

УДК 622.248

ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ДАВЛЕНИЕМ НА ГАРЦЕВСКОМ НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

И. С. АВЛАСЕНКО, В. В. ПОЛОГЕЕНКО, Д. В. ПОРОШИН

*Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти
РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель*

Аннотация. В ряде районов Припятского прогиба в подсолевом и межсолевом нефтегазоносных комплексах встречены пласты с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД). В данной работе рассмотрен один из наиболее эффективных методов проводки глубоких скважин в зонах распространения АВПД, основанный на технологии бурения с управляемым давлением. Обсуждается вопрос научного обоснования выбора технологии строительства и конструкции скважины в условиях узкого или неизвестного окна бурения для конкретных геолого-технических условий одного из участков рассматриваемого региона.

Ключевые слова: скважина, промывочная жидкость, окно бурения, регулирование давления, бурение, плотность, АВПД, эквивалентная циркуляционная плотность.

Для цитирования: Авласенко, И. С. Инженерная оценка целесообразности применения технологии бурения с регулируемым давлением на Гарцевском нефтяном месторождении Припятского прогиба / И. С. Авласенко, В. В. Пологеевко, Д. В. Порошин // Нефтегазовый инжиниринг. – 2025. – № 1 (2). – С. 77–84.

ENGINEERING ASSESSMENT OF THE FEASIBILITY OF USING PRESSURE-CONTROLLED DRILLING TECHNOLOGY AT THE GARTSEVSKOYE FIELD OF THE PRIPYAT TROUGH

I. S. AVLASENKO, V. V. POLOGEENKO, D. V. POROSHIN

*The Belarusian Scientific Research and Design Institute of Oil
RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel*

Annotation. In a number of areas of the Pripyat Trough, formations with abnormally high reservoir pressures (AHRP) have been encountered in sub-salt and inter-salt oil and gas-bearing complexes. This paper discusses one of the most effective methods for drilling deep wells in zones of abnormally high reservoir pressures (AHRP), based on managed pressure drilling (MPD) technology. The issue of scientifically substantiating the choice of well construction technology and design under conditions of a narrow or unknown drilling window for specific geological and technical conditions of one of the sites in the examined region is discussed.

Keywords: well, construction technology, flushing fluid, drilling window, reservoir pressure, equivalent circulation density.

For citation. Avlasenko I. S., Pologeenko V. V., Poroshin D. V. Engineering assessment of the feasibility of using pressure-controlled drilling technology at the Gartsevskoye field of the Pripyat Trough. *Oil and gas engineering*, 2025, no. 1 (2), pp. 77–84 ((in Russian).

Введение. В процессе проведения поисково-разведочного бурения в подсолевом и межсолевом нефтегазоносных комплексах целого ряда зон и локальных объектов Припятского прогиба встречены аномально высокие пластовые давления [1, 2]. Так, при доразведке подсолевых залежей восточного блока Гарцевского нефтяного месторожде-

ния в межсолевых отложениях (туровские слои елецкого горизонта) были вскрыты породы-коллекторы с аномально-высокими пластовыми давлениями (АВПД) с весьма высокими значениями коэффициента аномальности. Условия бурения на скважинах с аномально-высокими пластовыми давлениями (АВПД) характеризуются узким допустимым диапазоном статической и циркуляционной плотности бурового раствора («окном бурения»). По этой причине вскрытие нефтегазоносного резервуара с АВПД привело к значительному непроизводительному времени строительства скважины. Были понесены дополнительные затраты при борьбе с газонефтеводопроявлением (ГНВП) и поглощениями.

В мировой практике одной из наиболее эффективных технологий в сходных условиях является бурение с управляемым давлением (БРД) [3]. Данная технология является дорогостоящей и ее применение экономически оправдано не на каждой скважине. В связи с этим актуальным является вопрос научного обоснования выбора технологии бурения и конструкции скважины в условиях узкого или неизвестного окна бурения для конкретных геолого-технических условий.

