



ПЛАНИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОСВОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН С МНОГОСТАДИЙНЫМ ГИДРОРАЗРЫВОМ ПЛАСТА

Т.И. ГАТАУЛЛИН, А.Ю. СМИРНОВ, Е.В. КРЮЧКОВА*

ООО «НОВАТЭК НТЦ»

7, ул. Пожарных и спасателей, г. Тюмень 625031, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Распространенной проблемой освоения скважин в условиях трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) является контроль призабойной зоны скважины, а именно подбор режимов эксплуатации, при которых будет обеспечиваться достаточный вынос жидкости гидравлического разрыва пласта (ГРП), проппанта, углеводородной смеси (УВС) без разрушения породы. Разрушение породы является наиболее непредсказуемым фактором на текущий момент в связи с низким уровнем изученности процессов, происходящих в призабойной зоне ствола скважины. Разрушение породы приводит к образованию обломков разной величины, которые, проникая в скважинное пространство и заполняя его, приводят к ухудшению либо потере продуктивности скважины. Кроме того, поступление обломков горных пород в скважину может сопровождаться их выносом на устье скважины, что вызывает риск повреждения устьевого оборудования и забивание скважинных линий. Важно выявить, при каких режимах испытания скважины возникают наибольшее напряжение на поровое пространство около стенки ствола скважины. После этого сформировать рекомендации по эксплуатации скважины.

Цель. Выявить, при каких условиях возникают наибольшие напряжения в поровом пространстве около стенки ствола скважины, приводящие к его обрушению. После этого сформировать рекомендации по безопасной эксплуатации скважины.

Материалы. В работе использованы результаты специальных исследований керна, построенных геомеханических моделей, фактических замеров дебитов и давлений при освоении и эксплуатации скважин. Произведены расчеты давления обрушения порового пространства вдоль ствола скважины. Проведены расчеты по выносу обломков.

Результаты. Предлагаемый подход обеспечивает контроль за давлением обрушения породы при любых темпах снижения забойного давления, что позволяет минимизировать риски обрушения породы. Это позволяет снизить количество аварийных ситуаций и осложнений при освоении и эксплуатации скважин.

Заключение. В процессе работы проанализирован массив данных освоения и эксплуатации скважин, проанализированы причины образования обломков. Произведены расчеты допустимых забойных давлений и режимов эксплуатации скважин. По результатам контроля за забойным давлением случаев обрушения породы и выноса ее на поверхность более не наблюдалось. Разработана программа дальнейшего уточнения и масштабирования расчетов.

Ключевые слова: многостадийный гидроразрыв пласта (МСГРП), освоение скважин, депрессия, поровое пространство, обрушение породы, продуктивность

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Гатауллин Т.И., Смирнов А.Ю., Крючкова Е.В. Планирование режимов освоения и эксплуатации скважин с многостадийным гидроразрывом пласта. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(3):24—35.

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-3-24-35> EDN: [EMFRLW](#)

Статья поступила в редакцию 18.08.2025
Принята к публикации 15.09.2025
Опубликована 30.09.2025

* Автор, ответственный за переписку

ORGANIZATION OF WELL DEVELOPMENT WITH MULTISTAGE HYDRAULIC FRACTURING

TIMUR I. GATAULLIN, ARTEM Yu. SMIRNOV, EKATERINA V. KRYUCHKOVA*

NOVATEK Scientific and Technical Center
7, Pozharnykh i spasateley str., Tyumen 625031, Russian Federation

ABSTRACT

Background. Challenge in developing wells with hard-to-recover reserves is monitoring the well's near-wellbore zone, specifically, selecting operating modes that will ensure sufficient flow of hydraulic fracturing fluid, proppant, and hydrocarbon mixture without rock failure. Rock failure is the most unpredictable factor due to the low understanding of the processes in the near-wellbore zone. Rock failure results in the formation of varying sizes rock fragments. These rocks lead to deterioration or loss of well productivity by penetrating and filling the wellbore. The entry of rock into the wellbore leads to the risk of damage to wellhead equipment and clogging of well lines. It is important to identify which well testing modes cause the greatest stress on the pore space near the wellbore zone. After this, recommendations for well operation can be developed.

Aim. To identify conditions causing maximum stresses in the pore space near the wellbore wall, which can lead to its collapse. On this basis, to develop recommendations for safe well operation.

Materials and methods. The study was conducted using the results of core analysis, constructed geomechanical models, and actual flow rate/pressure measurements during well completion and production. Methods for calculating pore space collapse pressure along the wellbore were developed, including fragment transport calculations.

Results. The proposed approach ensures control over rock collapse pressure at any bottomhole pressure drawdown rate, minimizing collapse risks. This significantly reduces accident rates and operational complications during well completion and production.

Conclusion. The research analyzed extensive well completion and production data, investigating the causes of fragment generation. An original methodology for calculating permissible bottomhole pressures and optimal well operation modes was developed. Following implementation, no further incidents of rock collapse or surface fragment transport were observed. A program for further methodology refinement and scaling was established.

Keywords: multi-stage hydraulic fracturing (MSHF), well completion, drawdown, pore space, rock collapse, productivity

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Funding: the study received no external funding.

For citation: Gataullin T.I., Smirnov A.Yu., Kryuchkova E.V. Organization of well development with multistage hydraulic fracturing. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(3):24—35. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-3-24-35> EDN: EMFRLW

Manuscript received 18 August 2025
Accepted 15 September 2025
Published 30 September 2025

* Corresponding author

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING OF HYDROCARBON RESERVES

Является общеизвестным фактом то, что доля традиционных запасов в структуре добычи нефтяных и газовых компаний с течением времени неуклонно снижается. Это обусловлено не только истощением зрелых месторождений, но и развитием технологий бурения и добычи, которые делают возможными разработку месторождений, которые ранее считались экономически нерентабельными. Вовлечение в работу таких месторождений не только позволяет повысить общую валовую добычу углеводородов, но и повысить их качество, например путем вовлечения залежей с более высоким содержанием конденсата, что характерно для юрских и ачимовских отложений.

