

УДК 622.276
AGRIS P31

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/113/15>

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА

©Струков Е. В., Югорский государственный университет,
г. Ханты-Мансийск, Россия, 20strukov03@mail.ru

©Нанишвили О. А., SPIN-код: 8482-1528, Югорский государственный
университет, г. Ханты-Мансийск, Россия, olgayugu@yandex.ru

APPLICATION OF SOFTWARE COMPLEXES FOR MODELING HYDRAULIC FRACTURING

©Strukov E., Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia, 20strukov03@mail.ru

©Nanishvili O., SPIN-code: 8482-1528, Yugra State University,
Khanty-Mansiysk, Russia, olgayugu@yandex.ru

Аннотация. В данной работе приведены результаты моделирования процесса гидравлического разрыва пласта по реальным данным месторождения на горизонтальном участке скважины в двух наиболее популярных программных продуктах: “RN-GRID” и “tNavigator”. Проведен анализ показателей разработки без гидравлического разрыва пласта и с учетом его проведения в каждой модели. Оценены возможности использования программных продуктов для оценки эффективности мероприятия.

Abstract. This paper presents the results of modeling the hydraulic fracturing process based on real field data in a horizontal section of a well in two of the most popular software products: RN-GRID and tNavigator. An analysis of development indicators without hydraulic fracturing and taking into account its implementation in each model is conducted. The possibilities of using software products to assess the effectiveness of the event are assessed.

Ключевые слова: гидравлический разрыв, коллектор, скважина, моделирование, нефть.

Keywords: hydraulic fracturing, reservoir well, modeling, oil.

Длительная разработка месторождений приводит к тому, что эффективная добыча нефти становится невозможна без применения геолого-технологических мероприятий. Одним из наиболее результативных мероприятий является гидравлический разрыв пласта (ГРП). Данный метод позволяет вовлечь в разработку залежи, обладающие низким коэффициентом проницаемости, путем создания высокопроводимой трещины. Наибольшую эффективность с точки зрения прироста дебита показывает применение многостадийного гидравлического разрыва пласта (МГРП) на горизонтальных участках скважин, ввиду уменьшения скин-фактора и увеличения площади дренирования залежи [1, 2].

В связи с широким распространением гидравлического разрыва пласта, возникла необходимость оценки ожидаемых результатов проведения операции. Для данной цели было создано большое количество программных продуктов, наибольшее распространение из которых получили: ПК “RN-GRID” – активно применяется в группе предприятий ПАО «НК

«Роснефть»; ПК “tNavigator” – распространен во многих нефтедобывающих компаниях, в том числе – в ПАО «Газпром нефть».

Программный комплекс “RN-GRID” разработан в 2017 г специалистами ООО «РН-БашНИПИнефть». Это симулятор, который позволяет детально описывать сложную геометрию трещины, образующуюся в породе при гидроразрыве пласта (ГРП) [3].

Симулятор выполняет все операции и инженерные расчёты, необходимые для проектирования ГРП. Он способен загружать и визуализировать большие объёмы исходных данных, создавать геомеханическую модель пласта, анализировать диагностические закачки, рассчитывать дизайн операций ГРП и анализировать уже проведённые операции с использованием обширной базы данных технологических жидкостей и пропантов для ГРП [4].

ПК “tNavigator” — единый программный пакет, который позволяет создавать геологические и динамические модели нефтегазовых месторождений, моделировать PVT свойства, строить поверхностную сеть, выполнять расчет модели, а также анализ неопределенностей в рамках единого интерфейса [5].

В программных продуктах, указанных выше, был смоделирован слабопроницаемый маломощный коллектор на основании реальных данных нефтяного месторождения. Характеристики моделируемого пласта и флюида представлены в Таблице 1. Параметры моделируемой скважины представлены в Таблице 2. Все данные также взяты по реально существующей скважине месторождения.

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА И ФЛЮИДА

Параметр	Значение
Глубина залегания, м	2872
Проницаемость, мД	15
Пористость, %	17
Пластовое давление, МПа	28
Продуктивная мощность пласта, м	7
Вязкость флюида, мПа*с	2,5
Плотность, кг/м ³	905

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИРУЕМОЙ СКВАЖИНЫ

Параметр	Значение
Длина горизонтального участка, м	500
Количество портов ГРП, шт.	10
Плотность расположения портов, м/шт	50
Радиус скважины, м	0,108

Симуляция ГРП в ПК “RN-GRID”. Первым этапом моделирования ГРП в программном продукте “RN-GRID” являлось проектирование траектории скважины. Горизонтальный участок расположен на глубине 2875 м (Рисунок 1).