Применение технологии БРД снижает затраты на химические реагенты и буровой раствор, поглощаемые при превышении давления гидроразрыва. Проявления газонефтяной смеси из пласта оперативно обнаруживаются, а их объем значительно уменьшается за счет создания противодействия [4, 5].

Технология БРД, применяемая в системе «скважина – пласт» не ухудшает фильтрационные свойства пласта и снижает вероятность осложнений и аварий до минимума [6, 7]. Данная технология позволяет достичь значительного снижения воздействия промывочной жидкости на продуктивный пласт (снижение скин-эффекта в призабойной зоне скважины), дает возможность бурения трещиноватых коллекторов без необходимости кольматирования продуктивных зон, что способствует увеличению коэффициента извлечения нефти и сроков продуктивности скважин [8].

На сегодняшний день технология БРД получает широкое распространение в компаниях России. Опытно-промышленные работы с использованием БРД проводятся в компаниях ИГС-НЭУ, «Газпром» и др.

Данная технология имеет возможность развития и применения как на давно разрабатываемых месторождениях (в условиях просаженных пластовых давлений), так и на новых разведанных месторождениях для минимизации рисков возникновения газонефтеводопроявлений и других осложнений [9].

Главной особенностью данной технологии является обеспечение поддержки необходимого минимального давления на забое. Международная ассоциация буровых подрядчиков (англ.: International Association of Drilling Contractors, IADC) определяет БРД как «адаптивный процесс бурения», используемый для точного контроля профиля давления в кольцевом пространстве по всему стволу скважины [10–12]. Целью внедрения технологии является установление пределов давления в забойном пространстве и управление гидравлической системой в затрубном пространстве.

Цель работы. Инженерная оценка технологических преимуществ БРД по эквивалентной циркуляционной плотности (ЭЦП) на примере скважины 6 Гарцевская.

Материалы и методика проведения исследований. В ходе исследования авторами изучалось оборудование БРД, а также выполнялись расчеты в специализированном программном комплексе (Sysdrill) давления в затрубном пространстве при проведении операций во время бурения с различными режимами. С помощью технологии БРД исследовалась эффективность создания противодействия блоком дросселирования.

Основными элементами системы БРД являются роторный устьевой герметизатор (РУГ), блок дросселирования, расходомер Кориолиса. Роторный устьевой герметизатор позволяет нагнетать жидкость в затрубное пространство при подъеме колонны, а

также частично перекрывать его для увеличения давления. Блок дросселирования обеспечивает создание требуемого противодавления в скважине. Система БРД позволяет остановить и устранить умеренное проявление пластового флюида без глушения скважины. Расходомер Кориолиса – прибор, использующий эффект Кориолиса для измерения объемного расхода и плотности флюидов в режиме реального времени. Позволяет оперативно обнаружить даже минимальные проявления и поглощения.

В условиях узкого окна бурения необходимо точно знать эквивалентную циркуляционную плотность (ЭЦП), чтобы контролировать скважину. Кроме этого при проектировании важно определить возможность удержания ЭЦП во время всех операций в пределах окна бурения. Эти вопросы, а также инженерная оценка технологических преимуществ системы БРД по сравнению с другими методами проводки скважин в условиях АВПД рассматриваются в данной работе на примере гидравлического моделирования во время проведения основных операций при бурении межсолевых отложений в скважине 6 Гарцевская по проектной и предлагаемой конструкции [13].

В проектной конструкции скважины 6 Гарцевская предусмотрено вскрытие межсолевых отложений двумя секциями, первая диаметром 165,1 мм со спуском обсадной колонны (ОК) диаметром 140 мм, вторая – 114,3 мм со спуском эксплуатационного хвостовика диаметром 102 мм. Данное решение обусловлено наличием в межсолевых отложениях пластов, несовместимых по условиям вскрытия, а именно необходимостью использования разных буровых растворов для того, чтобы не допустить проявлений и поглощений.