Однако, как уже упоминалось выше, вовлечение подобных залежей сопряжено с большим количеством технологических трудностей, поскольку в подавляющем числе случаев такие залежи характеризуются сложными геологическими условиями, такими как:

- аномально высокие температура и давление;
- крайне низкая проницаемость;
- наличие тектонических нарушений;

- смешанный характер насыщения.

Такие условия требуют целого комплекса технологических решений для обеспечения рациональной и эффективной выработки, которые, однако, не могут гарантировать стопроцентной надежности всех этапов технологического процесса.

Одним из ярких примеров решения подобного рода задач является месторождение «Т» на полуострове Ямал, где в настоящее время ведется освоение залежей юрского периода.

Среднеюрские отложения площади месторождения «Т» сформированы в прибрежно-морских и мелководно-морских условиях. Коллектор выской свиты представлен песчаными отложениями эстуария и русел с влиянием приливно-отливных процессов, средняя песчаность которых составляет 37%. Малышевская свита представлена преимущественно глинистыми отложениями проделты и дальней зоны подводного берегового склона, коллектор связан с песчаниками фронта дельты, предфронтальной зоны пляжа и распределительных каналов. Средняя песчаность интервала малышевской свиты составляет 25%. Также

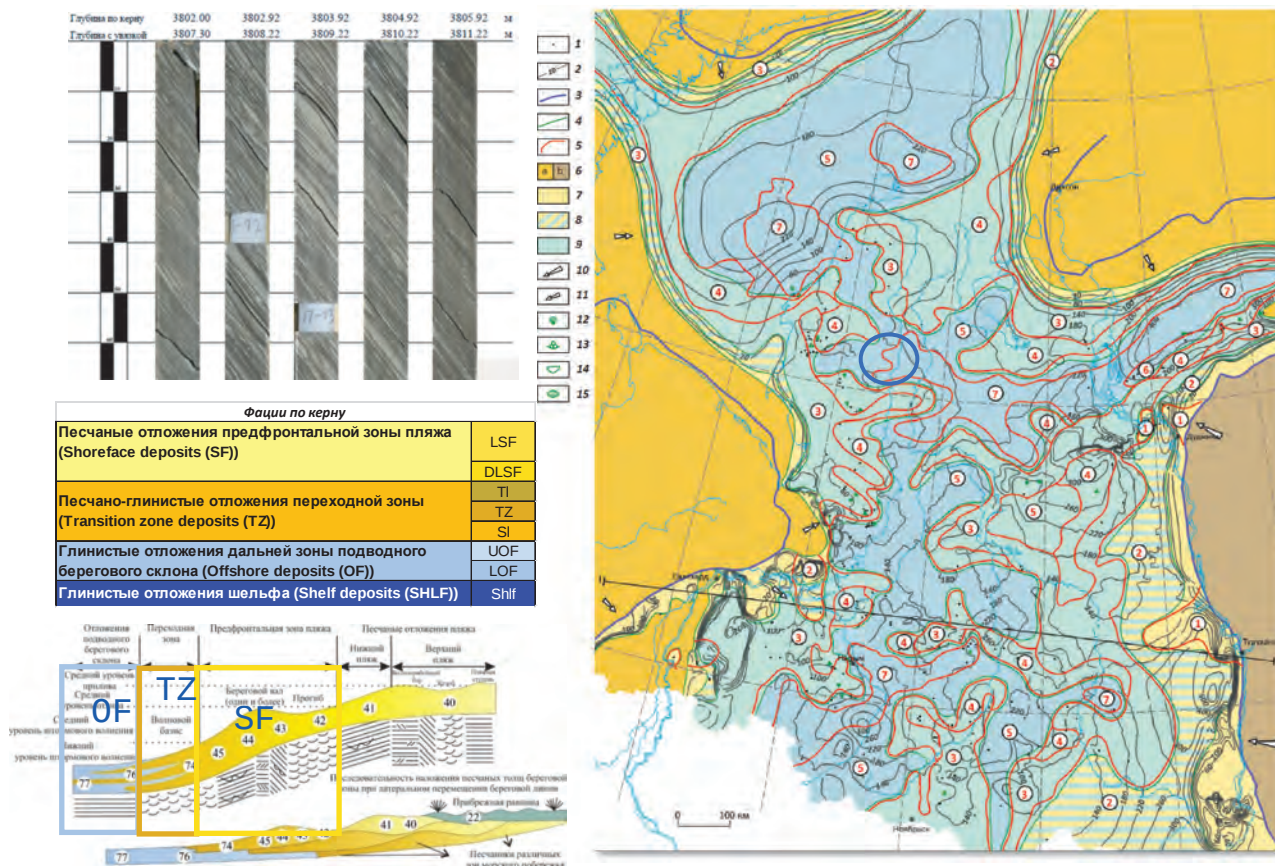


Рис. 1. Среднеюрские отложения месторождения «Т»
Fig 1. Middle Jurassic sediments field "T"

на ФЕС рассматриваемых пластов влияет глубина их залегания, которая достигает 3700 м (рис. 1).