Расчет процесса МГРП проводился с учетом взаимовлияния создаваемых трещин. Закачка пропанта выполнялась рампом, то есть с постепенным увеличением концентрации пропанта на 1 м². Масса пропанта на один порт составила 20,131 т. Результаты ГРП по созданному дизайну представлены в Таблице 3.

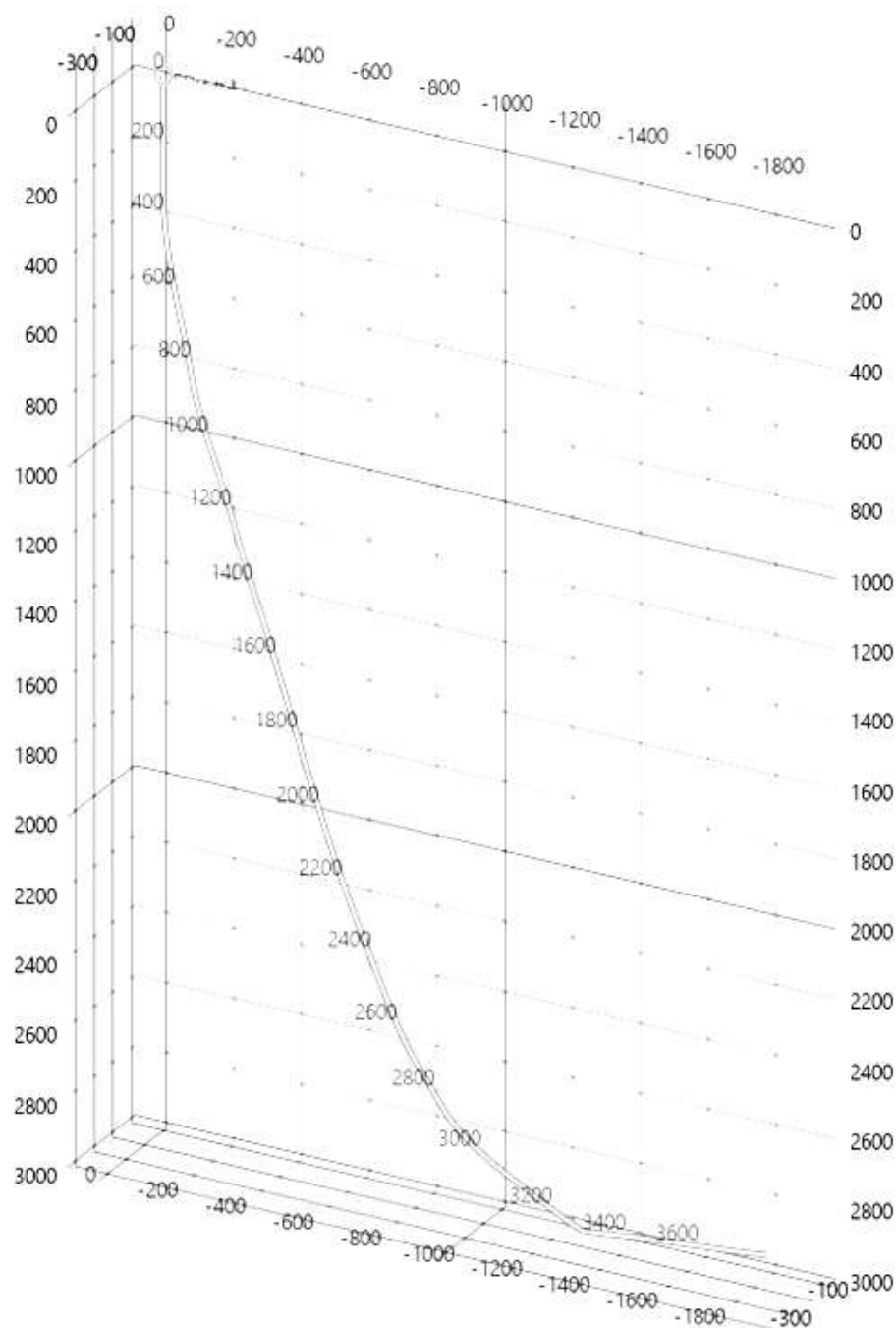


Рисунок 1. Пространственный профиль скважины

Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИЗАЙНА ГРП ПО ПОРТАМ

Параметры	Полученные данные
Прирост дебита на один порт, м ³ /сут	3,71
Скин-фактор	-3,7096
Объем в продуктивной зоне, м ³	1,7029
Высота трещины, м	6,277
Полудлина трещины, м	120,5948
Ширина трещины, мм	2,486

В результате расчета дизайна ГРП была получена трещины, карта раскрытия которой изображена на Рисунке 2. Форма созданной трещины близка к симметричной, что может свидетельствовать о равномерности её раскрытия относительно пласта коллектора.

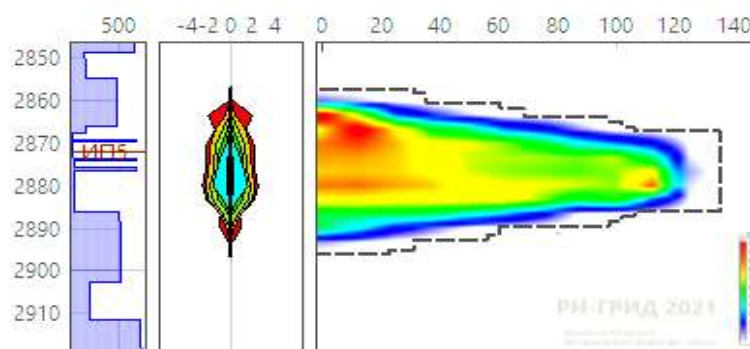


Рисунок 2. Карта раскрытия трещины