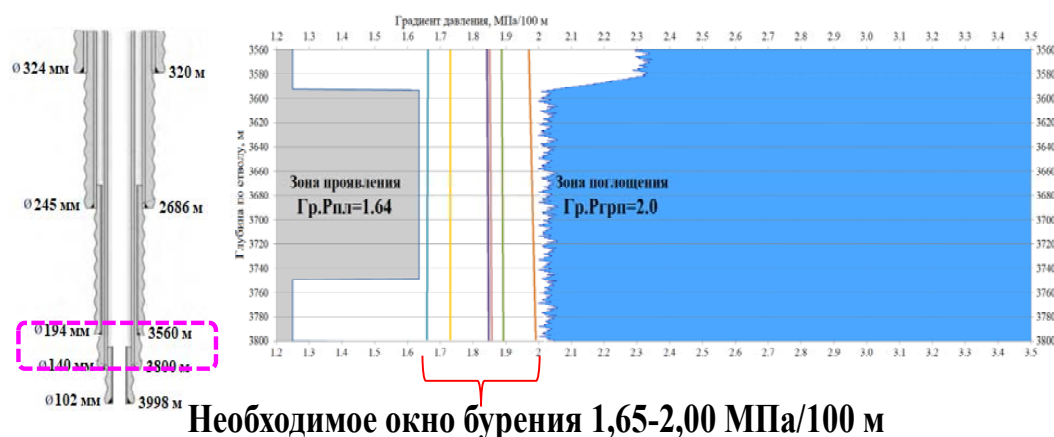
Результаты исследования. Авторами в данной статье рассматривается вопрос возможности за счет технологии БРД изменения проектной конструкции скважины со вскрытием межсолевых отложений одной секцией диаметром 165,1 мм со спуском ОК диаметром 140 мм.

При бурении по проектной конструкции первой секции диаметром 165,1 мм используется буровой раствор с плотностью $1,73 \text{ г/см}^3$. Согласно проведенным авторами расчетам, ЭЦП при этом находится в диапазоне $1,85\text{--}1,89 \text{ г/см}^3$ (рис. 1, а). При подъеме КНБК со стандартной скоростью 30 м/мин ЭЦП составит $1,61 \text{ г/см}^3$, что приведет к ГНВП, так как градиент пластового давления выше и составляет $1,64 \text{ МПа/100 м}$. Избежать этого можно путем снижения скорости подъема до 10 м/мин, ЭЦП при этом составит $1,65 \text{ г/см}^3$.

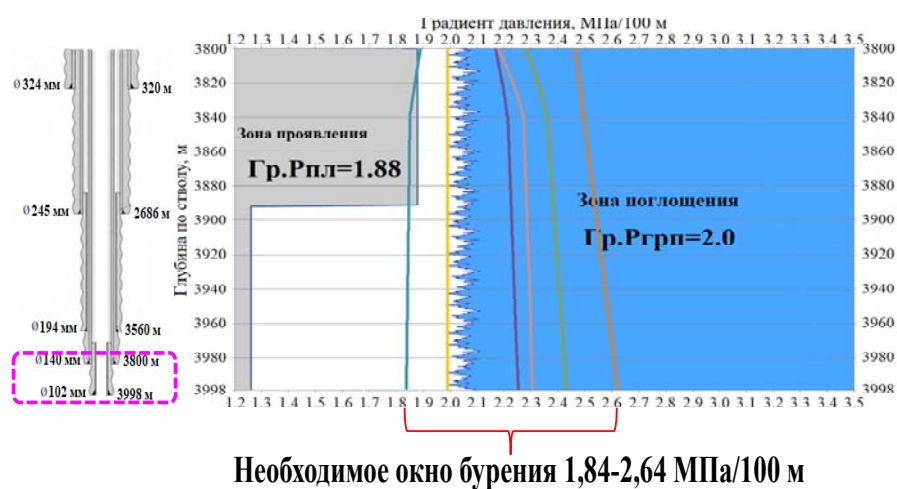
При спуске ОК со стандартной скоростью 30 м/мин ожидается гидроразрыв пород, поэтому необходимо ограничить скорость спуска ОК до 20 м/мин. Таким образом, бурение данной секции возможно по традиционной технологии, для чего необходимо ограничить скорость подъема КНБК до 10 м/мин и скорость спуска ОК до 20 м/мин. С учетом подъема и спуска КНБК требуемое для безопасного бурения «окно» составляет $1,65\text{--}2,0 \text{ МПа/100 м}$.