При этом условия осадконакопления обуславливают те самые характеристики, которые ранее делали разработку таких пластов технологически невозможной. Так, проницаемость рассматриваемых пластов составляет от 0,01 до 0,1 мД, коэффициент начальной газонасыщенности изменяется от 0,35 до 0,55 д. ед. Коэффициент аномальности пластового давления равен 1,8 д. ед., а пластовая температура равна 110 °С. Сами залежи при этом осложнены как активной тектоникой, так и значительной фациальной изменчивостью. Содержание конденсата в газе рассматриваемых пластов также варьируется в диапазоне от 100 до 600 г/м³, изменяясь при этом как по площади, так и по разрезу. При этом данные залежи обладают значительными запасами как газа, так и конденсата, поэтому, несмотря ни на что, их освоение является технически и экономически оправданным (рис. 2).

Очевидно, что единственно возможным способом эксплуатации таких залежей является бурение горизонтальных скважин с последующим проведением многостадийного ГРП, что и реализуется на рассматриваемом активе.

Первые работы по опытно-промышленному освоению юрских отложений месторождения «Т» были начаты в 2019 году. В процессе опытно-промышленной разработки (ОПР) планировалось решить следующие задачи:

- определить оптимальную систему вскрытия эксплуатационных объектов, оптимальный азимут бурения горизонтального ствола (ГС);
- определить оптимальную длину ГС;
- уточнить истинные добычные характеристики пласта с целью уточнения параметров гидравлического разрыва пласта (ГРП);
- определить оптимальный тоннаж и оптимальное количество стадий ГРП на скважину;
- детализировать характер насыщения и флюидальную характеристику по пластам.

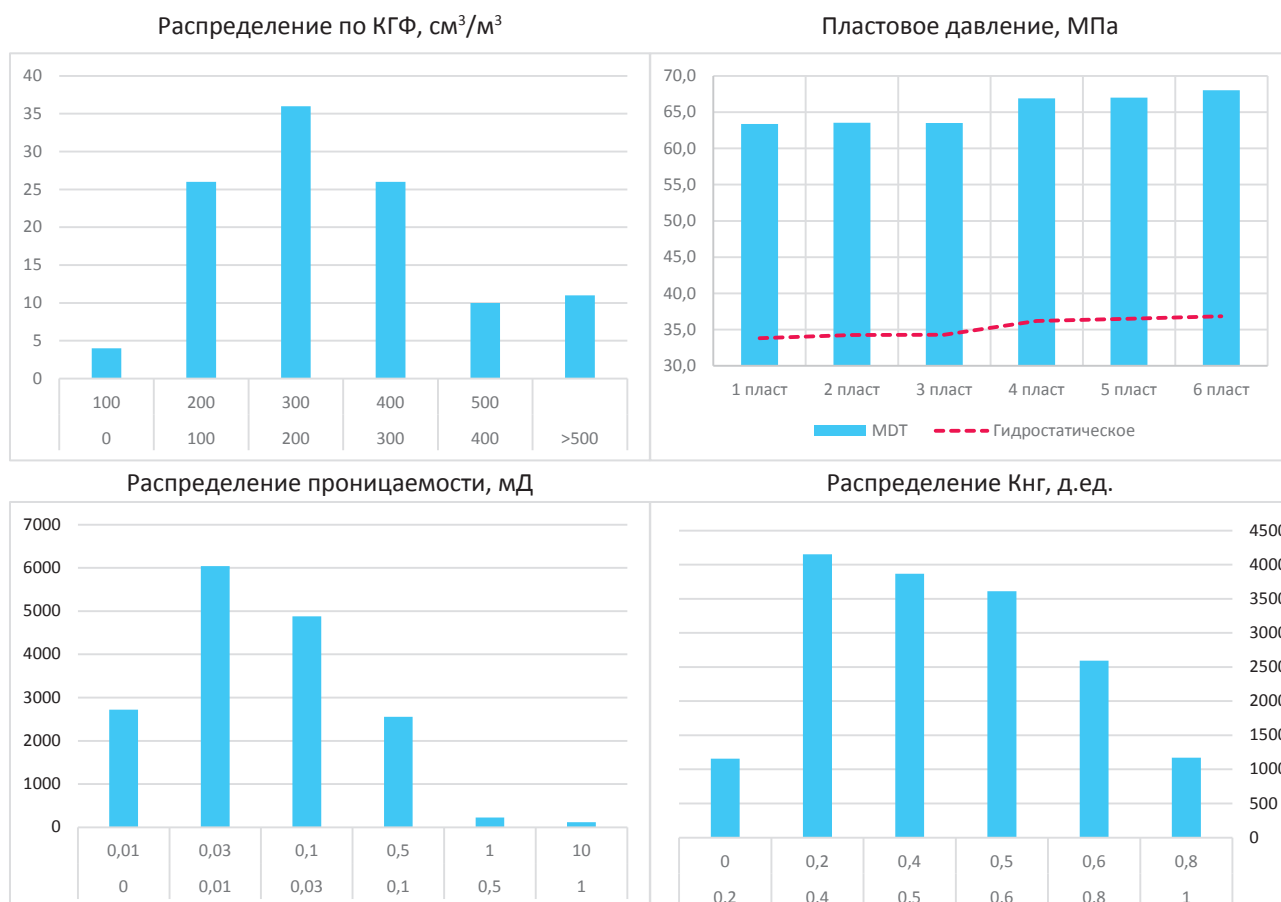


Рис. 2. Характеристика среднеюрских отложения месторождения «Т»

Fig. 2. Middle Jurassic sediments characteristics field "T"

В качестве одного из решений по достижению целей уточнения схемы заканчивания и флюидальной характеристики было предложено поэтапное освоение скважин, которое включает в себя:

1. Освоение скважины без ГРП, оценочный замер, отбор проб. Цель — получение собственной продуктивности пласта, без влияния ГРП, что было бы невозможно в вертикальной скважине при освоении в колонне, геофизических исследований скважин (ГИС) или гидродинамического каротажа (ГДК)/ опробования пластов (ОПК). Кроме этого, освоение без ГРП позволит оценить истинный характер притока и истинный конденсатогазовый фактор (КГФ) конкретного пласта (рис. 3).

