

УДК 622.243

**Рекомендации по подбору конструкций многозабойных скважин в
разных геологических условиях с учетом накопленного опыта**

**А. А. Зернин*, Е. С. Зюзов, А. С. Сергеев, Р. М. Хисматуллин,
М. А. Стариков**

ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень, Россия

*e-mail: aazernin@tnnc.rosneft.ru

Аннотация. Авторами статьи обобщен опыт применения многозабойных скважин, проведен анализ эффективности многозабойных скважин (МЗС) по сравнению с горизонтальными скважинами на месторождениях ПАО «НК «Роснефть» с различным геологическим строением. Для оценки эффективности МЗС по сравнению с другими типами заканчивания разработан алгоритм, основывающийся на подборе участков размещения скважин со схожими фильтрационно-емкостными свойствами, энергетическим состоянием пласта и условиями освоения для оценки запускных показателей, темпов падения, по участкам с эксплуатацией больше шести месяцев — накопленных показателей. Разработана матрица применимости МЗС в различных геологических условиях, даны рекомендации по выбору оптимальной конструкции. Такого рода анализ проводился впервые с получением достаточной накопленной статистики в результате кратного увеличения объемов бурения сложных скважин в последние годы.

Полученные результаты позволяют проектировать оптимальную систему разработки для новых активов, адаптировать системы разработки зрелых месторождений, выбирать оптимальную конструкцию МЗС для определенных геологических условий на основе накопленного опыта.

Ключевые слова: многозабойная скважина; горизонтальная скважина; участок сравнения; фильтрационно-емкостные свойства; коэффициент продуктивности

**Recommendations for the multilateral wells design selection in various
geological conditions based on lessons learned**

Anton A. Zernin*, Evgeny S. Ziuzev, Artem S. Sergeev, Robert M. Khismatullin, Maksim A. Starikov

Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen, Russia

*e-mail: aazernin@tnnc.rosneft.ru

Abstract. The authors of the article have summarized the experience of multilateral well application, performed an efficiency analysis of multilateral wells vs horizontal wells in Rosneft Oil Company's fields with various subsurface architecture. The algorithm for multilateral well efficiency estimation, compared to other type of well completions, was developed. This algorithm is based on the selection of areas for well locations with similar reservoir properties, reservoir energy conditions, and reservoir development conditions to evaluate production startup parameters, decline rates, cumulative parameters for the areas of over 6 month production. A matrix of multilateral well applicability in various geological conditions was generated, and recommendations for preferable well design were made. This type of analysis was conducted for the first time due to collection of sufficient statistical

data, because of a multiple increase in the amount of drilling complex wells in the recent years.

The obtained results provide an opportunity to design an efficient field development system for new assets, perform an adjustment of brownfields development systems, select multilateral well design for certain geological conditions based on lessons learned.

Key words: multilateral well; horizontal well; reference area; reservoir properties; productivity index

Введение

На сегодняшний день в фокусе внимания оказываются месторождения сложного геологического строения, характеризующиеся высокой изменчивостью фильтрационно-емкостных свойств по площади, наличием значительного количества карбонатизированных и глинистых пропластков в разрезе, контактными с водой и газом запасами. Все вышеперечисленные факторы оказывают существенное влияние на разработку: накопленную добычу на скважину, прорывы газа в добывающие скважины, образование конуса подстилающей воды и, как следствие, величину конечного коэффициента нефтеотдачи и экономической эффективности проекта. Мировой опыт разработки показал, что в условиях осложняющих факторов многозабойные скважины (МЗС) могут стать эффективным инструментом, позволяющим существенно улучшить ключевые показатели проектов.

Первые многозабойные скважины были пробурены еще в 50-х годах прошлого века [1]. Однако в то время технологии были недостаточно развиты, чтобы сделать это эффективно. Развитие шельфовых проектов дало толчок к развитию технологии в 1990-х годах, где встал вопрос о необходимости сокращения стоимости бурения на шельфе. С усложнением геологического строения разрабатываемых месторождений потребность в применении технологии многозабойного бурения появилась и на суше.

