинах нефтегазодобывающих предприятий ПАО "АНК "Башнефть", ООО "ЛУКОЙЛ-Коми", ООО "Нократойл", ПАО "НОВАТЭК", ООО "Газпромнефть-Ямал", ПАО "Татнефть", ООО "Новатэк-Таркосаленефтегаз", АО "НК "Нефтиса", СП ООО "Uz-Kor Gas Chemical" (Республика Узбекистан), ТОО "KAZPETROL GROUP" (Республика Казахстан). В настоящий момент работы ведутся семью технологическими флотами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Близнюков В.Ю., Повалихин А.С. Технологические схемы бурения систем горизонтальных стволов в пласте высоковязкой нефти // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. – 2011. – № 10. – С. 10–15.
2. Лягов И.А. Обоснование и разработка технологии вто-

ричного вскрытия продуктивных пластов разветвленными скважинами сверхмалого диаметра: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.15. – СПб, 2014. – 20 с.

3. *Perforating. Maximum reservoir productivity in new or existing wells* / Schlumberger. – URL: <http://www.slb.com/services/completions/perforating.aspx>
4. Технология целевой гидромеханической перфорации компании "Nekko". – URL: <https://www.nekko.ru/servisi/perforaciya>
5. Bleakley W.B. Good well completion // *Oil and Gas J.* – 1962. – June.
6. Bradley W.B. Bottom-hole assemblies – key to control of deviation // *Oil and Gas J.* – 1975. – Vol. 73, No 29. – P. 60–66.
7. Dickinson W., Anderson R.R., Dickinson R.W. The Ultra-short-Radius Radial System. – *SPE Drilling Engineering*. – 1989. – Vol. 4, Issue 3. – P. 247–254. – DOI: 10.2118/14804-PA
8. Lyagov I.A. Bottomhole Formation Zone Completion through Ultra Deep Multibranch Channels: Experimental Research of a New Technology // *Mine planning and equipment selection: Proc. of the 22nd MPES Conf.*, Dresden, Germany, Oct. 14–19. – Springer, 2014. – P. 1221–1229. – DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_118
9. Dickinson W., Dickinson R.W. Horizontal Radial Drilling System // *SPE California Regional Meeting*, March 27–29, Bakersfield, California. – DOI: 10.2118/13949-MS
10. Pickett G.W. Techniques and Deflection Tools in High-Angle Drilling: Past, Present and Future // *J. of Petroleum Technology*. – 1967. – Vol. 19, no. 4. – P. 469–476. – DOI: 10.2118/1597-PA
11. Технология кислотного воздействия на пласт по технологии "Fishbone". – URL: <http://www.fishbones.as>
12. Технология радиального бурения RadTech International Inc. – URL: <http://radialdrilling.com/services-technology/>
13. Лягов А.В., Лягов И.А., Сулейманов И.Н. Антивибрационные – стабилизирующие компоновки буровой колонны для технической системы "Перфобур" // *SOCAR Proceedings*. – 2020. – No. 4. – С. 24–32. – URL: https://proceedings.socar.az/uploads/pdf/65/024_032_Lyagov.pdf
14. Лягов А.В., Лягов И.А. Выбор допустимых радиусов кривизны скважин сверхмалого диаметра (каналов) для технической системы "Перфобур" // *Экспозиция Нефть Газ*. – 2014. – № 6(38). – С. 47–52.
15. Пат. 2147669 Рос. Федерация, МПК E21B 17/00, E21B 7/06. Способ компоновки низа буровой колонны / И.Е. Ишемгузин, А.В. Лягов, Е.И. Ишемгузин [и др.]; патентообладатель Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т. – № 98115695/03; заявл. 10.08.1998; опубл. 20.04.2000, Бюл. № 11.
16. Analytical research and experimental tests on the technology for drilling small diameter channels with small radius of curvature / I.A. Lyagov, N.I. Vasilev, M. Reich, M. Mezzetti // *Oil Gas European Magazine*. – 2014. – Vol. 40, Issue 3. – P. 124–129.
17. Методология расчета технической эффективности силовых секций малогабаритных винтовых забойных двигателей для системы "Перфобур" / И.А. Лягов, Ф.Д. Балденко, А.В. Лягов [и др.] // *Зап. Горного ин-та*. – 2019. – Т. 240. – С. 694–700. – DOI: 10.31897/pti.2019.6.694
18. Пат. 2284402 Рос. Федерация, МПК E21B 7/08. Ориентатор / Н.А. Шапов, Е.Г. Асеев, А.В. Лягов [и др.]. – № 2005100326/03; заявл. 11.01.2005; опубл. 27.09.2006, Бюл. № 27.
19. Забойный двигатель со встроенным измерительным модулем для геонавигации / Д.А. Абдрахманов, А.В. Бельков, А.А. Бикинцев [и др.] // *Нефть. Газ. Новации*. – 2017. – № 2. – С. 71–72.
20. Грогуленко В.В. Металлополимерные колтюбинговые трубы для нефтяной и газовой промышленности: моногр. –