2. Освоение скважины после одной стадии ГРП. Цель — оценить удельную продуктивность одной трещины ГРП, прирост относительно скважины без ГРП (рис. 3).

3. Освоение скважины после 50% стадий ГРП. Цель — оценка влияния стадийности на продук-

тивность, выявление пропорции прироста продуктивности и стадийности, выбор оптимального количества стадий (рис. 3).

4. Освоение после всех стадий ГРП, длительные газоконденсатные исследования (ГКИ) и эксплуатация на различных режимах. Цель — отслеживание параметров работы в динамике, в том числе дебитов газа и конденсата, воды, забойного давления и пр. (рис. 3) [2, 4, 11].

Необходимо отметить, что для обеспечения контроля за разработкой все скважины оборудованы перманентными забойными и устьевыми манометрами с телеметрией, а также ультразвуковыми расходомерами [3].

Однако во время проведения промысловых исследований, а также в процессе эксплуатации скважин были встречены осложнения в виде выноса на поверхность вместе с продукцией обломков породы [8, 9].

Так, например, в скважине № 34 вынос обломков начался после освоения до ГРП, что осложнило

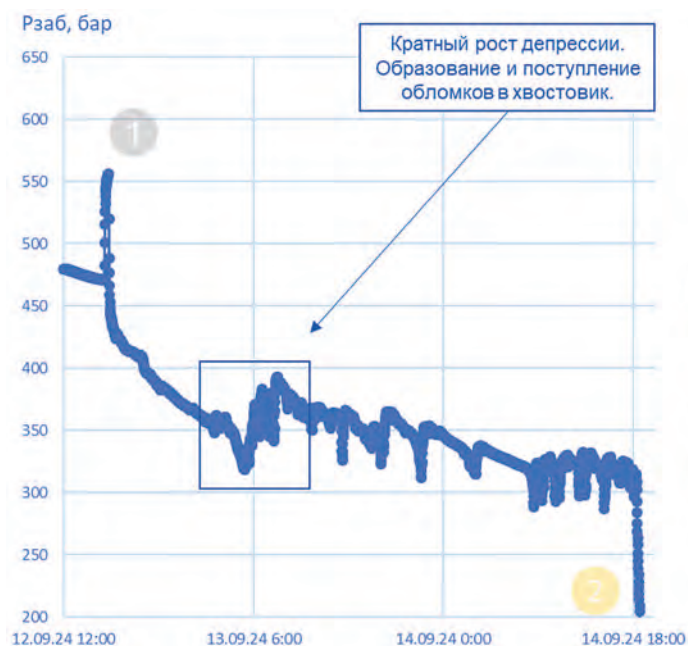


Рис. 3. Этапы освоения скважины
Fig. 3. Well development stages

проведение дальнейших работ. В скважине проведено восемь стадий ГРП, из них успешно только четыре, далее ввиду отсутствия связи с пластом работы были приостановлены и принято решение провести нормализацию забоя с помощью гибкой насосно-компрессорной трубки (ГНКТ). После чего были проведены оставшиеся 7 стадий, однако прироста продуктивности не получено. После этого при финальном освоении получено падение устьевых параметров по причине забития

насосно-компрессорной трубки (НКТ) и ствола скважины обломками породы с проппантом до полной непроходимости, что также потребовало привлечения флота ГНКТ (рис. 4).

Скважина № 5 была успешно освоена после 15 стадий ГРП, запущена в шлейф на режиме 12 мм, на котором проработала 9 суток, после чего была переведена на режим 22 мм. По истечении 15 часов работы на режиме в скважине также было получено падение устьевых параметров.



- 1 Смена режима с 8 мм на 10 мм. На ДИКТ отмечены обломки породы
2 Закрытие скважины ввиду потери продуктивности

Рис. 4. Инцидент на скважине 34

Fig. 4. Incident at Well 34

Максимальные депрессии на скважинах, %

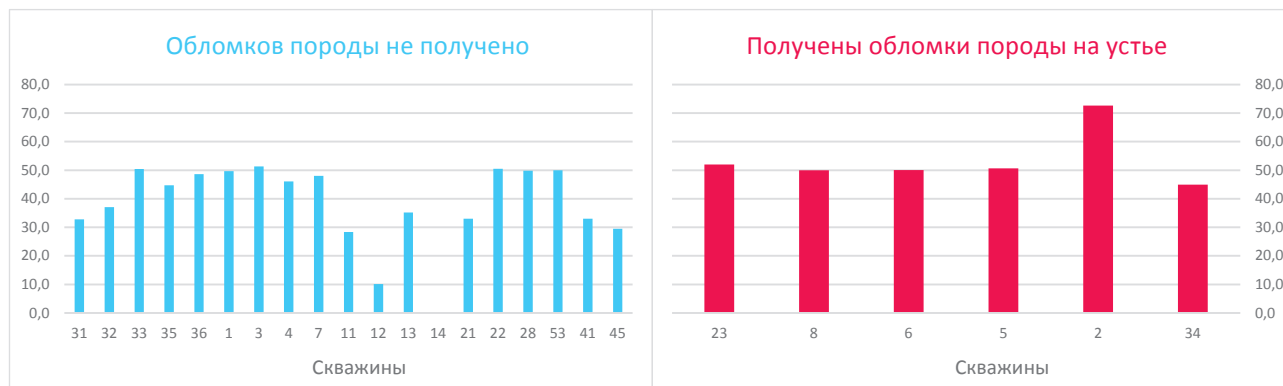


Рис. 5. Депрессии на скважинах

Fig. 5. Depressions in all analyzed wells

На скважине также был мобилизован флот ГНКТ, при работе которого был определен непроход хвостовика на уровне 9-й муфты. Нормализовать ствол не удалось, скважина остановлена в ожидании бурения бокового ствола скважины (ЗБС).