При бурении по проектной конструкции второй секции диаметром 114,3 мм используется буровой раствор с плотностью $1,99 \text{ г/см}^3$ (рис. 1, б). Согласно проведенным авторами расчетам, ЭЦП при этом находится в диапазоне $2,18\text{--}2,24 \text{ г/см}^3$. С учетом подъема и спуска КНБК требуемое для безопасного бурения «окно» составляет $1,84\text{--}2,64 \text{ МПа/100 м}$. Исходя из градиента пластового давления $1,64 \text{ МПа/100 м}$ и градиента гидроразрыва 2 МПа/100 м при бурении данной секции ожидается как ГНВП, так и поглощение бурового раствора.

Для бурения по технологии БРД выбрана плотность промывочной жидкости $1,73 \text{ г/см}^3$. Поддержание репрессии на пласт по технологии БРД обеспечивается дополнительным противодавлением на устье.



a)



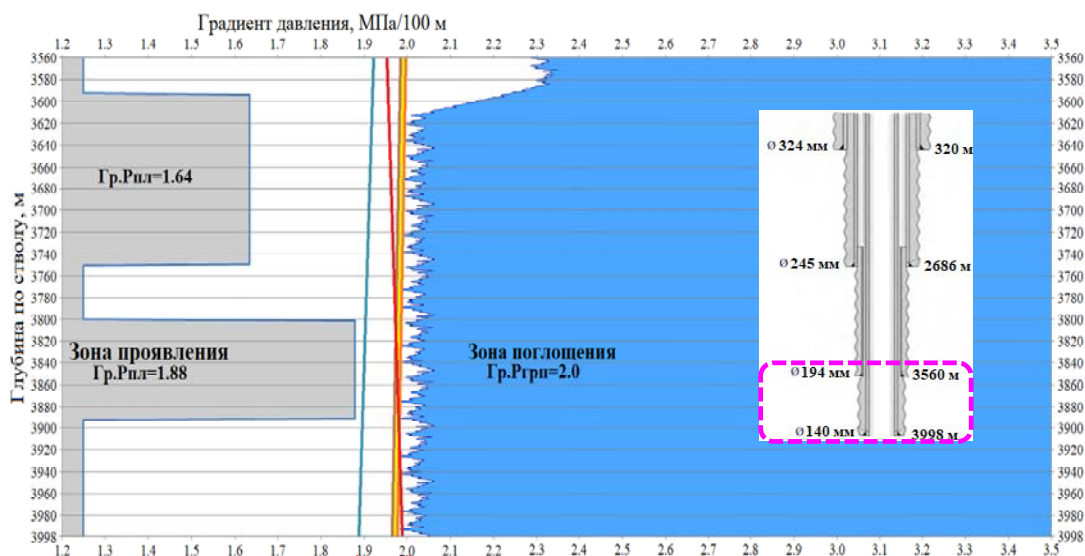
b)

— градиент ЭЦП при подъеме КНБК 10 м/мин; — градиент ЭЦП при подъеме КНБК 10 м/мин с МРД; — градиент ЭЦП при бурении 10 л/с; — градиент ЭЦП при бурении с 10 л/с с МРД; — градиент ЭЦП при спуске КНБК 30 м/мин; — градиент ЭЦП при спуске КНБК 30 м/мин с МРД; — градиент ЭЦП при бурении с 20 л/с; — градиент ЭЦП при бурении с 20 л/с с МРД; — градиент ЭЦП при спуске ОК 20 м/мин

Рис. 1. Градиенты давления во время всех операций бурения по проектной конструкции секций:
а – диаметром 165,1 мм; б – диаметром 114,3 мм

Fig. 1. Pressure gradients during all drilling operations according to the planned design of sections:
а – 165.1 mm in diameter; б – 114.3 mm in diameter

При бурении с технологией БРД по предлагаемой конструкции одной секцией диаметром 165,1 мм с учетом подъема и спуска КНБК требуемое для безопасного бурения «окно» составляет всего 1,88–2,0 МПа/100 м (рис. 2), что значительно ниже (в 14 раз), чем по стандартной технологии с проектной конструкцией. При этом исключаются как НГВП, так и поглощение бурового раствора.



Необходимое окно бурения 1,88-2,00 МПа/100 м

— градиент ЭЦП при подъеме КНБК 10 м/мин; — градиент ЭЦП при подъеме КНБК 10 м/мин с МРД; — градиент ЭЦП при бурении 10 л/с; — градиент ЭЦП при бурении с 10 л/с с МРД; — градиент ЭЦП при спуске КНБК 30 м/мин; — градиент ЭЦП при спуске КНБК 30 м/мин с МРД; — градиент ЭЦП при бурении с 20 л/с; — градиент ЭЦП при бурении с 20 л/с с МРД; — градиент ЭЦП при спуске ОК 20 м/мин

Рис. 2. Градиенты давления во время всех операций бурения с системой БРД по предлагаемой конструкции

Fig. 2. Pressure gradients during all drilling operations with the MPD system according to the proposed design

Закключение. Проведено гидравлическое моделирование бурения на примере скважины 6 Гарцевская в условиях АВПД с проектной конструкцией по стандартной технологии и с предлагаемой конструкцией с технологией БРД.

При бурении с проектной конструкцией скважины 6 Гарцевская в условиях АВПД по стандартной технологии ожидается как НГВП, так и поглощение бурового раствора.

Установлено, что с применением технологии БРД на примере скважины 6 Гарцевская требуется «окно бурения» в 14 раз меньшее, чем при стандартной технологии, что является важным техническим преимуществом.

Технология БРД при вскрытии межсоловых отложений одной секцией диаметром 165,1 мм скважины 6 Гарцевская в условиях АВПД позволяет обеспечить ЭЦП во время всех операций в пределах «окна бурения».

Данная работа выполнена в рамках тематики по внедрению новой техники и технологий лаборатории технологии бурения и восстановления скважин отдела строительства скважин БелНИПИнефть.

Литература

1. Порошин, В. Д. Аномальные пластовые давления в межсоловых и подсоловых девонских отложениях Припятского прогиба / В. Д. Порошин, Н. Л. Лобова // Доклады АН БССР. — 1990. — Т. 34, № 1. — С. 334.