В периметре ПАО «НК «Роснефть» первая скважина рассматриваемой конструкции пробурена на Красногорском месторождении еще в 2009 году. А уже спустя 11 лет количество скважин составило свыше 400, при этом большая часть реализована в 2020 году, что свидетельствует о практической значимости используемой технологии. В настоящее время наблюдается пик бурения МЗС в России и мире, при этом сложность конструкций постоянно растет. Так, в 2020 году на Среднебугубинском месторождении реализован уникальный проект — многозабойная скважина «березовый лист», конструкция которой состоит из 15 боковых стволов с общей проходкой 12 792 м [2, 3].

МЗС позволяют оптимизировать стратегию разработки залежей со сложным геологическим строением, особенно это актуально там, где невозможно проведение гидроразрыва пласта по причине высоких рисков прорыва трещины в газовую шапку или водоносную область. Многозабойные скважины позволяют минимизировать негативные факторы разработки тонких оторочек за счет сокращения депрессии в результате большего охвата продуктивного пласта, соответственно, снижая при этом риски конусообразования и прорыва газа из газовой шапки. Еще одна область применения МЗС — бурение в высокорасчлененных объектах с целью повышения охвата

состоящих из отдельных, не связанных между собой пропластков, где применение классических горизонтальных скважин (ГС) неэффективно.

Виды многозабойных скважин

В мировом опыте можно выделить две основные классификации многозабойных скважин.

1) Классификация по схеме заканчивания (Taml — Technology advancement for multi-laterals), введенная в июле 1999 года на форуме по вопросам технического прогресса, состоявшемся в Абердине, Шотландия. По данной классификации все МЗС делятся на 6 уровней в зависимости от степени их механической сложности, соединительных возможностей и обеспечения гидравлической изоляции [4]:

1-й уровень — открытый забой в основном и боковом стволах;

2-й уровень — обсаженный фильтроэлементами основной ствол с отсутствием герметичного сочленения с боковым, который имеет открытый забой или обсадку фильтроэлементами;

3-й уровень — боковой ствол имеет механическое крепление стыка без цементированья;

4-й уровень — место стыка бокового и основного стволов зацементировано;

5-й уровень — место стыка зацементировано и герметично, возможна одновременно-раздельная добыча;

6-й уровень — основной ствол имеет разветвление на забое. Каждый ствол обсажен, зацементирован и герметичен. Сочленение образует единое целое с эксплуатационной колонной, возможна одновременно-раздельная добыча.

2) Классификация по типу вскрытия продуктивных пластов. По данной классификации можно разделить МЗС на два основных типа:

- многозабойные скважины, дренирующие один объект разработки;
- многоствольные скважины, подразумевающие эксплуатацию нескольких объектов разработки с одновременно-раздельной технологией добычи.

В свою очередь первый тип подразумевает деление на следующие под-типы (рис. 1).

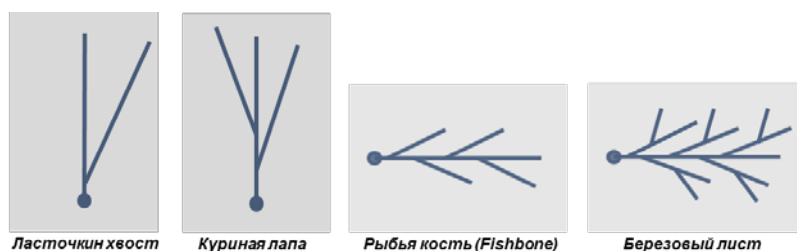


Рис. 1. Классификация МЗС по типу вскрытия

- Ласточкин хвост — бурение одного бокового ствола в одном пласте с основным — раздвоение. Длина бокового ствола сопоставима с длиной основного ствола. Возможно как вертикальное, так и латеральное расположение боковых стволов.

- Куриная лапа — бурение двух боковых стволов в одном пласте с основным. Длины боковых стволов сопоставимы с длиной основного ствола. Возможно как вертикальное, так и латеральное расположение боковых

стволов, а также вскрытие одним из боковых столбов выше/нижележащего пласта в пределах объекта разработки.

