

LD-FRAC — НОВЫЕ ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ГРП

**М.Н. Пичугин*, А.В. Чураков, Д.А. Старицин, Е.В. Шель, Е.Г. Казаков,
Р.Р. Гайнетдинов, Н.А. Шаповаленко, И.Г. Файзуллин, К.А. Каюков, А.В. Ившин**
Группа компаний «Газпром нефть», РФ, Санкт-Петербург

© Коллектив авторов,
2025

Электронный адрес: ProNeft@gazprom-neft.ru



Введение. Работа описывает одно из новых направлений оптимизации подхода при проведении гидроразрыва пласта, способствующего увеличению длины трещины, снижению её высоты распространения и повышению эффективности размещения пропанта в целевом интервале за счет снижения средней общей вязкости жидкости разрыва без увеличения массы пропанта. Объектами для применения данного решения являются системы разработки с отсутствием ограничений по длине трещины и кандидаты с качественной гидродинамической связью в системе скважина–пласт.

Материалы и методы. В работе описан концептуальный и практический подход технологического решения «LD-FRAC» (Low Damage), применяемый на объектах Группы компаний «Газпром нефть». Базовый принцип решения заключается в импульсной подаче сшивающего агента при выполнении основного гидроразрыва пласта. При повышенных трениях в призабойной зоне подход предусматривает бесшовный переход к стандартному классическому исполнению (сшитая гуаро-боратная система), что, в свою очередь, снижает издержки потерь по времени в процессе выполнения гидроразрыва на кустовой площадке.

Результаты. Авторы подробно рассматривают опыт компании, включая материалы промышленных испытаний, а также методы и схемы адаптации технологии. Представленные данные показывают, как при грамотном подходе и моделировании предлагаемое решение позволяет получить эффект в виде снижения обводненности продукции, а также дополнительную добычу углеводородов за счет меньшей колюматации трещины и повышения её полудлины. Также потенциально подход позволяет менять (оптимизировать) систему разработки месторождения при заканчивании горизонтальными скважинами с многостадийным гидроразрывом пласта.

Заключение. В данной работе отражен успешный опыт реализации технологии «LD-FRAC», основанный на операционной эффективности. Потенциал решения в перспективе позволяет оптимизировать систему разработки горизонтальными скважинами с многостадийным гидроразрывом пласта без потери продуктивности скважин, где предполагается азимутальная проекция трещин вдоль хвостовика путем сокращения количества стадий и повышения закрепленной полудлины. Рассматриваемое решение также может давать преимущество в сокращении затрат на химию (сшивающий агент) без ущерба для эффективности технологии, что повышает экономическую рентабельность проекта, разрабатываемого с применением технологии гидроразрыва пласта.

Ключевые слова: гидроразрыв пласта, многостадийный гидроразрыв пласта, горизонтальный ствол, заканчивание скважин, трещина, стимуляция, пропант, моделирование, дизайн

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пичугин М.Н., Чураков А.В., Старицин Д.А., Шель Е.В., Казаков Е.Г., Гайнетдинов Р.Р., Шаповаленко Н.А., Файзуллин И.Г., Каюков К.А., Ившин А.В. LD-FRAC — новые пути оптимизации ГРП. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2025;10(4):99–106. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2025-10-4-99-106>

Статья поступила в редакцию 01.09.2025

Принята к публикации 08.10.2025

Опубликована 26.12.2025

LD-FRAC — NEW WAYS TO OPTIMIZE HYDRAULIC FRACTURING

**Maksim N. Pichugin*, Artem V. Churakov, Dmitry A. Staritsin, Egor V. Shel,
Evgeniy G. Kazakov, Ruslan R. Gaynetdinov, Nikita A. Shapovalenko, Ildar G. Fayzullin,
Konstantin A. Kayukov, Anatoliy V. Ivshin**
Gazprom neft company group, RF, Saint Petersburg

E-mail: ProNeft@gazprom-neft.ru

Background. The work describes one of the new approaches to optimizing the method of hydraulic fracturing, aimed at increasing fracture length, reducing its height propagation, and enhancing the effectiveness of proppant placement within the targeted interval by lowering the average overall viscosity of the fracturing fluid. The target applications for this solution are development systems without fracture length limitations and candidates with quality hydrodynamic connectivity in the well-reservoir system.