Palmarium Academic Publishing. – 2015. – 136 с.

21. Шайдаков В.В., Грогуленко В.В., Михайлов П.Г. Конструирование металлополимерных колтюбинговых труб для нефтяной и газовой промышленности // *Экспозиция Нефть Газ.* – 2015. – № 4(43). – С. 68–70.

22. Пат. 2674485 Рос. Федерация, МПК E21B 4/02. Малогабаритный шпindel секционного винтового забойного двигателя / А.В. Лягов, И.А. Лягов, М.А. Качемаева [и др.]; патентообладатель ООО "Перфобур". – № 2017141481; заявл. 29.11.2017; опубл. 11.12.2018, Бюл. № 35.

23. Пат. на полез. модель 195139 Рос. Федерация, МПК E21B 4/02, E21B 21/00, E21B 7/04. Бурильная компоновка с малогабаритным гидравлическим забойным двигателем / А.В. Лягов, И.А. Лягов; патентообладатель ООО "Перфобур". – № 2019120556; заявл. 25.12.2017; опубл. 15.01.2020, Бюл. № 2.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bliznyukov V.Yu., Povalikhin A.S. Tekhnologicheskie skhemy bureniya sistem horizontal'nykh stvolov v plaste vysokoyazkoy nefi // *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na suше i na more.* – 2011. – № 10. – С. 10–15.

2. Lyagov I.A. Obosnovanie i razrabotka tekhnologii vtorichnogo vskrytiya produktivnykh plastov razvetvlenymi skvazhinami sverkhmalogo diametra: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 25.00.15. – SPb, 2014. – 20 s.

3. Perforating. Maximum reservoir productivity in new or existing wells / Schlumberger. – URL: <http://www.slb.com/services/completions/perforating.aspx>

4. Tekhnologiya shchelevoй gidromekhanicheskoy perforatsii kompanii "Nekko". – URL: <https://www.nekko.ru/servisi/perforaciya>

5. Bleakley W.B. Good well completion // *Oil and Gas J.* – 1962. – June.

6. Bradley W.B. Bottom-hole assemblies – key to control of deviation // *Oil and Gas J.* – 1975. – Vol. 73, No 29. – P. 60–66.

7. Dickinson W., Anderson R.R., Dickinson R.W. The Ultra-short-Radius Radial System. – *SPE Drilling Engineering.* – 1989. – Vol. 4, Issue 3. – P. 247–254. – DOI: 10.2118/14804-PA

8. Lyagov I.A. Bottomhole Formation Zone Completion through Ultra Deep Multibranch Channels: Experimental Research of a New Technology // *Mine planning and equipment selection: Proc. of the 22nd MPES Conf., Dresden, Germany, Oct. 14–19.* – Springer, 2014. – P. 1221–1229. – DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_118

9. Dickinson W., Dickinson R.W. Horizontal Radial Drilling System // *SPE California Regional Meeting, March 27–29, Bakersfield, California.* – DOI: 10.2118/13949-MS

10. Pickett G.W. Techniques and Deflection Tools in High-Angle Drilling: Past, Present and Future // *J. of Petroleum Technology.* – 1967. – Vol. 19, no. 4. – P. 469–476. – DOI: 10.2118/1597-PA

11. Tekhnologiya kislotnogo vozdeystviya na plast po tekhnologii "Fishbone". – URL: <http://www.fishbones.as>

12. Tekhnologiya radial'nogo bureniya RadTech International Inc. – URL: <http://radialdrilling.com/services-technology/>

13. Lyagov A.V., Lyagov I.A., Suleymanov I.N. Antivibratsionnye – stabiliziruyushchie komponenty buril'noy kolonny dlya tekhnicheskoy sistemy "Perfobur" // *SOCAR Proceedings.* – 2020. – No. 4. – S. 24–32. – URL: https://proceedings.socar.az/uploads/pdf/65/024_032_Lyagov.pdf

14. Lyagov A.V., Lyagov I.A. Vybor dopustimyykh radiusov krivizny skvazhin sverkhmalogo diametra (kanalov) dlya tekhnicheskoy sistemy "Perfobur" // *Ekspozitsiya Neft' Gaz.* – 2014. – № 6(38). – S. 47–52.

15. Pat. 2147669 Ros. Federatsiya, MPK E21B 17/00, E21B 7/06. Sposob komponovki niza buril'noy kolonny / I.E. Ishemguzhin, A.V. Lyagov, E.I. Ishemguzhin [i dr.]; patentoobladatel' Ufimskiy gos. neftyanoy tekhn. un-t. – № 98115695/03; заявл. 10.08.1998; opubl. 20.04.2000, Byul. № 11.

16. Analytical research and experimental tests on the technology for drilling small diameter channels with small radius of curvature / I.A. Lyagov, N.I. Vasilev, M. Reich, M. Mezzetti // *Oil Gas European Magazine.* – 2014. – Vol. 40, Issue 3. – P. 124–129.

17. Metodologiya rascheta tekhnicheskoy effektivnosti silovykh sektsiy malogabaritnykh vintovykh zaboynykh dvigateley dlya sistemy "Perfobur" / I.A. Lyagov, F.D. Baldenko, A.V. Lyagov [i dr.] // *Zap. Gornogo in-ta.* – 2019. – T. 240. – S. 694–700. – DOI: 10.31897/pmi.2019.6.694

18. Pat. 2284402 Ros. Federatsii, MPK E21B 7/08. Orientator / N.A. Shamov, E.G. Aseev, A.V. Lyagov [i dr.]. – № 2005100326/03; заявл. 11.01.2005; opubl. 27.09.2006, Byul. № 27.

19. Zaboynyy dvigatel' so vstroennym izmeritel'nyim modulem dlya geonavigatsii / D.A. Abdrakhmanov, A.V. Bel'kov, A.A. Bikineev [i dr.] // *Neft'. Gaz. Novatsii.* – 2017. – № 2. – S. 71–72.

20. Grogulenko V.V. Metallopolimernye koltyubingovye truby dlya neftyanoy i gazovoy promyshlennosti: monogr. – *Palmarium Academic Publishing.* – 2015. – 136 s.

21. Shaydakov V.V., Grogulenko V.V., Mikhaylov P.G. Konstruirovaniye metallopolimernykh koltyubingovykh trub dlya neftyanoy i gazovoy promyshlennosti // *Ekspozitsiya Neft' Gaz.* – 2015. – № 4(43). – S. 68–70.

22. Pat. 2674485 Ros. Federatsiya, MPK E21B 4/02. Malogabaritnyy shpindel' sektionnogo vintovogo zaboynogo dvigatelya / A.V. Lyagov, I.A. Lyagov, M.A. Kachemaeva [i dr.]; patentoobladatel' ООО "Перфобур". – № 2017141481; заявл. 29.11.2017; opubl. 11.12.2018, Byul. № 35.

23. Pat. na polez. model' 195139 Ros. Federatsiya, MPK E21B 4/02, E21B 21/00, E21B 7/04. Buril'naya komponovka s malogabaritnym gidravlicheskim zaboynym dvigatelem / A.V. Lyagov, I.A. Lyagov; patentoobladatel' ООО "Перфобур". – № 2019120556; заявл. 25.12.2017; opubl. 15.01.2020, Byul. № 2.

Информация об авторах

Илья Александрович Лягов, канд. техн. наук, ген. директор
Александр Васильевич Лягов, д-р техн. наук, профессор
Владимир Владимирович Шайдаков, д-р техн. наук, профессор

Владимир Викторович Грогуленко, аспирант
Эльмира Якуповна Зинатуллина, канд. техн. наук, доцент

Information about the authors

Ilya A. Lyagov, PhD (engineering), General Director
Alexander V. Lyagov, DSc. (engineering), Professor
Vladimir V. Shaidakov, DSc. (engineering), Professor
Vladimir V. Grogulenko, postgraduate student
Elmira Ya. Zinatullina, PhD (engineering), associate professor