- Рыбья кость (Fishbone) — бурение 4 боковых стволов и более длинной кратной меньше основного. Возможно как вертикальное, так и латеральное расположение боковых стволов.

- Березовый лист — бурение 4 боковых стволов и более боковых стволов, где в каждом из них есть ответвление на 2 или более стволов.

Согласно вышеприведенным классификациям, большинство МЗС в ПАО «НК «Роснефть» реализованы по уровню сложности Tam1-2 (99 %), лишь 5 скважин закончены по конструкции Tam1-3 на Русском месторождении, цель усложнения конструкции в данном случае — минимизация рисков коллапса стенок скважины и снижения выноса КВЧ в слабokonсолидированном коллекторе.

По типу вскрытия основными конструкциями МЗС являются следующие: Ласточкин хвост в условиях расчлененного коллектора (49 %) и Рыбья кость в условиях монолитного коллектора (41 %).

Геологические условия бурения

В периметре ПАО «НК «Роснефть» многозабойные скважины реализованы в различных геологических условиях, а именно как в терригенных, так и в карбонатных коллекторах, на пластово-сводовых, тектонически и литологически экранированных залежах.

По данным статистики, на 01.09.2020 отмечается низкий процент скважин, пробуренных в карбонатном коллекторе (рис. 2), что связано с более сложными геологическими условиями (наличием систем трещин) и требует дополнительного изучения.

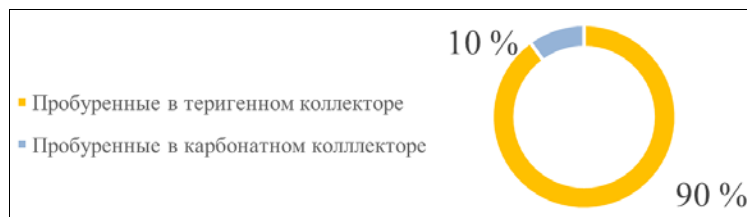


Рис. 2. Распределение скважин в типах коллектора

Все МЗС реализованы в коллекторах с проницаемостью более 1мД, что обусловлено необходимостью стимуляции призабойной зоны и снижения скин-фактора. Основным методом стимуляции является гидроразрыв пласта (ГРП), который технологически сложно осуществить в нескольких стволах одной скважины. Дополнительно стоит отметить, что 78 % МЗС в ПАО «НК «Роснефть» пробурены в контактных запасах с целью прироста коэффициента продуктивности и снижения депрессии на пласт.

Таким образом, разнообразие геологических условий, в которых эксплуатируются МЗС, требует обобщения и выработки рекомендаций с учетом наиболее успешных практик.

Оценка эффективности в разных геологических условиях

В ПАО «НК «Роснефть» на 01.09.2020 введено в эксплуатацию 408 многозабойных скважин на 26 месторождениях. Лидерами по размещению многоза-

бойных скважин являются пять месторождений: Ванкорское, Среднеботуобинское, Тагульское, Верхнечонское, Советское. На них приходится 63 % всех многозабойных скважин.

В рамках осуществления анализа эффективности реализован подбор пар скважин (ГС+МЗС) в схожих геологических условиях, а также проведено сравнение запускных и эксплуатационных показателей. Для каждой МЗС подбиралась горизонтальная скважина, пробуренная в аналогичных геологических условиях в части проницаемости и мощности пласта на незначительном удалении (максимум 2 шага проектной сетки). Накопленная добыча приводилась за период 6 или 12 месяцев. Всего проанализировано 56 таких участков. По 44 (79 %) из них отмечается прирост добычи МЗС относительно ГС.

Для анализа эффективности МЗС с точки зрения геологических условий были выделены группы месторождений, в которых пробурены многозабойные скважины. Первые две большие группы — это контактные и неконтактные запасы. Внутри этих групп сделана градация по проницаемости, условно принята граница 10 мД. И дополнительно отмечены осложняющие факторы, такие как средняя расчлененность разреза более 3 и повышенная вязкость нефти (> 50 сП) (рис. 3).