Materials and methods. The paper outlines the conceptual and practical approach of the technological solution “LD-FRAC” (Low Damage) used in the Gazprom neft company group. The fundamental principle of the solution involves the interval-based pulsed delivery of a crosslinking agent while performing the main hydraulic fracturing. In the presence of increased friction in the near-wellbore zone, the approach allows for a seamless transition to a standard classic implementation (cross-linked guar-borate system), which, in turn, reduces the time loss costs during the hydraulic fracturing on the well pad.

Results. The authors thoroughly examine the company's experience, including field trial materials and methods, as well as schemes for adapting the technology. The data presented demonstrates how a competent approach

and modeling of the proposed solution can reduce water cut in production and yield additional hydrocarbon recovery due to less fracture clogging and increased fracture half-length. Moreover, the approach potentially allows optimization of the development system when completing horizontal wells with multi-stage hydraulic fracturing.

Conclusion. This work reflects the successful experience of implementing the “LD-FRAC” technology based on operational efficiency. The potential of the solution, in the long term, allows for the optimization of development systems with horizontal wells that undergo MSF (multi-stage fracturing), where azimuthal fracture projection along the horizontal borehole is anticipated, through the reduction of stage numbers and enhanced propped half-length. The considered solution can also provide advantages in reducing chemical costs (crosslinking agent) without compromising the effectiveness of the technology, thus improving the economic profitability of projects developed with the application of hydraulic fracturing technology.

Keywords: hydraulic fracturing (fracturing), multi-stage hydraulic fracturing, horizontal borehole, well completion, fracture, stimulation, proppant, modeling, design

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

For citation: Pichugin M.N., Churakov A.V., Staritsin D.A., Shel E.V., Kazakov E.G., Gaynetdinov R.R., Shapovalenko N.A., Fayzullin I.G., Kayukov K.A., Ivshin A.V. LD-FRAC — New ways of hydraulic fracturing optimization. PRONEFT. Professionally about oil. 2025;10(4):99–106. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2025-10-4-99-106>

Manuscript received 01.09.2025

Accepted 08.10.2025

Published 26.12.2025

ВВЕДЕНИЕ

В современных реалиях, когда уже испытано много различных технологических решений при строительстве и стимуляции скважин, очень сложно найти эффективные подходы, отвечающие современным вызовам отрасли. На первый план уже выходят решения, связанные со снижением затрат с сохранением операционной эффективности, а технологичность рассматривается только при сохранении баланса общей стоимости и потенциала от применения. В таких условиях специалисты сервисных и нефтедобывающих компаний начинают искать решения, основной акцент которых — это оптимизация уже существующих технологий. Главной задачей при этом выступает сохранение эффективности и удешевление процесса.

расклинивающего агента [1, 2, 3], где эффект от закачки позиционируется в изменении структуры проводящих каналов в пропантной набивке. Основной пул преимуществ решения LD-FRAC связан со следующими предпосылками: а) снижение кольматации трещины ГРП за счет уменьшения удельного количества сшивателя; б) снижение средней вязкости системы жидкости и потенциал к увеличению её полудлины с более эффективным размещением пропанта по высоте; в) потенциал к удешевлению стоимости 1 м³ жидкости разрыва.

В статье рассмотрены варианты решений технологии LD-FRAC, опыт выполненных работ в компании, ограничения и потенциал к дальнейшему развитию данного направления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Начиная с 2024 года в Группе компаний «Газпром нефть» проводятся опытные работы по технологии «LD-FRAC» (название взято из словосочетания «low damage», что можно интерпретировать как «меньшее повреждение», и слова «frac», т.е. «разрыв»). Решение представляет собой попеременную закачку линейной и сшитой жидкости с определенным временным интервалом и объемом на тех же объектах и схожих расписаниях, как и в случае классических гуаро-боратных систем жидкости ГРП. За 2024 год по компании выполнено 368 операций на 94 скважинах, 70 из которых — с горизонтальным многостадийным заканчиванием. Количество осложнений в виде «СТОП» при реализации

НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ ГРУППЫ КОМПАНИЙ «ГАЗПРОМ НЕФТЬ» ПОКАЗАН УСПЕШНЫЙ ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ «LD-FRAC», КОТОРАЯ ИСПОЛЬЗУЕТ ИМПУЛЬСНУЮ ПОДАЧУ СШИВАЮЩЕГО АГЕНТА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЛУЧШЕЙ ГЕОМЕТРИИ ТРЕЩИНЫ В СРАВНЕНИИ СО СТАНДАРТНЫМ ПОДХОДОМ.

В данной работе речь пойдет о технологии под названием «LD-FRAC» (Low Damage), связанной с оптимизацией подачи компонента «сшиватель» жидкости для гидравлического разрыва пласта (ГРП). Решение основано на интервальном дозировании химической добавки в гуаро-боратной системе жидкости ГРП. Идея подобна технологии с кластерной (пульсовой) подачей

ОПИ (опытно-промышленные испытания) составил менее 1% (всего 2 отклонения), что в потенциале дает возможность позиционирования решения как технически успешного в исполнении. Объектами испытания преимущественно выступали пласты мегинской свиты и юрские отложения.

ОПИСАНИЕ РЕШЕНИЯ

ГРП с импульсной подачей сшивателя представляет из себя проведение работ с периодическим кратковременным включением подачи химической добавки на буферной стадии и на этапах закачки расклинивающего агента, направленное на повышение качества очистки трещины за счет уменьшения объема, используемого в работе сшивателя, а также увеличение полудлины трещины вследствие снижения средней вязкости жидкости разрыва.

Подход, применяемый в группе компаний, представляет собой набор следующих решений:

- расход смеси 2,4–4,0 м³/мин;
- набор концентрации расклинивающего агента до 400–600 кг/м³ шагом («step») или плавный («gamp») на режиме пульсовой подачи сшивателя, далее — до 700–800 кг/м³ используется только «gamp» на сшитой системе жидкости разрыва;
- усредненное соотношение объемов закачки линейного и сшитого геля $\approx 50\% \div 50\%$;

- средний объем пульса $\approx 5 \text{ м}^3$;
- диапазон используемой массы пропанта на одну операцию варьируется от 10 до 165 тонн;
- Соотношение объема жидкости на тонну пропанта $\approx 3,8 \text{ м}^3/\text{тонна}$.

На **рис. 1** приведен пример выполнения гидроразрыва по технологии LD-FRAC. К одной из особенностей решения относится его универсальность, а именно работа на стандартной гуаро-боратной системе жидкости разрыва и использование типового комплекта оборудования флота ГРП. При этом в случае наличия повышенных трений в призабойной зоне подход предусматривает бесшовный переход к стандартному классическому исполнению (считая гуаро-боратная система), что, в свою очередь, минимизирует потери времени в процессе фактического выполнения работ на скважине.

КОНЦЕПЦИЯ ВЫБОРА (СРАВНЕНИЕ С БАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ)

Для оценки влияния подхода LD-FRAC на формирование геометрии трещины был проведен сравнительный анализ сопоставимых по объему и массе пропанта работ на стандартной рецептуре жидкости разрыва. В **табл. 1** приведены общие технические параметры обработки и полученные результаты моделирования эффективных полудлин сформированных трещин

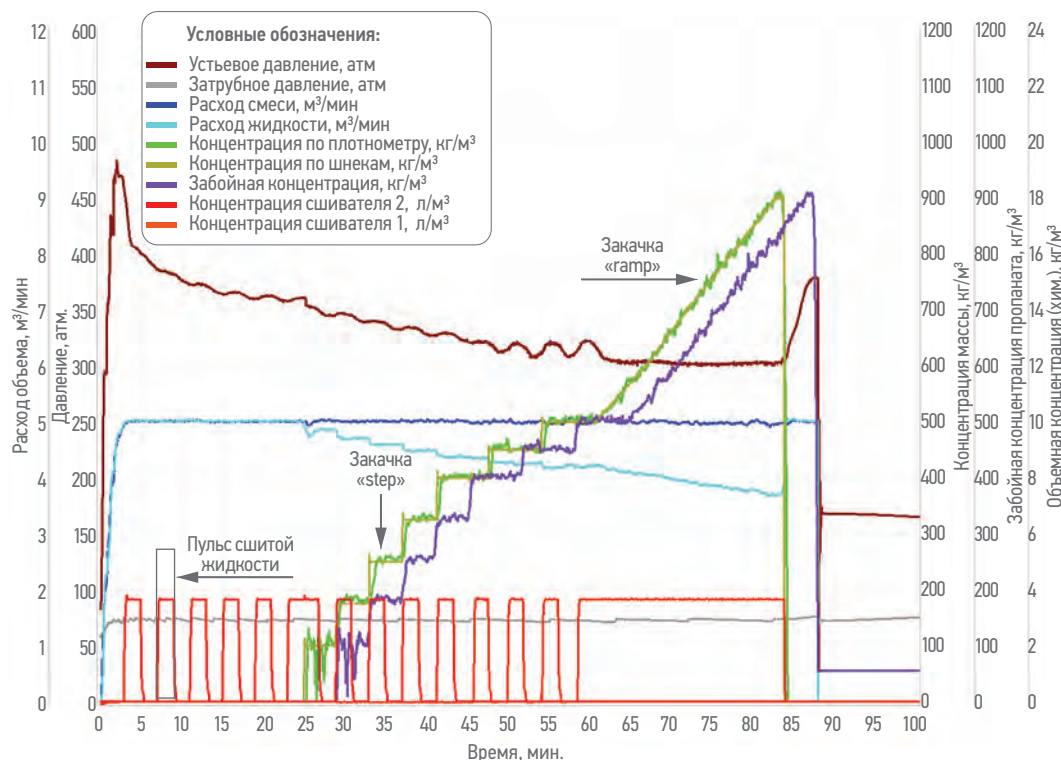


Рис. 1. Пример выполнения ГРП по технологии LD-FRAC. Составлено авторами
Fig. 1. Example of fracturing by LD-FRAC technology. Prepared by the authors

Таблица 1. Сравнение параметров обработки и геометрии трещины ГРП. Составлено авторами
Table 1. Comparison treatment data and fracture geometry. Prepared by the authors

Технология	Объем буфера, м³	Жидкость на пропантных стадиях, м³	Общая масса пропанта, тонн	Эффективная полудлина трещины, м
Стандартный ГРП	60,0	121,7	60	193,5
Стандартный LD-FRAC	60,0	119,3	60	202,5 (+5%)

(моделирование выполнено на ПО «Кибер ГРП»). Само расписание закачки было идентично для обоих подходов и приведено на рис. 2.

Определенный на основании моделирования прирост в закрепленной полудлине составил порядка 5%, что в совокупности с потенциалом лучшей очистки трещины после ГРП за счет меньшего объема сшивателя дало возможность рассматривать технологию как перспективную к внедрению.

Для повышения эффективности решения, а также уменьшения риска получения осложнений при закачке пропанта на стадиях с пульсом была проведена оптимизация расписания по технологии LD-FRAC: набор концентрации пропанта от 0 до 400 (600) кг/м³ осуществлялся в режиме «step», далее — в режиме «ramp». За счет внесенных изменений произошло увеличение объема закачиваемой жидкости разрыва на пропантных стадиях (табл. 2), а также значительное изменение эффективной

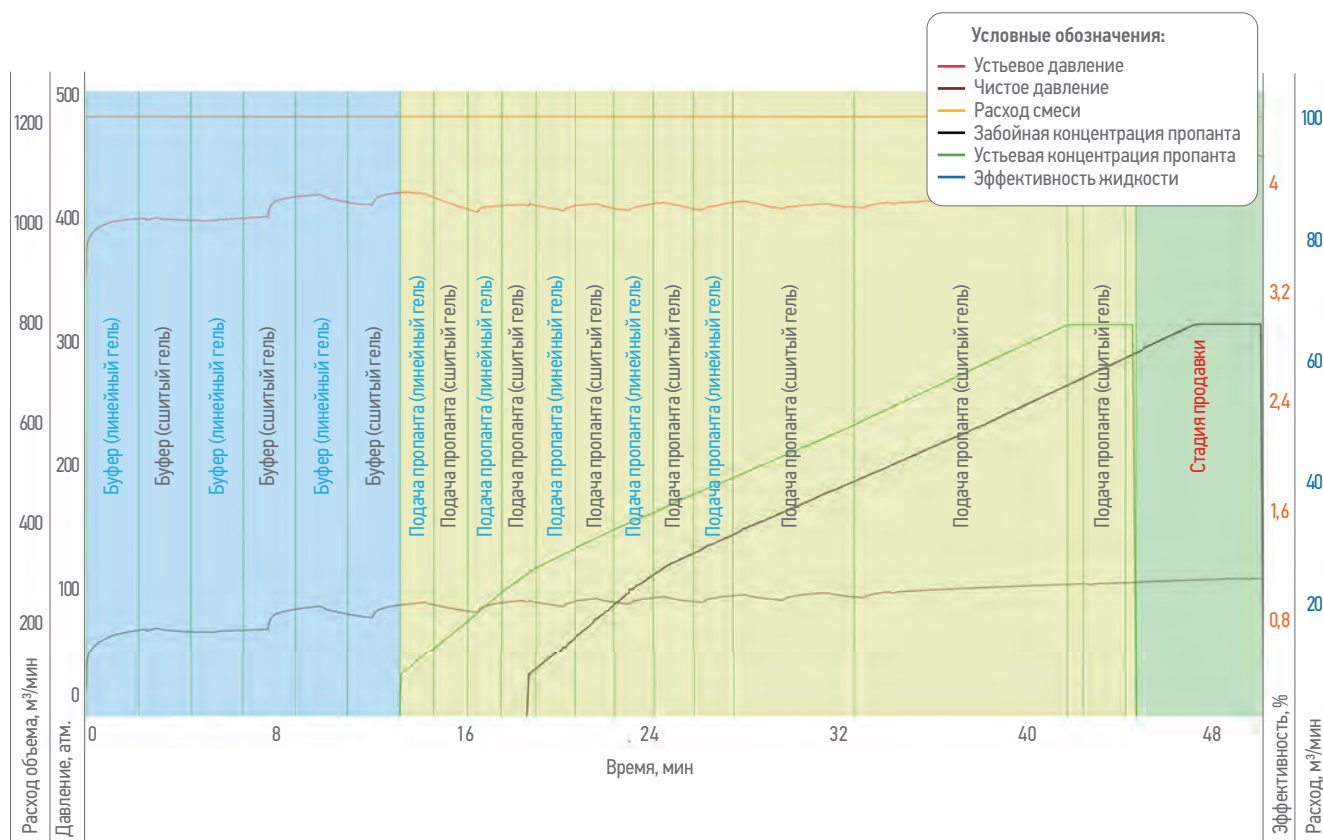


Рис. 2. Пример расписания закачки при моделировании. Составлено авторами
Fig. 2. Treatment example for design evaluation. Prepared by the authors

Таблица 2. Сравнение параметров обработки и геометрии трещины ГРП базового и оптимизированного LD-FRAC. Составлено авторами
Table 2. Comparison treatment data and fracture geometry of basic and optimized LD-FRAC. Prepared by the authors

Технология	Объем буфера, м³	Жидкость на пропантных стадиях, м³	Общая масса пропанта, тонн	Эффективная полудлина трещины, м
LD-FRAC (стандартный)	60,0	119,3	60	202,5
LD-FRAC (оптимизированный)	60,0	173,6	60	238,5 (+18%)

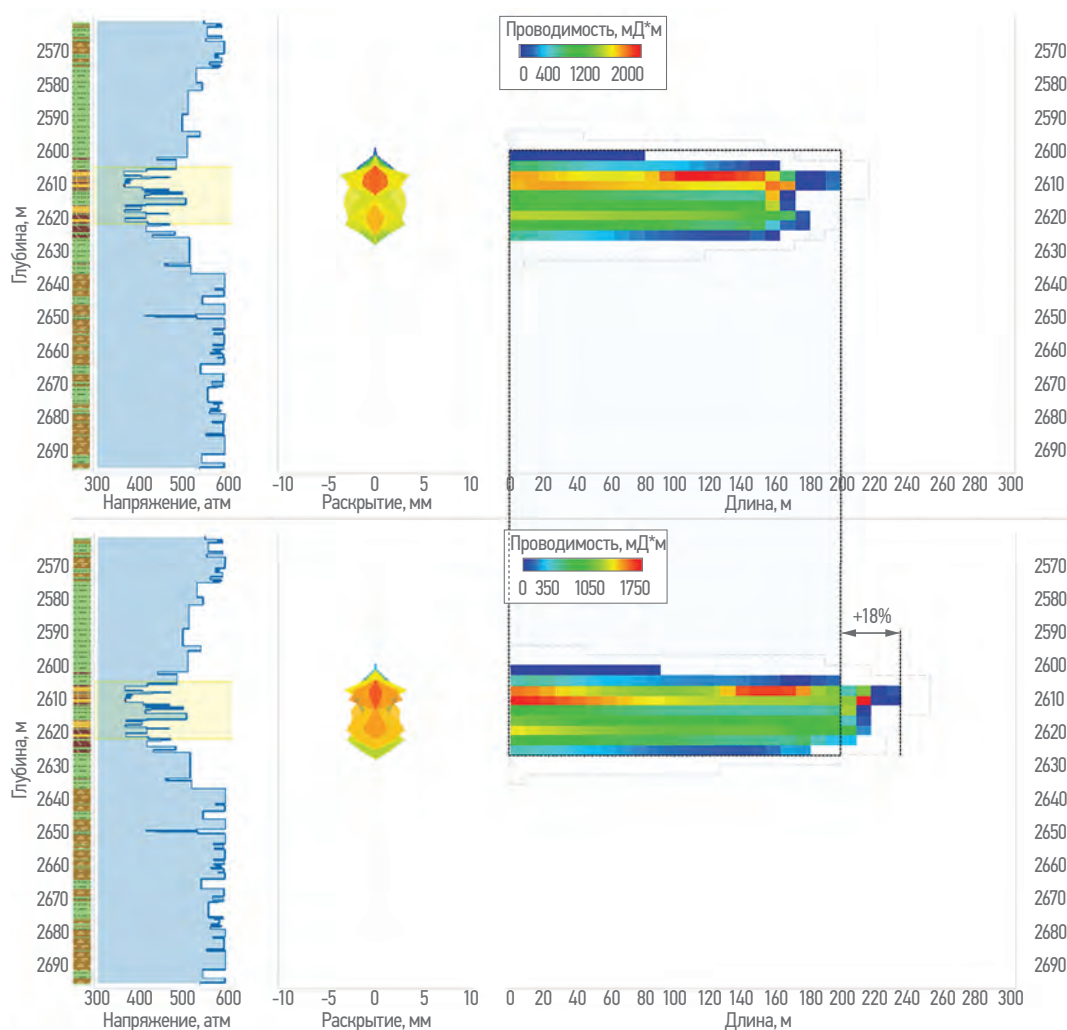


Рис. 3. Сравнение геометрии трещины по технологии LD-FRAC (базовый и оптимизированный варианты).
Составлено авторами

Fig. 3. Comparison of fracture geometry using LD-FRAC technology (basic and optimized version).
Prepared by the authors

геометрии трещины (рис. 3). Из табл. 2 видно, что прирост в геометрии от оптимизации расписания закачки пропантных стадий по технологии LD-FRAC составил $\approx 18\%$ (по сравнению со стандартным ГРП это значение составляет уже $\approx 23\%$).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

- Расчлененные пласты большой мощности (более 30 м) при моделировании показывают отсутствие преимущественного эффекта в геометрии трещины относительно стандартного дизайна на шитом геле.
- Пласты с АВПД (аномально высокими пластовыми давлениями) и объекты с высокими давлениями смыкания не подходят для реализации технологии LD-FRAC из-за повышенных трений относительно стандартного дизайна на шитом геле.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ эффективности от реализации оптимизированной технологии LD-FRAC показал прирост до 20–25% по удельному коэффициенту продуктивности (рис. 4) в сравнении с базовым решением (стандартный ГРП), что косвенно подтверждает результаты моделирования геометрии трещины, приведенные ранее в статье.

Дальнейшее развитие технологического решения направлено на оптимизацию системы разработки с сокращением количества портов в горизонтальных скважинах (ГС) при продольном развитии трещин ГРП (вдоль ствола скважины). Данное решение (рис. 5) должно повысить рентабельность проекта сразу в нескольких направлениях: сокращение количества стадий ГРП, а также количества спускаемых в скважину муфт. В качестве компенсации сокращения числа