Вывод: ПК “RN-GRID” позволяет учесть литолого-физические характеристики продуктивного пласта, задать траекторию скважины, объем и вид закачиваемого проппанта, а также дает возможность анализировать карты раскрытия трещины и концентрации проппанта. Однако в данном симуляторе невозможно спрогнозировать добычу нефти на определенный период.

Симуляция ГРП в ПК “tNavigator”. В ПК “tNavigator” была смоделирована скважина с горизонтальным участком, аналогично скважине в ПК “RN-GRID” (Рисунок 3). Указанные данные были созданы во вкладке «Дизайнер моделей». Время жизни трещины составляет порядка 365 дней (1 год).

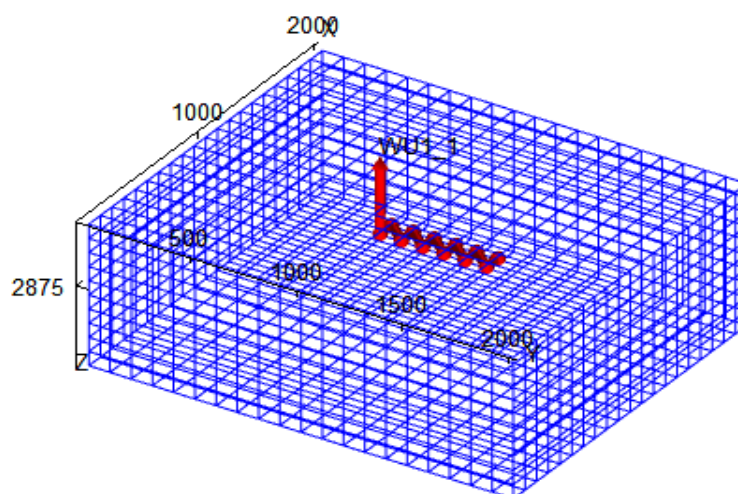


Рисунок 3. Расположение скважины в моделируемом пласте

Используемые относительные фазовые проницаемости в проведении симуляции представлены на Рисунке 4.

Для дальнейших расчетов гидравлического разрыва пласта был выполнен экспорт гидродинамической модели во вкладку «Расчет». ГРП проводился сразу в момент вторичной перфорации скважины. Параметры для проведения операции были заданы аналогично параметрам в ПК “RN-GRID”. Расчет результатов был произведен на 5 лет вперед (период задан с 01.01.2020 по 01.01.2025) (Рисунок 5).

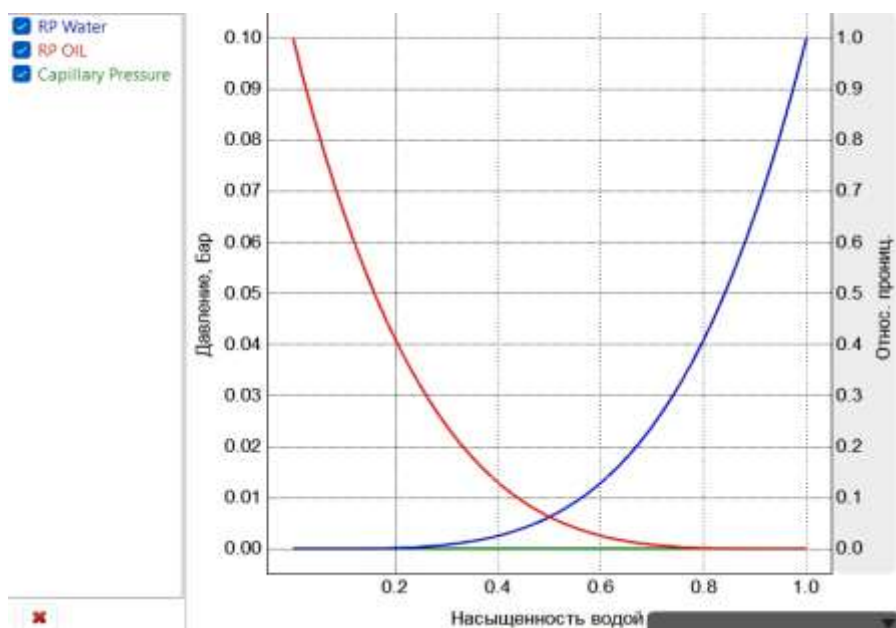


Рисунок 4. График относительных фазовых проницаемостей

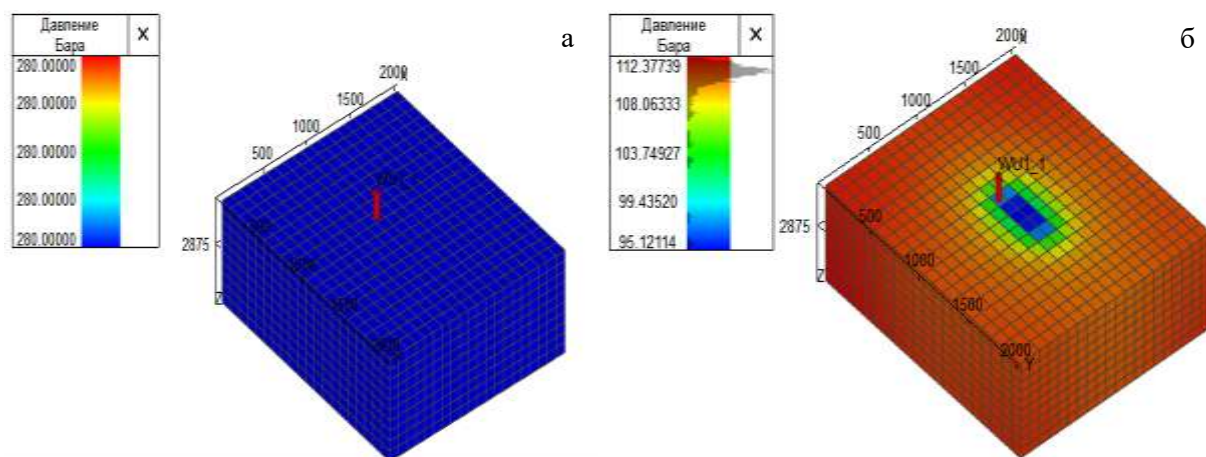


Рисунок 5. Пластовое давление: а - начальное, б – через 5 лет от начала разработки

По итогам расчета были построены следующие карты: распределение нефтенасыщенности по итогам расчетного периода (Рисунок 6), массовая плотность нефти (Рисунок 7).

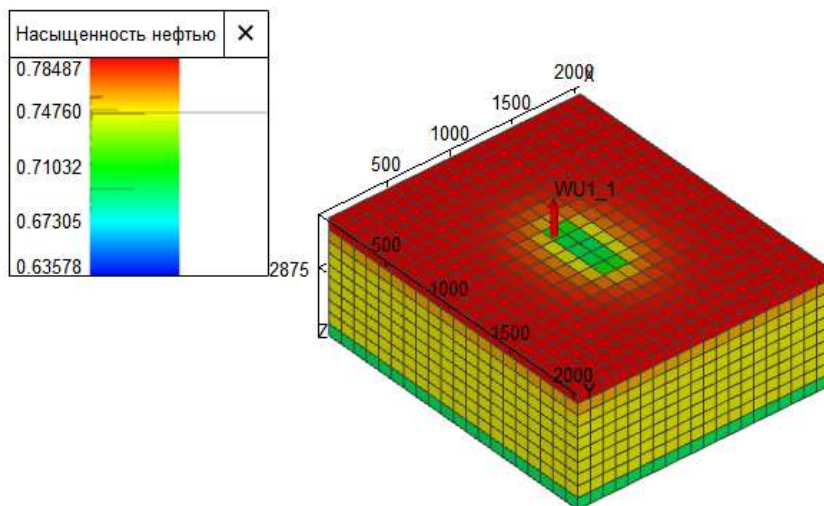


Рисунок 6. Распределение нефтенасыщенности через 5 лет разработки

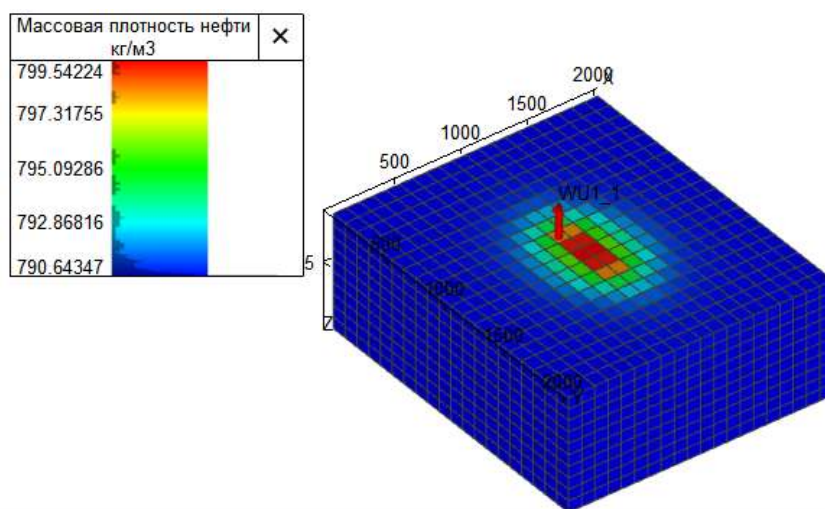


Рисунок 7. Карта массовой плотности нефти

Помимо указанных карт, ПК “tNavigator” позволяет визуализировать графики основных показателей разработки, таких как дебиты по нефти, воде и газу, обводненность продукции. График сравнения показателей разработки без ГРП и с проведенным ГРП, за период работы скважины равный 1 году, приведен на Рисунке 8.

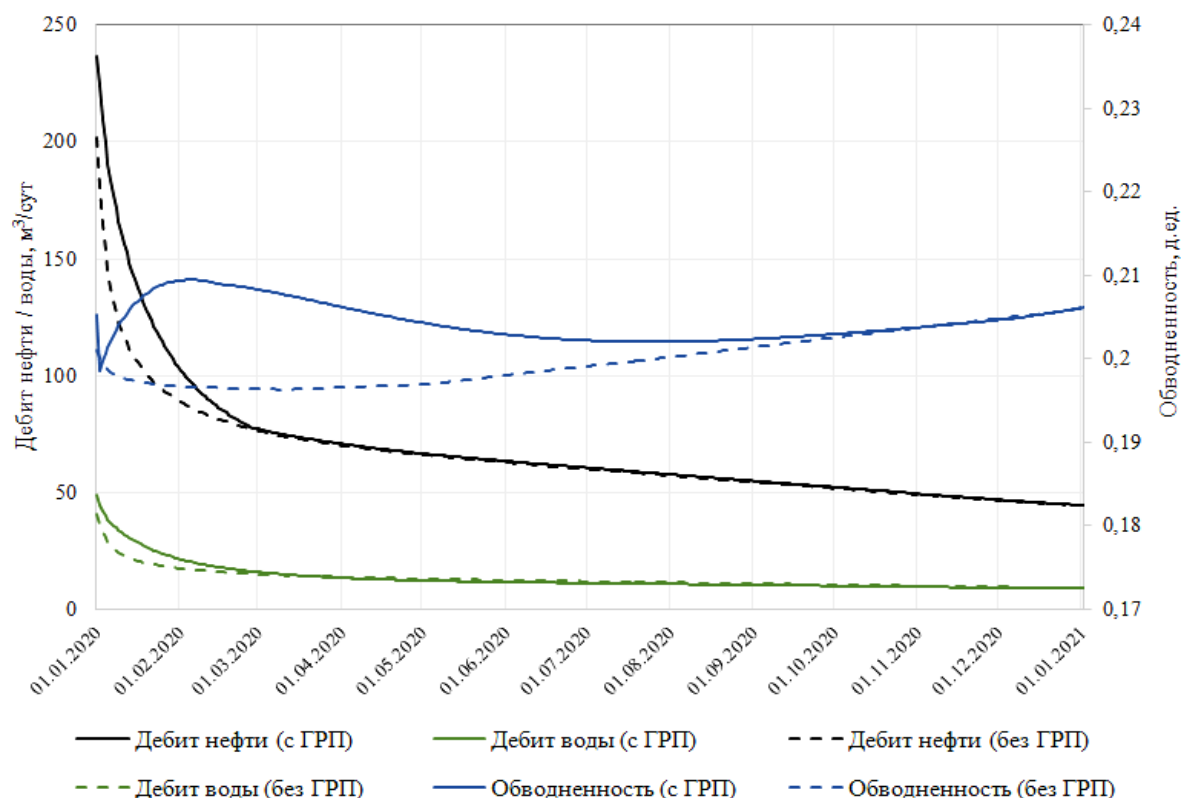


Рисунок 8. График сравнения основных показателей разработки с проведением ГРП и без него

На основании полученных данных можно провести сравнение технологических показателей до проведения операции многостадийного гидравлического разрыва пласта и после нее (Рисунок 9). Как видно, наибольшая разница по накопленным отборам была получена по истечению недели после проведения операции, а разница за весь наблюдаемый период является минимальной.