2. Порошин, Д. В. Обеспечение долгосрочной целостности крепи горизонтальных скважин в традиционных коллекторах с освоением методом многостадийного гидроразрыва пласта по технологии Plug&Perf / Д. В. Порошин, С. В. Лелявский, Д. В. Пилипчук, В. В. Пологеев // Нефтяник Полесья. – 2022. – № 2. – С. 98.
3. Роснефть: Применение систем контроля давления для скважин с трещиноватым коллектором в условиях аномально низкого пластового давления // К. А. Чернокалов, А. Г. Пушкарский, А. М. Поляруш, М. И. Кошчер // Вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2016. – № 4. – С. 45–47.
4. Бабаян, Э. В. Технология управления скважиной при газонефтеводопроявлениях / Э. В. Бабаян. – Краснодар : Совет. Кубань, 2007. – 154 с.
5. Куксов, А. К. Предупреждение и ликвидация газонефтеводопроявлений при бурении / А. К. Куксов, Э. В. Бабаян, В. Д. Шевцов. – М. : Недра, 1992. – 251 с.
6. Литологические и гидродинамические факторы, определяющие условия первичного вскрытия горизонтальным бурением и освоение продуктивных интервалов рифейского природного резервуара Юрубчено-Тохомского НГКМ / А. Г. Вахромеев, Р. К. Розяпов, О. В. Постникова [и др.] // Геология и минеральносырьевые ресурсы Сибири. – 2015. – № 3. – С. 67–81.
7. Вахромеев, А. Г. Геодинамические аспекты исследования сложных горно-геологических условий бурения древнейших карбонатных резервуаров нефти и газа рифея: обзор проблемы на примере месторождений Байкитской нефтегазоносной области / А. Г. Вахромеев, С. А. Сверкунов, В. М. Иванишин // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 903–921. – DOI 10.5800/GT-2017-8-4-0323
8. Эффективный способ бурения скважин в условиях катастрофических поглощений в трещиноватых коллекторах Юрубчено-Тохомского месторождения / Р. Р. Гиниатуллин, В. В. Кириев, Д. Д. Крепостников [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 11. – С. 40–43. – DOI 10.24887/0028-2448-2017-11-40-43
9. Анализ применения технологий бурения с управляемым давлением на забое при проводке ствола скважины в карбонатных отложениях / В. А. Рябчук, Ю. П. Сердобинцев, В. А. Шмелев, Н. Н. Кривошеева // Молодой ученый. – 2019. – № 22. – С. 138–139.
10. Сверкунов, С. А. Применение технологии бурения с регулируемым давлением в условиях Восточной Сибири / С. А. Сверкунов // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2012. – № 2. – С. 122–125.
11. Бабаян, Э. В. Технология бурения с управлением забойным давлением в системе «скважина-пласт» : учеб. пособие / Э. В. Бабаян. – М ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 308 с. : ил., табл.
12. Бабаян, Э. В. Технология бурения скважин с поддержанием заданного давления / Э. В. Бабаян, А. И. Булатов. – М. : ВНИИОНГ, 1989. – (обзор. информ. Серия «Строительство скважин»).
13. Бабаян, Э. В. Инженерные расчеты при бурении / Э. В. Бабаян, А. В. Черненко. – М. : Инфра-Инженерия, 2018. – 440 с.

References

1. Poroshin V. D., Lobova N. L. Anomalous reservoir pressures in inter-salt and sub-salt Devonian deposits of the Pripyat trough. *Reports of the Academy of Sciences of the BSSR*, 1990, vol. 34, no. 1 (in Russian).
2. Poroshin D. V., Lelyavsky C. V., Pilipchuk D. V., Pologeenko V. V. Ensuring of long-term cementing Integrity of horizontal wells in traditional reservoirs with the development by using Plug & Perf multi-stage hydraulic fracturing. *Neftyanik polesya = Polesie oilman*, 2022, no. 2 (42), P. 98 (in Russian).
3. Chernokalov K. A., Pushkarsky A. G., Polyarush A. M., Koscher M. I. Application of pressure control systems for wells with fractured reservoirs under conditions of abnormally low reservoir