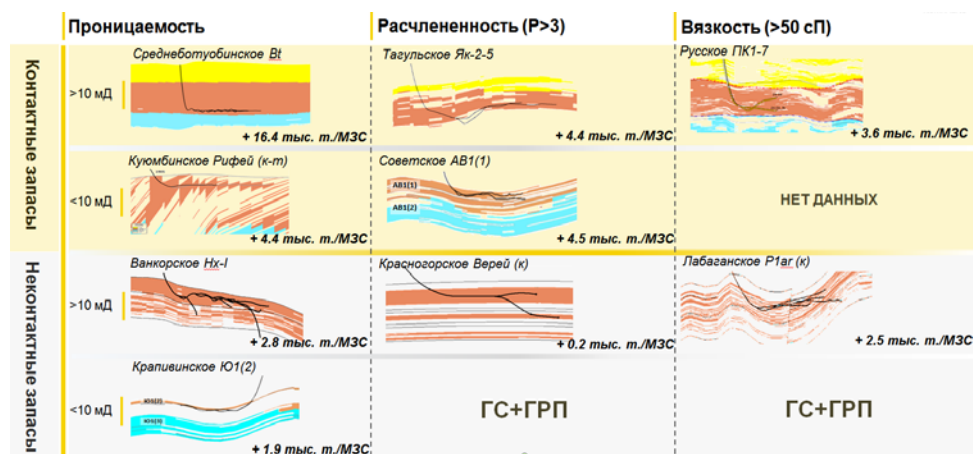


Рис. 3. Оценка эффективности многозабойных скважин в разных геологических условиях

Наибольшую эффективность МЗС показывают в терригенных коллекторах. В карбонатных коллекторах опыт применения пока невелик, и однозначные выводы об эффективности сделать сложно.

Дополнительно в рамках анализа выявлен следующий успешный и негативный опыт применения различных конструкций.

В монолитном коллекторе

Латерально разветвленные скважины показывают наибольшую эффективность в контактных запасах в монолитном коллекторе, когда необходимо максимально дистанцироваться от нежелательного флюида и снизить конусообразование путем уменьшения удельной депрессии на метр ствола. Мировым рекордсменом строительства скважины такого типа стало Сред-

неботуобинское месторождение, где суммарная проходка в пласте превысила 10 км, отходы от основного центрального ствола превысили 400 м. В условиях депрессии на пласт, не превышающей 5 атм, стартовый дебит составил 400 т/сут. Скважина схожей конструкции, пробуренная на Сузунском месторождении, но с небольшим разведением боковых стволов до 70 м показала отрицательную эффективность, что подтверждает динамика отбора от начальных извлекаемых запасов, при такой конструкции МЗС соответствует горизонтальной скважине (рис. 4).