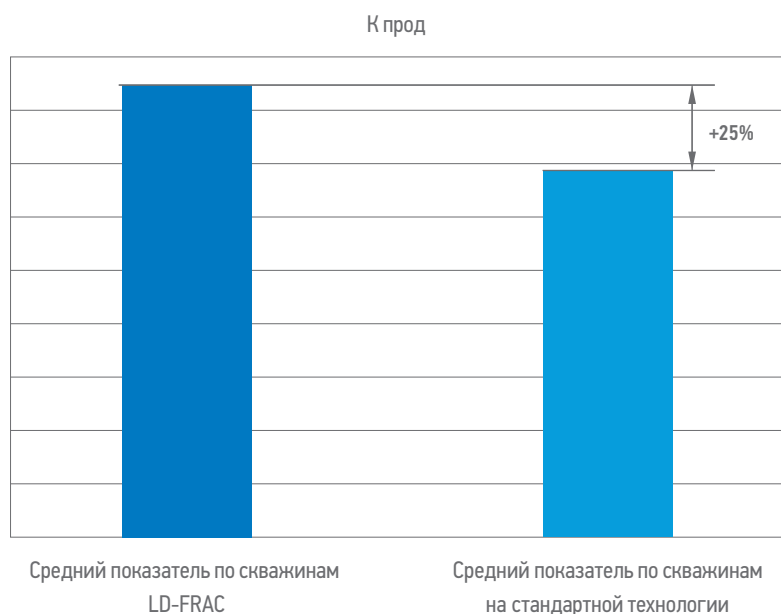


Рис. 4. Сравнение технологий. Составлено авторами
Fig. 4. Technology comparison. Prepared by the authors

операций ГРП на скважину должна стать более длинная трещина ГРП, создаваемая при технологии LD-FRAC.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Долгосрочная оценка удельных показателей по коэффициенту продуктивности на текущем этапе показывает, что технологический подход LD-FRAC имеет хороший потенциал в сравнении с базовым ГРП. Потенциал предложенного решения дает возможность получить существенные преимущества от его реализации. К основным достоинствам относятся лучшая геометрия, низкий процент осложнений, потенциально меньшая кольматация трещины, экономия на добавке «сшиватель». Перспективным развитием может стать оптимизация количества портов в горизонтальных скважинах с многостадийным заканчиванием при расположении хвостовика вдоль максимального горизонтального стресса.

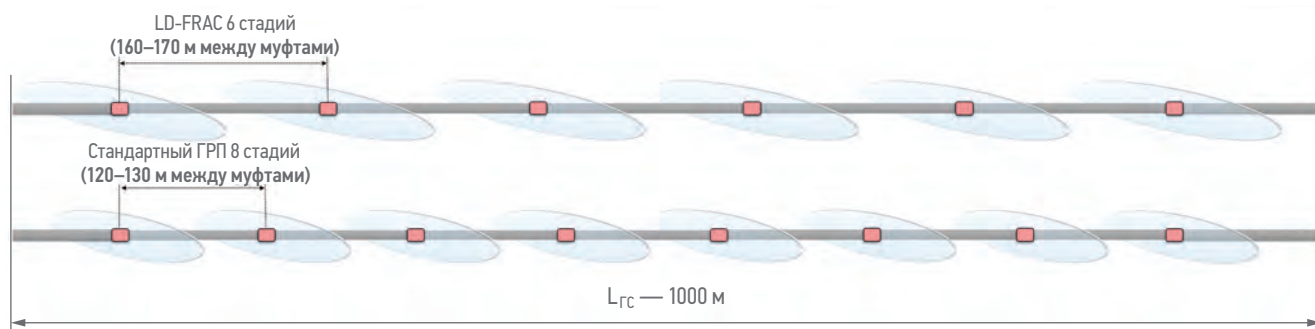


Рис. 5. Пример оптимизации системы заканчивания с применением технологии LD-FRAC. Составлено авторами
Fig. 5. Example of downhole completion system optimization using LD-FRAC technology. Prepared by the authors

Список литературы / References

1. Jian Huang, Kedar M. Deshpande, Reza Safari, Francisco Fragachan, Xiaodan Ma, Clayton Smith, Uno Mutlu. Clustered proppant design optimization utilizing advanced geomechanics-flow-reservoir modeling. *Paper Number: SPE-175528-MS*. <https://doi.org/10.2118/175528-MS>
2. Azhari M., Prakoso N.F., Ningrum D., Soetikno L., Makmun A. Unlocking depleted and low-modulus telisa sandstone reservoir with pillar fracturing technique: well performance improvement comparison with conventional fracturing. *Paper Number: SPE-186199-MS*. <https://doi.org/10.2118/186199-MS>
3. Yudin A., Sypchenko S., Gromovenko A., Romanovskiy R., Chebykin N., Serdyuk A., Bukharov D., Faizullin I., Churakov A. First in Russia large-scale implementation of the channel fracturing technology in horizontal wells. *Paper Number: SPE-187932-MS*. <https://doi.org/10.2118/187932-MS>

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

М.Н. Пичугин — осуществил анализ данных, подготовил текст статьи, утвердил публикуемую версию, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

А.В. Чураков — разработал концепцию статьи, провел редактирование рукописи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Maksim N. Pichugin — performed data analysis, prepared the text of the article, approved the published version of the article, agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Artem V. Churakov — developed the concept of the article, edited the manuscript, finally approved the published version of the article, agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Д.А. Старицин — осуществил сбор и анализ данных, провел редактирование рукописи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Е.В. Шель — разработал концепцию статьи, провел редактирование рукописи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Е.Г. Казаков — осуществил сбор и анализ данных, провел редактирование рукописи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Р.Р. Гайнетдинов — разработал концепцию статьи, провел редактирование рукописи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Н.А. Шаповаленко — осуществил сбор и анализ данных, провел редактирование рукописи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

И.Г. Файзуллин — провел редактирование рукописи, утвердил публикуемую версию статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

К.А. Каюков — осуществил сбор данных, провел редактирование рукописи, утвердил публикуемую версию статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

А.В. Ившин — осуществил сбор данных, провел редактирование рукописи, утвердил публикуемую версию статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Dmitry A. Staritsin — collected and analyzed data, edited the manuscript, agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Egor V. Shel — developed the concept of the article, edited the manuscript, agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Evgeniy G. Kazakov — collected and analyzed data, edited the manuscript, agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Ruslan R. Gaynetdinov — developed the concept of the article, edited the manuscript, finally approved the published version of the article, and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Nikita A. Shapovalenko — collected and analyzed data, edited the manuscript, agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Ildar G. Fayzullin — edited the manuscript, approved the published version of the article, and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Konstantin A. Kayukov — collected data, edited the manuscript, approved the published version of the article, and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Anatoliy V. Ivshin — collected data, edited the manuscript, approved the published version of the article, and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Максим Николаевич Пичугин* — руководитель направления центра компетенций по развитию технологий ГРП, Группа компаний «Газпром нефть»
190121, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Почтамтская, д. 3–5.
e-mail: ProNeft@gazprom-neft.ru

Артем Владимирович Чураков — руководитель центра компетенций по развитию технологий ГРП, Группа компаний «Газпром нефть»

Дмитрий Андреевич Старицин — руководитель программ развития технологий ГРП, Группа компаний «Газпром нефть»

Егор Владимирович Шель — руководитель программ цифровизации и IT инструментов ГРП, Группа компаний «Газпром нефть»

Евгений Геннадиевич Казаков — руководитель направления, Группа компаний «Газпром нефть»

Maksim N. Pichugin* — Leader of direction, Gazprom нефт company group
3–5, Pochtamskaya str., 190121,
Saint Petersburg, Russia.
e-mail: ProNeft@gazprom-neft.ru

Artem V. Churakov — Head of the Fracturing Competence Center, Gazprom нефт company group

Dmitry A. Staritsin — Leader of Hydraulic Fracturing Technology Development Programs, Gazprom нефт company group

Egor V. Shel — Head of Digitalization programs and IT Tools for Hydraulic Fracturing, Gazprom нефт company group

Evgeniy G. Kazakov — Leader of direction, Gazprom нефт company group

Руслан Рамильевич Гайнетдинов — руководитель направления, Группа компаний «Газпром нефть»

Никита Александрович Шаповаленко — главный специалист, Группа компаний «Газпром нефть»

Ильдар Гаязович Файзуллин — директор программ по развитию технологий ГРП, Группа компаний «Газпром нефть»

Константин Александрович Каюков — начальник отдела, Группа компаний «Газпром нефть»

Анатолий Владимирович Ившин — руководитель проекта, Группа компаний «Газпром нефть»

Ruslan R. Gaynetdinov — Leader of direction, Gazprom нефt company group

Nikita A. Shapovalenko — Head specialist, Gazprom нефt company group

Ildar G. Fayzullin — Director of Hydraulic Fracturing Technology Development Programs, Gazprom нефt company group

Konstantin A. Kayukov — Head of Department, Gazprom нефt company group

Anatoliy V. Ivshin — Project manager, Gazprom нефt company group

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author