- pressure. *Nauchno-technicheskiy vestnik OAO «NK «Rosneft» = Scientific and Technical Bulletin of OJSC NK Rosneft*, 2016, no. 4, pp. 45–47 (in Russian).
4. Babayan E. V. Well control technology for gas, oil and water shows. Krasnodar, Sovetskaia Kuban Publ., 2007. 154 p. (in Russian).
 5. Kuksov A. K., Babayan E. V., Shevcov V. D. *Prevention and elimination of gas, oil and water intrusions during drilling*. Moscow, Nedra Publ., 1992. 251 p.
 6. Vahromeev A. G., Rozyapov R. K., Postnikova O. V., Kutukova N. M., Sverkunov S. A., Siraev R. U. Lithological and hydrodynamic factors that determine the conditions for the initial opening of horizontal drilling and the development of productive intervals of the Riphean natural reservoir of the Yurubcheno-Tokhonskoye oil and gas condensate field. *Geologia i mineralnosyrienye resursy Sibiri = Geology and mineral resources of Siberia*, 2015, no. 3, pp. 67–81 (in Russian).
 7. Vahromeev A. G., Sverkunov S. A., Ivanishin V. M., Rozyapov R. K., Danilova E. M. Geodynamic aspects of the study of complex mining and geological conditions for drilling ancient carbonate reservoirs of Riphean oil and gas: a review of the problem using the example of fields in the Baikit oil and gas region. *Geodinamika i tektonofizika = Geodynamics and Tectonophysics*, 2017, vol. 8, no. 4, pp. 903–921 (in Russian). DOI/10.5800/GT-2017-8-4-0323
 8. Giniatullin R. R., Kiriev V. V., Krepostnikov D. D., Chernokalov K. A., Zagrivny F. A., Dobrokhleb P. Yu. An effective method of drilling wells in conditions of catastrophic losses in fractured reservoirs of the Yurubcheno-Tokhonskoye field. *Neftyanoe hozyaistvo = Oil industry*, 2017, no. 11, pp. 40–43 (in Russian). DOI 10.24887/0028-2448-2017-11-40-43
 9. Ryabchuk V. A., Serdobintsev Yu. P., Shmelev V. A., Krivosheeva N. N. Analysis of the use of drilling technologies with controlled downhole pressure when drilling a well in carbonate deposits. *Molodoi ucheniy = Young scientist*, 2019, no. 22, pp. 138–139 (in Russian).
 10. Sverkunov S. A. Managed pressure drilling technology under conditions of Eastern Siberia. *Izvestia Sibirskogo otdelenia sekcii nauk o Zemle Rossiyskoi akademii estestvennykh nauk. Geologia, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdeniy = News of the Siberian Branch of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, prospecting and exploration of ore deposits*, 2012, no. 2, pp. 122–125 (in Russian).
 11. Babayan E. V. Drilling technology with bottomhole pressure control in the well-reservoir system. Moscow: Vologda, Infra-inzheneria Publ., 2021, p. 308 (in Russian).
 12. Babayan E. V., Bulatov A. I. *Technology of drilling wells while maintaining a given pressure*. Obzor. Inform. Ser. “Stroitelstvo skvazhin”. Moscow, VNIIONG, 1989 (in Russian).
 13. Бабаян, Э. В. Инженерные расчеты при бурении / Э. В. Бабаян, А. В. Черненко. – М. : Инфра-Инженерия, 2018. – 440 с.

Информация об авторах

Авласенко Игорь Сергеевич – инженер-технолог лаборатории технологии бурения и восстановления скважин. Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» (ул. Книжная, 15Б, 246003, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: I.Avlasenko@beloil.by

Пологеенко Владимир Владимирович – заведующий лабораторией технологии бурения и восстановления скважин. Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» (ул. Книжная, 15Б, 246003, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: pologeenko@beloil.by

Порошин Дмитрий Валерьевич – заведующий отделом строительства скважин. Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» (ул. Книжная, 15Б, 246003, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: poroshin@beloil.by

Information about the authors

Avlasenko Igor Sergeevich – engineer-technologist of the Laboratory of technology of drilling and well restoration. Belarusian Scientific Research and Design Institute of Oil RUE “Production Association “Belorusneft” (15B, Knizhnaya Str., 246003, Gomel, Republic of Bel3arus). E-mail: I.Avlasenko@beloil.by

Pologeenko Vladimir Vladimirovich – Head of the Laboratory of technology of drilling and well restoration. Belarusian Scientific Research and Design Institute of Oil RUE “Production Association “Belorusneft” (15B, Knizhnaya Str., 246003, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: pologeenko@beloil.by

Poroshin Dmitry Valerievich – Head of the Department of well constructing. Belarusian Scientific Research and Design Institute of Oil RUE “Production Association “Belorusneft” (15B, Knizhnaya Str., 246003, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: poroshin@beloil.by

Поступила в редакцию 07.11.2024