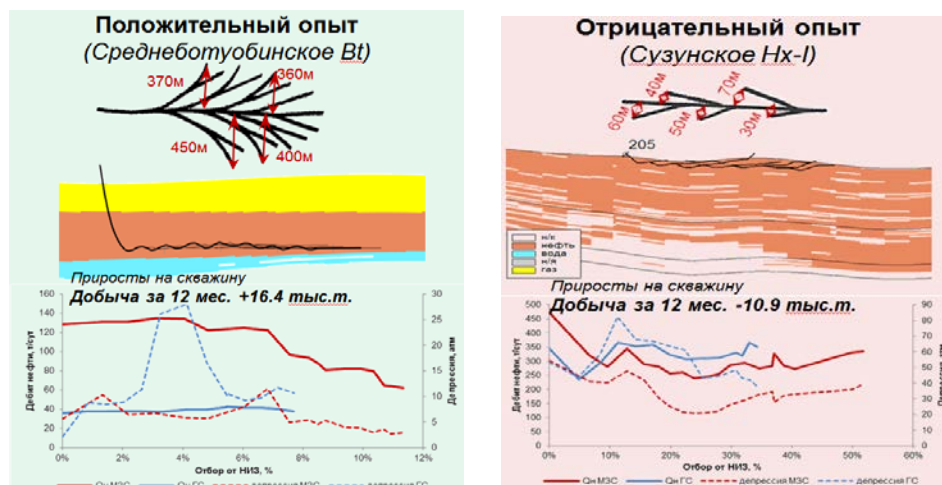


Рис. 4. Пример применения разветвленных скважин в монолитном коллекторе

В расчлененном коллекторе

Большой опыт реализации МЗС в расчлененном коллекторе имеется на Русском месторождении — объект ПК1-7. Известно, что пласты ПК имеют сложное строение, обусловленное их континентальным генезисом. Часто выделяются отдельные песчаные пачки, которые в отдельных частях месторождения могут сливаться в единую [5]. Бурение МЗС в данных условиях направлено на вскрытие каждой пачки отдельным стволом, тем самым обеспечивается увеличение охвата запасов по вертикали. Опыт показал, что в случае же, когда пачки образуют единую песчаную линзу, эффективность МЗС данной конструкции резко падает. Бурение МЗС в таких условиях всегда целесообразно. Динамика дебита нефти МЗС в нерасчлененном коллекторе соответствует динамике дебита ГС в аналогичных условиях (рис. 5).

В осложненных подстилающей водой геологических условиях

Еще один важный опыт был получен на Крапивинском и Советском месторождениях, где в одинаковых условиях тонких нефтенасыщенных толщин и подстилающей водой с достаточно низкой проницаемостью ($> 1 \text{ мД}$ и $< 10 \text{ мД}$) были реализованы многозабойные скважины и горизонтальные скважины с многостадийным ГРП. Скважины с ГРП на старте показали обводненность, превышающую 70 %, по причине прорыва трещин в водонасыщенную часть. В то время как дебит МЗС за счет бурения в целевом интервале и более высокой продуктивности выше в 2–5 раз относительно ГС и ГС+МГРП (рис. 6).