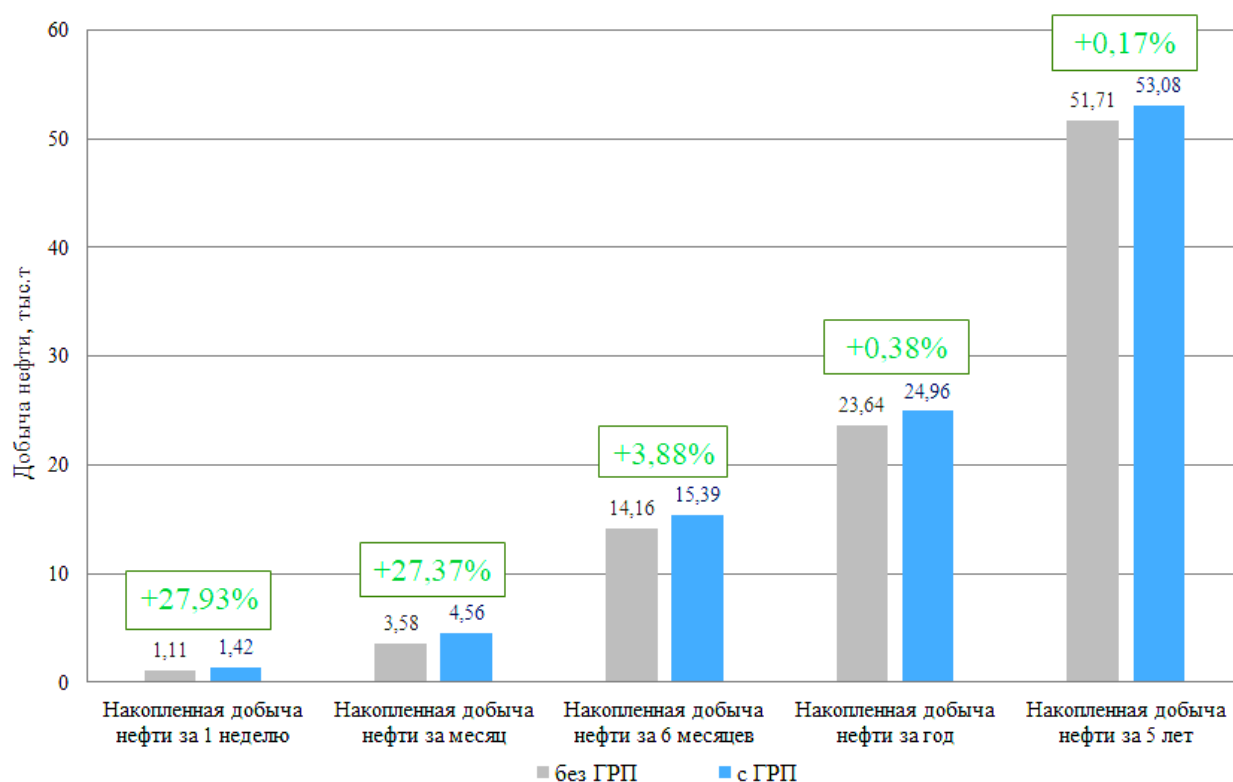


Рисунок 9. Сравнение данных моделирования в ПК “tNavigator”

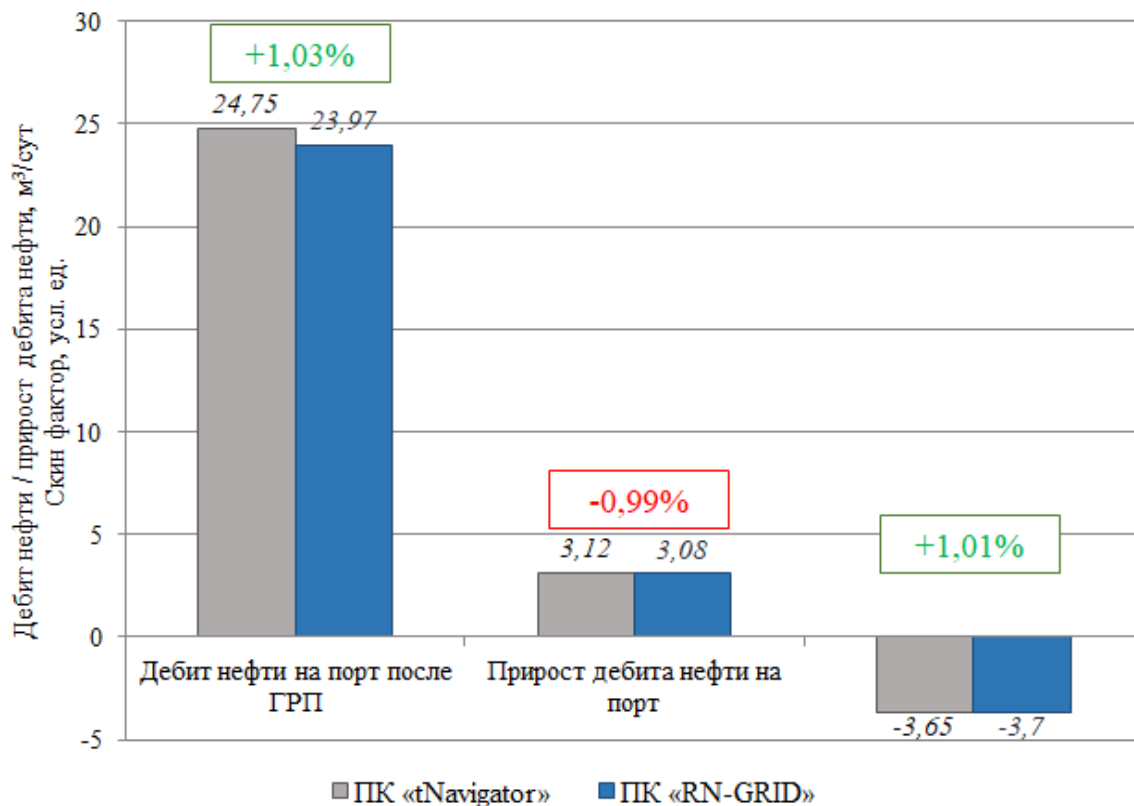


Рисунок 10. Сравнение результатов моделирования в ПК “tNavigator” и ПК “RN-GRID”