Всего при освоении и эксплуатации вынос породы был зафиксирован примерно на 40% скважин, в связи с чем стала очевидна необходимость проведения работ по анализу причин и предотвращения дальнейших осложнений и связанных с ними аварий (рис. 5).

В процессе работы анализировались имеющиеся геомеханические модели скважины в увязке с режимами их эксплуатации. На первом этапе были построены зависимости давления обрушения от порового давления, однако выявить взаимосвязь давления обрушения и режимов эксплуатации не удалось. Сложность заключалась в том, что все скважины эксплуатировались с высокими депрессиями, достигающими в отдельные моменты 80% от начального пластового давления, однако обрушение ствола

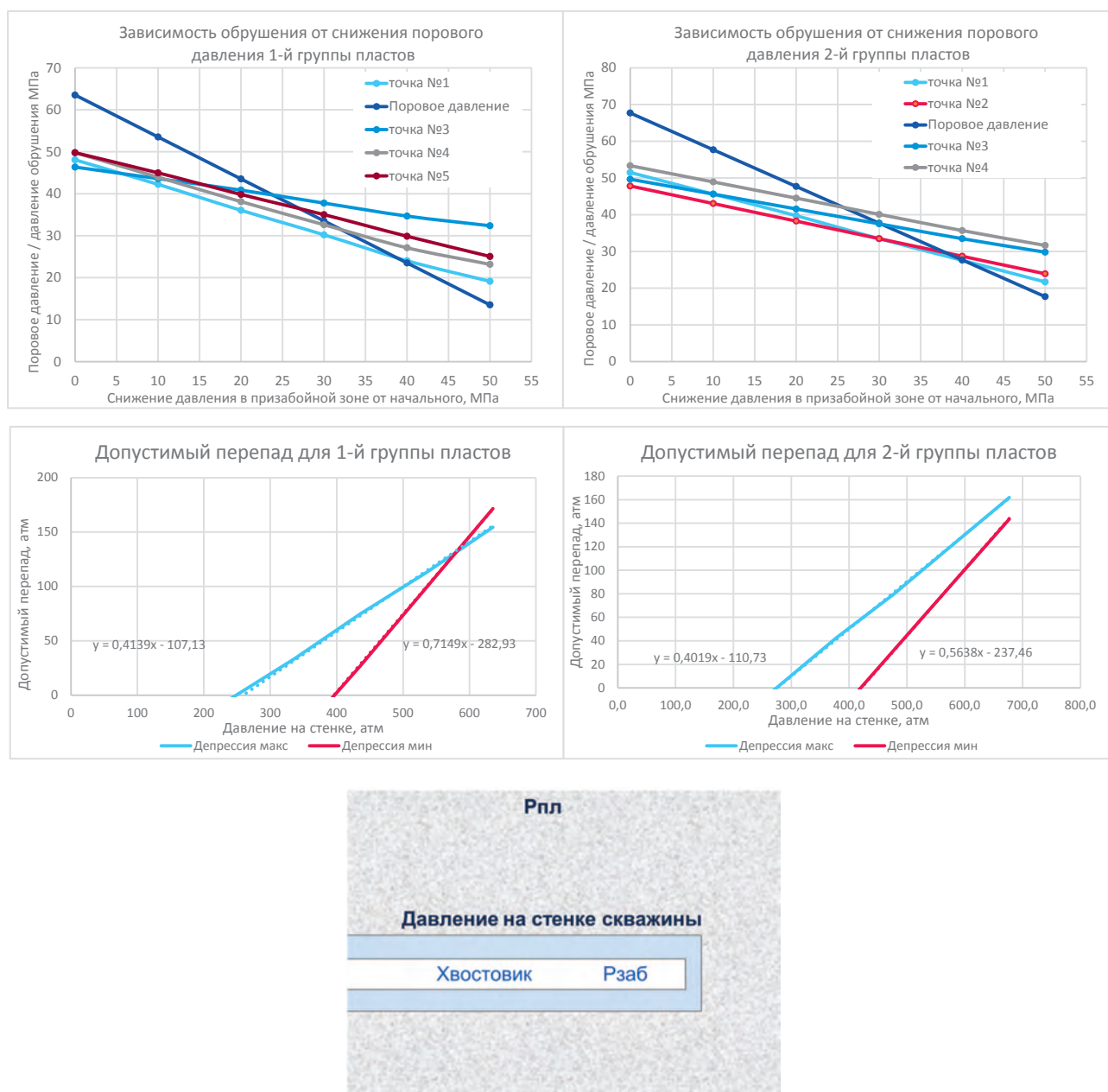


Рис. 6. Геомеханические расчеты
Fig. 6. Geomechanical calculations

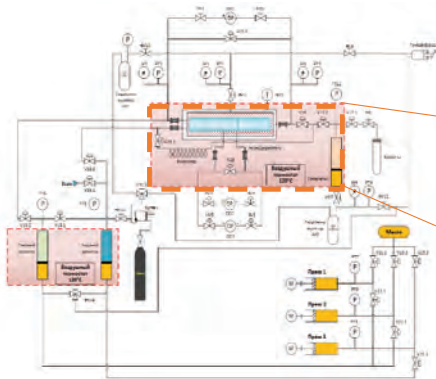
и вынос породы наблюдался не всегда. Важно упомянуть при этом, что для расчета депрессии в качестве пластового и, соответственно, порового давления традиционно использовалось значение начального пластового давления, поскольку регулярная сетка еще не была сформирована и границы области дренирования скважин не достигли ни границ залежей, ни других скважин. Для того чтобы проверить корректность этого допущения, были построены эпюры распределения давления в породе от ствола скважины до контура питания (рис. 6) [1].

Стало очевидно, что область, наиболее подверженная рискам обрушения, расположена в непосредственной близости от ствола скважины (первые единицы или десятки сантиметров), поскольку эта область характеризуется наибольшим перепадом порового давления на единицу расстояния. Поровое давление в этой

зоне, очевидно, будет отличаться как от пластового давления, согласно его классическому определению, так и от забойного. Для целей исследования это значение определено как давление на стенке скважины (рис. 7).

Соответственно одной из важных задач выполняемой работы стало определение порового давления в призабойной зоне скважины, а также закономерностей его изменения в процессе эксплуатации скважины. Для решения этой задачи было принято решение использовать результаты специальных исследований керна по определению фазовых проницаемостей в системе «вода — газ» на первой ступени (фильтрация газа в образце с остаточной водонасыщенностью). Во-первых, образцы керна, используемые в таких исследованиях, имеют масштаб схожий с зоной интереса, а во-вторых, процессы, протекающие при этом, схожи с процессами в призабойной

Гидравлическая схема установки



Составной образец керна



Схема керна относительно скважины

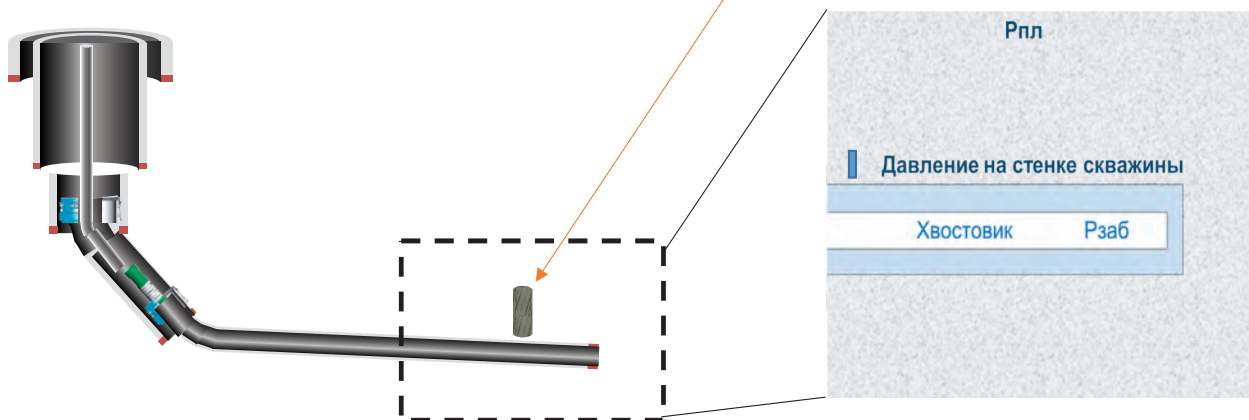


Рис. 7. Специальные исследования керна

Fig. 7. Special core studies

зоне скважины. Как известно, при проведении исследований на составном образце моделируется фильтрация путем прокачивания нескольких объемов газа, с фиксированием давлений на обеих его сторонах. Давление газа при этом сначала возрастает, а затем начинает снижаться по мере фильтрации газа через образец, что принципиально схоже с пластовыми процессами, поскольку в пласте также газ движется из зоны с высоким давлением в зону с низким [5, 6].

В результате обобщения данных была выбрана коллекция экспериментов, удовлетворяющая запросам, основным из которых была длительность эксперимента, достаточная для того, чтобы давление после стабилизации начало снижаться. Необходимо сказать, что далеко не все эксперименты удовлетворяли этому требованию, поскольку при таких низких фильтрационно-емкостных свойствах (ФЕС) это требует длительного времени, и зачастую эксперимент останавливался

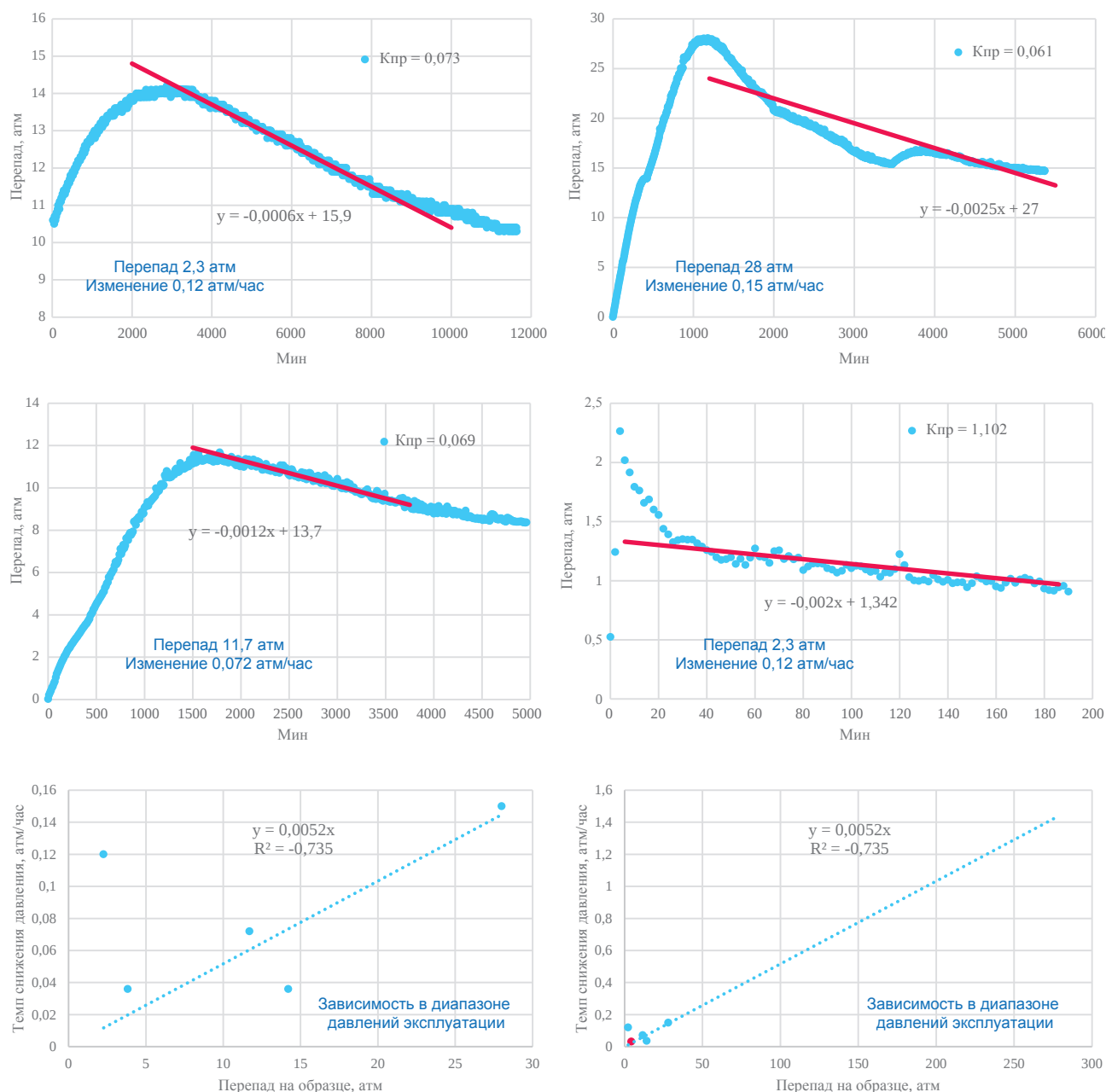


Рис. 8. Расчет давления на стенке по керновым данным
Fig. 8. Calculation of borehole wall pressure using core data

сразу после стабилизации. Полученная коллекция охватывала также необходимый диапазон свойств и давлений [7, 10].

Далее по всем отобранным образцам была аппроксимирована скорость снижения давления (в атм./час) и построена зависимость скорости изменения давления от созданного перепада. Поскольку собственных точек было получено не слишком много, были привлечены данные аналогичных отложений соседнего месторождения, которые эту зависимость подтвердили.

Таким образом, скорость изменения давления в породе составила 0,52% от созданного перепада давления в час (рис. 8).

Следующим этапом было применить полученную зависимость к фактическим замерам давления на скважинах. Было определено, что поскольку достоверно известно только начальное поровое давление, то все последующие расчеты должны производиться от него. Таким образом, для полноценного анализа необходима вся история замеров давления на скважине. Далее принято, что в качестве перепада будет приниматься разница между давлением на стенке скважины и ее забойным

давлением. Соответственно, зная это, с шагом в 1 час определяется давление на стенке скважины по следующей формуле:

$$P_{\text{СТ}}^i = P_{\text{СТ}}^{i-1} - 0,052 \cdot (P_{\text{СТ}}^{i-1} - P_{\text{заб}}^{i-1}).$$

Далее из графика давления на стенке скважины по зависимостям, полученным из геомеханической модели, были рассчитаны давления обрушения для разных типов коллекторов и сопоставлены с историческими графиками забойных давлений. Из сопоставлений стало очевидно, что обрушение породы и вынос ее на устье скважины наблюдался как раз на тех скважинах, где забойное давление было снижено ниже давления обрушения. При этом с учетом полученной зависимости становится очевидно, что на риск обрушения породы влияет не столько величина созданной депрессии, сколько скорость, с которой эта величина была достигнута (рис. 9).

Поскольку полученные результаты удовлетворительно согласуются с фактическими данными, полученными на скважинах, было принято решение о проведении аналогичных расчетов для всех скважин с многостадийным гидравлическим разрывом



Рис. 9. Результаты применения предлагаемой методики
Fig. 9. Results of application of the proposed methodology

пласта (МСГРП) на рассматриваемом активе. Для этого при составлении программы освоения по каждой скважине строится индивидуальная геомеханическая модель и далее в процессе освоения производится постоянный мониторинг давления на стенке скважины и сопоставление его с забойным давлением, как с фактически полученным, так и с планируемым, при переходе с режима на режим. При этом после начала работ по контролю за забойным давлением случаи выноса породы полностью прекратились.

Ввиду новизны и относительно малого количества пригодных данных был составлен план уточнения расчетов, который включает в себя следующие работы:

- изменение программы исследований керна с учетом их необходимой длительности;

- уточнение зависимости скорости изменения давления на стенке скважины от перепада по мере получения новых керновых данных.

- апробация на других активах компании;
- дальнейшее подтверждение зависимости на месторождении Т.