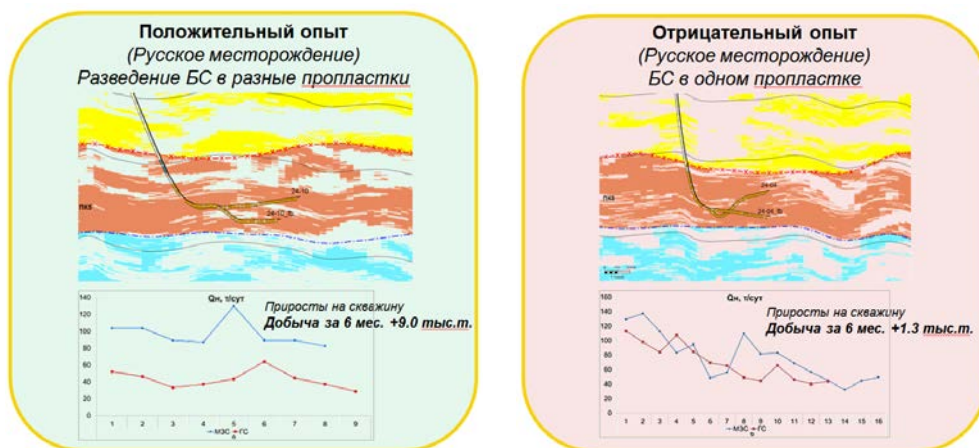


Рис. 5. Пример применения многозабойных скважин в расчлененном коллекторе

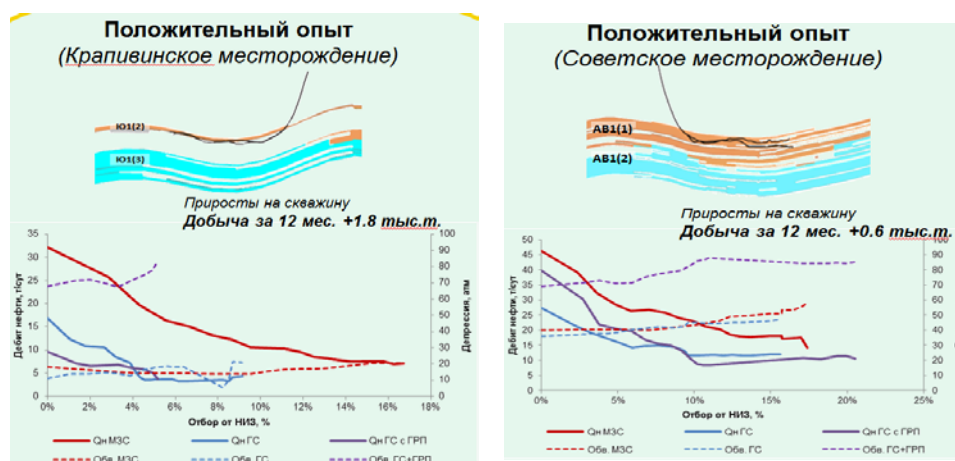


Рис. 6. Пример применения многозабойных скважин в контактных запасах

В ходе изучения эффективности МЗС был проведен анализ стоимости скважин в разрезе недропользователей и месторождений ПАО «НК «Роснефть», а также проведена оценка средних показателей эксплуатации.

Проведенный анализ экономической эффективности скважин различной конструкции позволил сделать ряд важных выводов:

- средний прирост накопленной добычи за 6 месяцев на одну МЗС составил 4,1 тыс. т; лидером по приросту является Среднеботуобинское месторождение;
- средняя стоимость МЗС, пробуренных в Компании, на 14 % больше аналогичного показателя скважин с горизонтальным окончанием, при этом МЗС имеют большую экономическую эффективность.

Исходя из оцененного опыта, можно сформулировать три основные рекомендации.

1. В монолитном коллекторе рекомендуется бурить МЗС с максимальными разветвленными стволами по латерали.

2. В расчлененном коллекторе рекомендуется вертикальное разведение боковых стволов, при этом при снижении расчлененности эффективность МЗС сильно падает.

3. В осложненных подстилающей водой геологических условиях с низкими значениями проницаемости ($> 1\text{мД}$ и $< 10\text{мД}$) рекомендуется реализация МЗС, в качестве альтернативы технологии — ГС с МГРП.

Перспективы развития МЗС

На сегодняшний день, вопрос о тиражировании технологии многозабойных скважин уже решен — на месторождениях ПАО «НК «Роснефть» кратно увеличивают количество таких скважин по причине их эффективности.

Следующий шаг — это развитие технологии и привлечение в работу инновационных технологий.

Основные направления развития таковы.

- Развитие текущих технологий Taml-1 и Taml-2, поиск оптимумов для различных геологических условий — длина и конфигурации стволов, работа с профилями скважин — совершенство участков ствола с «трамплинами» и подбор бурильного инструмента для обеспечения необходимых отходов в пространстве.
- Бурение многоствольных скважин на разные объекты с одновременно-раздельной добычей с целью сокращения транзитных секций.
- Реализация опытных работ по использованию Taml-2 с маркерной системой.
- Бурение скважин уровня сложности Taml-5, с оборудованием для одновременно-раздельной добычи.
- Бурение МЗС с ГРП в низкопроницаемом коллекторе.

Выводы

Рассмотрены и классифицированы по типам заканчивания все многозабойные скважины, пробуренные в ПАО «НК «Роснефть» на 01.09.2020 в паре или группе с одноствольными горизонтальными скважинами в аналогичных геологических условиях.

По результатам анализа отмечается более высокая эффективность МЗС относительно ГС за счет набора дополнительной проходки по пласту, что подтверждается более высокими значениями накопленной добычи нефти. В первые 6 месяцев прирост накопленной добычи нефти на одну МЗС составил 4,1 тыс. т.

Показан положительный и отрицательный опыт реализации МЗС, выделены основные рекомендации для разных типов коллекторов, которые заключаются в следующем — бурение латерально разветвленных стволов в монолитном коллекторе, в расчлененном коллекторе максимальную эффективность показывают скважины с разведением стволов по вертикали.