ПК “tNavigator” позволяет создавать различные геологические и гидродинамические модели, гибко настраивать параметры продуктивного пласта, скважин и проводимых на них операций. Большим плюсом программы является возможность прогнозировать дальнейшую разработку на определенный период вперед, что позволяет в перспективе оценивать принятые решения и изменять вводимые данные для достижения наиболее эффективного результата.

На основании проведенных симуляций в программных продуктах “RN-GRID” и “tNavigator” проанализируем сходимость полученных результатов, учитывая, что задаваемые параметры скважины и проведения МГРП в просчитанных симуляциях идентичны. Сравнение показателей представлено на Рисунке 10.

Таким образом, можно сказать, что различие результатов в просчитанных моделях прослеживается минимально отклонение в полученных результатах (порядка 1%). Данное отличие является несущественным, на основании чего можно сделать вывод о практически полном соответствии результатов расчета гидравлического разрыва пласта в данных программных продуктах.

Список литературы:

1. Кузьменков С. Г., Королев М. И., Новиков М. В. Эффективность применения методов повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти на месторождениях Ханты-Мансийского автономного округа-Югры // Георесурсы. 2023. Т. 25, № 3. С. 129-139.
2. Бархатов Э. А., Яркеева Н. Р. Эффективность применения многозонного гидроразрыва пласта в горизонтальных скважинах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 10. С. 50-58.
3. Бигильдина А. Р. Моделирование гидроразрыва пласта на примерах трехслойной и пятислойной моделей пласта в симуляторе ГРП «РН-ГРИД» // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы VII Межрегиональной школы-конференции. Уфа, 2021. С. 180-181.
4. Мамбетов Ж. С., Медведев К. С. Анализ эффективности многозонного гидроразрыва пласта в условиях низкопроницаемых коллекторов // Вопросы науки и образования. 2018. №26(38). С. 9-14.
5. Эйдинов Д. А. tNavigator - гидродинамический симулятор нового поколения // Недропользование XXI век. 2015. №4(54). С. 62-69.

References:

1. Kuz'menkov, S. G., Korolev, M. I., & Novikov, M. V. (2023). Effektivnost' primeneniya metodov povysheniya nefteotdachi plastov i intensifikatsii dobychi nefiti na mestorozhdeniyakh Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga-Yugry. *Georesursy*, 25(3), 129-139. (in Russian).
2. Barkhatov, E. A., & Yarkееva, N. R. (2017). Effektivnost' primeneniya mnogozonnoгo gidrorazryva plasta v gorizonta'l'nykh skvazhinakh. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 328(10), 50-58. (in Russian).
3. Bigil'dina, A. R. (2021). Modelirovanie gidrorazryva plasta na primerakh trekhsloinoi i pyatisloinoi modelei plasta v simulyatore GRP “RN-GRID”. In *Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya nelineinykh protsessov v kondensirovannykh sredakh: materialy VII Mezhregional'noi shkoly-konferentsii*. Ufa, 180-181. (in Russian).
4. Mambetov, Zh. S., & Medvedev, K. S. (2018). Analiz effektivnosti mnogozonnoгo gidrorazryva plasta v usloviyakh nizkopronitsaemykh kollektorov. *Voprosy nauki i obrazovaniya*, (26(38)), 9-14. (in Russian).

5. Eidinov, D. A. (2015). tNavigator - gidrodinamicheskii simulyator novogo pokoleniya. *Nedropol'zovanie XXI vek*, (4(54)), 62-69. (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 20.01.2025 г.*

*Принята к публикации
29.01.2025 г.*

Ссылка для цитирования:

Струков Е. В., Нанишвили О. А. Применение программных комплексов для моделирования гидравлического разрыва пласта // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №4. С. 107-115. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/113/15>

Cite as (APA):

Strukov, E., & Nanishvili, O. (2025). Application of Software Complexes for Modeling Hydraulic Fracturing. *Bulletin of Science and Practice*, 11(4), 107-115. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/113/15>