Выводы

В процессе работы был проанализирован массив данных освоения и эксплуатации скважин, проанализированы причины образования обломков. Были проведены расчеты допустимых забойных давлений и режимов эксплуатации скважин. После проведения расчетов случаев обрушения породы и выноса ее на поверхность более не наблюдалось. Была разработана программа дальнейшего уточнения и масштабирования разработанной зависимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баклашов И.В. Геомеханика. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. Т. 1. Основы геомеханики. 208 с.
2. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидродинамика. М.: Недра, 1993. 416 с.
3. Басниев К.С. Энциклопедия газовой промышленности. 4-е изд. Пер. с франц. М.: АО «ТВАНТ», 1994. 684 с., ил.
4. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа. М.: «Грааль», 2002, 575 с.
5. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика. М.: Недра, 1991. 368 с.
6. Макфи К., Рид Дж., Зубизаретта И. Лабораторные исследования керна: гид по лучшим практикам. М. — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. 924 с.
7. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. М.: Недра, 1996. 447 с.: ил. ISBN 5-247-03675-1.
8. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. Изд. 3-е, испр. и доп. М. — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2016. 686 с.
9. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. М. — Л.: ОГИЗ. Гос. изд-во технико-теорет. лит., 1947. 244 с.
10. Тиаб Дж., Доналдсон Эрл Ч. Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств. М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 2009. 868 с.
11. Хасанов М.М., Булгакова Г.Т. Нелинейные и неравновесные эффекты в реологически сложных средах. М. — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003, 288 с.

REFERENCES

1. Baklashov I.V. Geomechanics. Moscow: Publishing House of Moscow State Mining University, 2004. Vol. 1. Fundamentals of Geomechanics. 208 p. (In Russ.).
2. Basniev K.S., Kochina I.N. Maksimov V.M. Underground hydrodynamics. Moscow: Nedra, 1993. 416 p. (In Russ.).
3. Basniev K.S. Encyclopedia of the gas industry. 4th ed. Transl. from French; Moscow: TVANT, 1994. 684 p. (In Russ.).
4. Brusilovsky A.I.. Phase transformations during development of oil and gas fields. Moscow: Graal, 2002. 575 p. (In Russ.).
5. Dobrynin V.M., Wendelshtein B.Yu., Kozhevnikov D.A. Petrophysics. Moscow: Nedra, 1991. 368 p. (In Russ.).
6. McPhee C., Reed J. Zubizarreta I. Core analysis: a best practice guide, Moscow — Izhevsk: Institute for Computer Research, 2018. 924 p. (In Russ.).
7. Nikolaevsky V.N. Geomechanics and fluid dynamics. Moscow: Nedra, 1996. 447 p., ill. ISBN 5-247-03675-1 (In Russ.).
8. Levich V.G. Physicochemical hydrodynamics. — 3rd ed., corrected and supplemented. — M.-Izhevsk: Institute of Computer Research, 2016. 686 p. (In Russ.).
9. Leibenzon, L.S. Movement of natural liquids and gases in a porous medium. Mpscow — Leningrad: OGIЗ. State publishing house of technical and theoretical literature, 1947. 244 p. (In Russ.).
10. Tiab D., Donaldson E.C. Theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties. Moscow: Premium Engineering LLC, 2009. 868 p. (In Russ.).
11. Khasanov M.M., Bulgakova G.T. Nonlinear and nonequilibrium effects in rheologically complex media. Moscow — Izhevsk: Institute of Computer Research, 2003. 288 p. (In Russ.).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Гатауллин Т.И. — работая в ООО «Новатэк НТЦ», осуществлял экспертный контроль проведения расчетов и выявления корреляций, выполнял оценку качества результатов с корректировками в процессе апробации и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Смирнов А.Ю. — работая в ООО «Новатэк НТЦ», выполнил комплексирование результатов специальных исследований керна и геомеханических расчетов, систематизировал расчет давления обрушения породы на стенке скважины, разработал концепцию статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Крючкова Е.В. — работая в ООО «Новатэк НТЦ», участвовала в обобщении и систематизации данных по освоению и работе скважин, проводила расчеты давления на стенке скважины, давлению обрушения, проводила расчет по выносу обломков, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Timur I. Gataullin — working at Novatek NTC LLC, carried out expert control over the calculations and identification of correlations, performed an assessment of the quality of the results with adjustments during the testing process and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Artem Yu. Smirnov — working at Novatek NTC LLC, integrated the results of special core studies and geomechanical calculations, systematized the calculation of rock collapse pressure on the borehole wall, developed the concept of the article, finally approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Ekaterina V. Kryuchkova — working at Novatek NTC LLC, participated in the generalization and systematization of data on well development and operation, performed calculations of pressure on the borehole wall, collapse pressure, performed calculations for debris removal, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гатауллин Тимур Ильгизович — заместитель главного геолога, НОВАТЭК НТЦ.

7, ул. Пожарных и спасателей, г. Тюмень 625031, Российская Федерация

тел.: +7 (3452) 680-876

e-mail: TIGataullin@novatek.ru

Timur I. Gataullin — Deputy Chief Geologist, NOVATEK STC.

7, Pozharnykh i spasateley str., Tyumen 625031, Russian Federation

tel.: +7 (3452) 680-876

e-mail: TIGataullin@novatek.ru

Смирнов Артем Юрьевич — начальник управления разработки «ЯМАЛ», НОВАТЭК НТЦ.

7, ул. Пожарных и спасателей, г. Тюмень 625031, Российская Федерация

тел.: +7 (3452) 680-470

e-mail: Artem.Smirnov@novatek.ru

Artem Yu. Smirnov — Head of the YAMAL Development Department, NOVATEK STC.

7, Pozharnykh i spasateley str., Tyumen 625031, Russian Federation

tel.: +7 (3452) 680-470

e-mail: Artem.Smirnov@novatek.ru

Крючкова Екатерина Витальевна* — главный специалист, НОВАТЭК НТЦ.

7, ул. Пожарных и спасателей, г. Тюмень 625031, Российская Федерация

тел.: +7 (3452) 680-432

e-mail: Ekaterina.Kryuchkova@novatek.ru

Ekaterina V. Kryuchkova* — Chief Specialist of the YAMAL Development Department, NOVATEK STC.

7, Pozharnykh i spasateley str., Tyumen 625031, Russian Federation

tel.: +7 (3452) 680-432

e-mail: Ekaterina.Kryuchkova@novatek.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author