Объемы бурения и сложность конструкций многозабойных скважин в ПАО «НК «Роснефть» наращиваются с каждым годом. В настоящее время мы наблюдаем революцию в строительстве и заканчивании скважин, аналогичную началу применения гидроразрыва пласта. Многозабойные скважины при грамотном применении, исходя из геологических условий, позволяют дренировать большие запасы при сопоставимых экономических затратах, снижать риски прорыва нежелательного флюида, увеличивать дебиты нефти.

Библиографический список

1. Григорян, А. М. Многозабойное бурение / А. М. Григорян, К. И. Коваленко. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 1953. – № 4. – С. 5–13.
2. Эффективность бурения и заканчивания наклонно-направленных нефтедобывающих скважин в Восточной Сибири через эволюцию горизонтального участка — от одиночных стволов к конструкции «березовый лист» в связи с детализацией геологического строения залежей УВ / В. А. Гринченко, Д. З. Махмутов, В. Ю. Близиных [и др.]. – DOI 10.33285/0130-3872-2020-5(329)-8-15. – Текст : непосредственный // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2020. – № 5 (329). – С. 8–15.
3. 15 в 1. Успешное применение опыта строительства 15-ствольной скважины / И. В. Леванов, Д. Н. Сиротин, И. А. Левин [и др.]. – Текст : электронный // Российская нефтегазовая техническая конференция SPE (26–29 октября 2020). – URL: <https://www.spe.org/binaries/content/assets/spe-events/2020/conference/20rptc/20rptc-programme-russian-download.pdf>.
4. Фаттахов, М. М. Классификатор многозабойных и многоствольных скважин / М. М. Фаттахов. – Текст : непосредственный // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2015. – № 4. – С. 22–24.
5. Янкова, Н. В. Особенности сейсмогеологической модели сложнопостроенной залежи Русского месторождения / Н. В. Янкова, И. А. Копысова. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2015. – № 3 (40). – С. 20–24.

References

1. Grigoryan, A. M., & Kovalenko, K. I. (1953). Mnozozaboynoye burenie. Oil Industry, (4), pp. 5-13. (In Russian).
2. Grinchenko, V. A., Makhmutov, D. Z., Bliznyukov, V. I., Gorbov, A. N., Valeev, R. R., Sultanov, R. B.,... Vakhromeev, A. G. (2020). Efficiency of drilling and completion of directional oil-producing wells in the Eastern Siberia through a horizontal section evolution - from single wellbores to the "birch-leaf" design due to detailing of hydrocarbon deposits geological structure. Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea, (5(329)), pp. 8-15. (In Russian). DOI: 10.33285/0130-3872-2020-5(329)-8-15
3. Levanov, I. V., Sirotin, D. N., Levin, I. A., Efimov, R. A., Lukyantseva, E. A., Oparin, I. A.,... Nikitenko, I. L. (2020). 15 in 1. Experience Utilization to Construct Multilateral Well with 15 Lateral Branches. SPE Russian Petroleum Technology Conference, October, 26-29, 2020. (In English). DOI: 10.2118/201865-MS
- Fattakhov, M. M. (2015). Classifier of splitters and multi-lateral wells. Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea, (4), pp. 22-24. (In Russian).
5. Yankova, N. V., & Kopysova, I. A. (2015). Features of geoseismic modeling of Russkoye field complex deposit. Nauchno-tehnicheskiiy vestnik OAO "NK "Rosneft", (3(40)), pp. 20-24. (In Russian).

Сведения об авторах

Зернин Антон Александрович, главный инженер проекта, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень, e-mail: aazernin@tnnc.rosneft.ru

Зюев Евгений Сергеевич, эксперт, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

Сергеев Артем Сергеевич, ведущий специалист, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

Хисматуллин Роберт Миниярович, главный специалист, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

Стариков Максим Александрович, главный специалист, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

Information about the authors

Anton A. Zernin, Chief Project Engineer, Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen, e-mail: aazernin@tnnc.rosneft.ru

Evgeny S. Ziuzev, Expert, Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen

Artem S. Sergeev, Leading Specialist, Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen

Robert M. Khismatullin, Chief Specialist, Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen

Maksim A. Starikov, Chief Specialist, Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen