Добыча полезных ископаемых

DOI: 10.35634/UdSU.2026.73.10.002

УДК 622.243.24

А.Р. Шаймарданов, С.А. Красноперова

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РН-ГРИД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к цифровой трансформации процесса гидравлического разрыва пласта (ГРП) с использованием отечественных программных решений. На примере программных комплексов РН-ГРИД показано, как интеграция цифровых технологий позволяет повысить эффективность ГРП на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами. Приведены результаты внедрения цифровых решений на Арланском месторождении, демонстрирующие увеличение эффективности операций ГРП на 25-30%, снижение количества неудачных операций и рост дополнительной добычи нефти. Статья обосновывает стратегическую важность отечественных симуляторов ГРП для обеспечения технологического суверенитета и экономической устойчивости нефтегазовой отрасли в условиях импортозамещения.
Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, цифровая трансформация, отечественные решения, РН-ГРИД, трудноизвлекаемые запасы, низкопроницаемые коллекторы, зрелые месторождения, импортозамещение.

Для цитирования: Шаймарданов А.Р., Красноперова С.А. Применение программного комплекса РН-ГРИД при проектировании гидравлического разрыва пласта для повышения эффективности разработки месторождений // Управление техносферой: электрон. журнал, 2026. Т.9. Вып.1. С. 15–26. DOI: 10.35634/UdSU.2026.73.10.002

Актуальность

В настоящее время развитие программы импортозамещения в стране, а также реализация приоритетного направления «Современная цифровая образовательная среда в Российской Федерации» нацелены на получение

качественного образования гражданами России с использованием современных информационных технологий и развитием цифровых навыков или компетенций в их профессиональной деятельности [1-2].

На текущий момент на рынке программного обеспечения представлены симуляторы иностранных разработчиков: MFrac, FRACPRO, FracCADE, StimPlan, GOHFER, Kinetix. В условиях импортозамещения и цифровизации нефтегазовой отрасли особую значимость приобретают отечественные программные комплексы, такие как РН-ГРИД (ПАО «НК «Роснефть»).

«РН-ГРИД» — программный комплекс для моделирования и анализа процессов гидравлического разрыва пласта (ГРП) в нефтегазовой отрасли. Также данный комплекс успешно используется в учебных целях для развития у обучающихся магистратуры направления подготовки: 21.04.01.01 Разработка нефтяных месторождений с нефтями повышенной и высокой вязкости профессиональных компетенций в соответствии с их специализацией.

РН-БашНИПИнефть, входящая в корпоративный научно-проектный комплекс Роснефти, создала промышленный симулятор ГРП РН-ГРИД в рамках реализации цифровой стратегии Роснефти в 2017 году. Разработка этого программного комплекса обеспечила полную технологическую независимость компании от зарубежного программного обеспечения в области инженерных расчетов для гидроразрыва пласта (рис.1) [1-3].

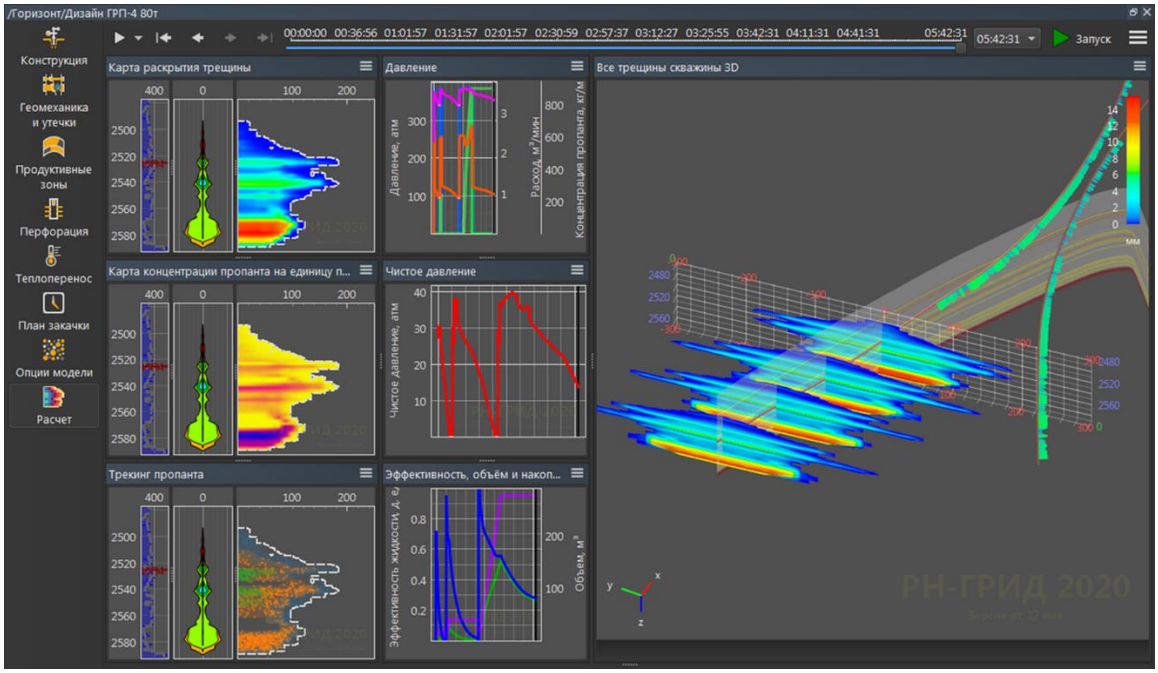


Рис. 1. Интерфейс ПО «РН-ГРИД»

Математическая модель симулятора РН-ГРИД базируется на современной концепции Planar3D, которая позволяет наиболее точно описывать сложную геометрию трещины, возникающей в породе при проведении ГРП. Эта концепция является наиболее передовой в отрасли и обеспечивает высокую точность моделирования сложных процессов образования и развития трещин. В отличие от полностью трехмерных моделей, требующих значительных вычислительных ресурсов, Planar3D представляет трещину как двумерную поверхность в трехмерном пространстве, что значительно ускоряет расчеты при сохранении достаточной точности.

Как показывает опыт, применение ПО «РН-ГРИД», расчет ГРП с использованием модели Planar3D на порядки ускоряет процесс проектирования ГРП. Моделирование 100-тонного основного ГРП до полного закрытия трещины занимает всего 30 секунд, что позволяет оперативно проводить многовариантные расчеты и оптимизацию параметров.

РН-ГРИД физически адекватно описывает большинство явлений, связанных с процессом гидроразрыва (рис.2):



Рис. 2. Область анализа, реализованная в ПО «РН-Грид»

1. Перенос пропанта вдоль трещины: оседание пропанта в маловязкой жидкости; учет ускорения и торможения пропанта в потоке жидкости; бриджинг пропанта в узких местах трещины и повторная мобилизация пропанта при последующем увеличении раскрытия.

2. Реология жидкости: учет реологии, зависящей от времени и температуры; моделирование деградации сшитых гелей.

3. Взаимодействие с пластом: учет естественной трещиноватости; интерференция и пересечение трещин при моделировании; взаимодействие трещин с геологическими разломами.

Ключевые функциональные возможности программного обеспечения включают комплексное проектирование и оптимизацию ГРП с возможностью моделирования многостадийных операций, где каждая последующая трещина учитывает наличие предыдущих, а также импульсной закачки для прогнозирования перераспределения проппантов [2].

Система предоставляет широкий спектр алгоритмов автоматизированной оптимизации, включая метод Нелдера-Мида, дифференциальную эволюцию и метод роя частиц для повышения точности расчетов.

Программный комплекс обеспечивает полный анализ тестовых закачек, включая мини-ГРП, закачку со ступенчатым изменением расхода и интерпретацию нагнетательных тестов с использованием диагностических графиков. Осуществляется эффективная интеграция с геонавигационными, геомеханическими и гидродинамическими системами, включая импорт данных из РН-ГОРИЗОНТ+ и возможность экспорта результатов в гидродинамические симуляторы. Поддержка Python-скриптов и API позволяет обрабатывать данные с использованием встроенных библиотек и создавать пользовательские алгоритмы анализа для кастомизации рабочих процессов.

Функционал анализа и интерпретации данных включает визуализацию, совмещение устьевых и забойных данных, анализ микросейсмического мониторинга и определение стимулированного объема пласта (SRV) с калибровкой геометрии трещин.

На примере Арланского месторождения обучающимися были освоены основные навыки комплексного цифрового подхода при решении основных задач, необходимых для минимизации рисков и повышения эффективности ГРП.

На рис. 3 приведен процесс проектирования и анализа операции ГРП.

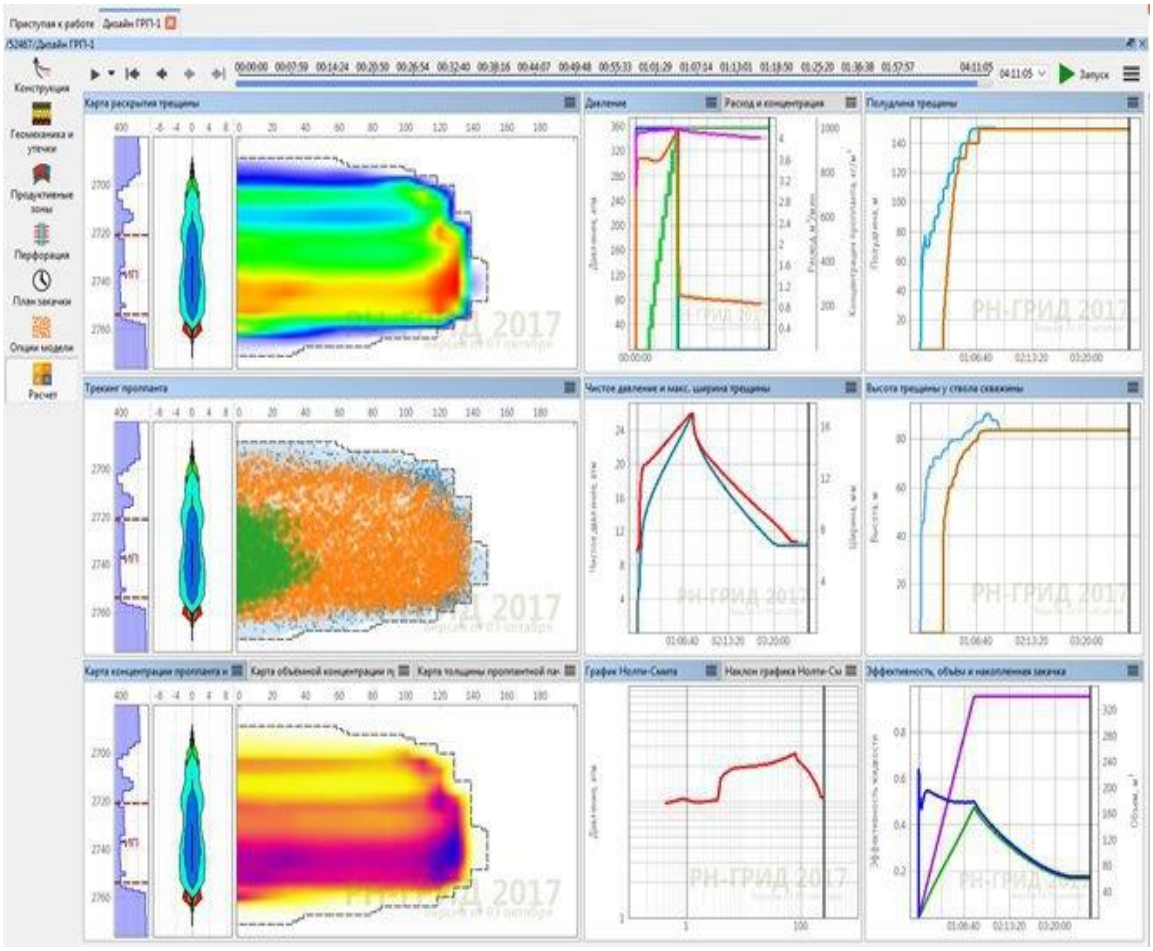


Рис. 3. Типовой процесс проектирования и анализа операции ГРП в ПО «РН-ГРИД»

В РН-ГРИД выполнено свыше 10 тыс. операций ГРП с полным циклом проектирования. Такой объем успешно проведенных операций подтверждает промышленную зрелость и надежность симулятора. Анализ параметров выполненных работ и показатели добычи скважин после ГРП подтвердили высокую достоверность результатов проектирования в "РН-ГРИД".

Система успешно применяется с 2018 года, за это время проведено более 6 тыс. операций гидроразрыва на месторождениях с различными геологическими условиями. Программа на 20% точнее воспроизводит характеристики трещин по сравнению с зарубежными аналогами и способна

увеличить прирост добычи углеводородов до 5%, учитывая естественную трещиноватость и интерференцию трещин.

Опыт применения РН-ГРИД на месторождениях Республики Башкортостан демонстрирует его эффективность при работе с низкопроницаемыми коллекторами.

На основе анализа опыта применения симуляторов перспективы развития цифровой оптимизации ГРП включают:

1. Формирование единой базы данных: создание оцифрованного архива всех проведённых операций ГРП на месторождении с их результатами и загрузка в симулятор.

2. Интеграция с Big Data и машинным обучением: интеграция симуляторов с системами анализа больших данных и машинного обучения позволит использовать исторические данные о проведенных операциях ГРП для автоматического выявления закономерностей и повышения точности прогнозирования.

3. Взаимодействие с системами IoT и цифровыми двойниками: будущее развитие РН-ГРИД связано с интеграцией с системами Интернета вещей (IoT) и созданием цифровых двойников месторождений. Это позволит получать данные в реальном времени и оперативно корректировать параметры ГРП в процессе его проведения.

4. Адаптивные технологии: разработка адаптивных технологий ГРП для сложных условий эксплуатации, которые могут автоматически корректировать параметры операции в реальном времени на основе данных мониторинга.

Выводы

Применение симулятора для проектирования гидравлического разрыва пласта представляет собой важный шаг в цифровизации нефтегазовой отрасли и обеспечивает значительное повышение эффективности операций ГРП.

Основные преимущества включают высокую скорость расчетов, физическую адекватность модели, удобство интерфейса и мощные возможности интеграции с другими системами. Практический опыт применения симуляторов на месторождениях подтверждает его эффективность: повышение результативности операций ГРП, снижение количества неудачных операций и увеличение экономической выгоды.

Цифровая оптимизация гидравлического разрыва пласта представляет собой перспективное направление для повышения эффективности разработки зрелых месторождений. Интеграция данных, использование машинного обучения, гидродинамического моделирования и цифровых двойников позволяют значительно повысить точность прогнозирования результатов ГРП, оптимизировать параметры операции и увеличить дополнительную добычу нефти.

Внедрение цифровых технологий в комплексный процесс планирования — не просто тренд, а необходимое условие для повышения экономической эффективности и поддержания добычи на зрелых активах. Это позволяет существенно повысить процент успешных операций ГРП, снизить риски обводнения и негативного воздействия на соседние скважины, увеличить коэффициент извлечения нефти за счет вовлечения в разработку слабодренируемых запасов и обеспечить значительную экономию средств за счет отказа от неэффективных операций.

Для подготовки профессиональных кадров необходимо учитывать широкое внедрение цифровых продуктов в повседневную работу нефтегазовых

компаний. На сегодняшний день программный комплекс «РН-ГРИД», разработанный в ООО «РН-БашНИПИнефть», широко внедрен в образовательные программы профильных вузов. Его преимуществом является интеграция различных типов данных и моделей, поддержка Python-скриптов для кастомизации анализа, высокая скорость расчетов, удобство интерфейса и мощные возможности интеграции с другими системами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красноперова С. А., Каримова Е. Н., Антонов М. С. Волков М. Г. Применение программного комплекса РН-ГЕОСИМ в учебном процессе высших учебных заведений // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2023. № 3. С. 20–33. URL: https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-3-20-33. (Дата обращения: 15.09.2025).
2. Оскольских К.Л., Красноперова С.А. Применение нейросетей в нефтегазовой отрасли // Управление техносферой: электрон. журнал, 2025. Т.8. Вып.4. С. 644–654. DOI: 10.35634/UdSU.2025.40.98.006
3. Епифанов Ю.Г., Красноперова С.А. Применение современных технологий при обучении студентов нефтегазовому делу в Удмуртском государственном университете // Управление техносферой: электрон. журнал, 2025. Т.8. Вып.4. С. 655–664. DOI: 10.35634/UdSU.2025.10.75.007
4. КиберГРП. URL: https://techpartners.gazprom-neft.ru/kibergrp/ (Дата обращения: 15.09.2025).
5. Ахмятов А.А., Макеев Г.А. Корпоративный симулятор гидроразрыва пласта «РН-ГРИД»: от программной реализации к промышленному внедрению // Нефтяное хозяйство. 2018. №5. С. 94 – 97.
6. РН-Грид. Обзор возможностей. URL: https://nauka.rosneft.ru/tech/inzhenernoe-programmnoe-obespechenie. (Дата обращения: 15.09.2,25).
7. Наукоёмкое программное обеспечение для разведки и добычи. URL: https://rn.digital/ (Дата обращения: 15.09.2025).

Поступила в редакцию: 05.07.2025

Сведения об авторах

Шаймарданов А.Р.
магистрант, Институт нефти и газа им. М.С. Гуцериева, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», 426034, ул. Университетская, 1, г. Ижевск, Россия.
E-mail: shaimardanov-almaz@mail.ru

Красноперова Светлана Анатольевна
к.б.н., доцент кафедры геологии нефти и газа, доцент, Институт нефти и газа им. М.С. Гуцериева, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», 426034, ул. Университетская, 1, г. Ижевск, Россия.
E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru

A.R. Shaimardanov, S.A. Krasnoperova

APPLICATION OF THE RN-GRID SOFTWARE PACKAGE IN THE DESIGN OF HYDRAULIC FRACTURING TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF FIELD DEVELOPMENT

Annotation. The article discusses modern approaches to the digital transformation of the hydraulic fracturing process using domestic software solutions. Using the example of the RN-GRID software packages, it is shown how the integration of digital technologies makes it possible to increase the efficiency of hydraulic fracturing in fields with hard-to-recover reserves. The results of the implementation of digital solutions at the Arlanskoye field are presented, demonstrating an increase in the efficiency of hydraulic fracturing operations by 25-30%, a reduction in the number of unsuccessful operations, and an increase in additional oil production. The article substantiates the strategic importance of domestic hydraulic fracturing simulators for ensuring technological sovereignty and economic sustainability of the oil and gas industry in the context of import substitution.
Keywords: hydraulic fracturing, digital transformation, domestic solutions, RN-GRID, hard-to-recover reserves, low-permeability reservoirs, mature fields, import substitution.

For citation: Shaimardanov A.R., Krasnoperova. S.A. [Application of the RN-GRID software package in the design of hydraulic fracturing to improve the efficiency of field development] *Upravlenie tekhnosferoi,* 2026, vol. 9, issue 1. pp. 15–26. DOI: 10.35634/UdSU.2026.73.10.002. (In Russ.).

REFERENCES

1. Krasnoperova S. A., Karimova E. N., Antonov M. S. Volkov M. G. Primenenie programmnogo kompleksa RN-GEOSIM v uchebnom protsesse vysshikh uchebnykh zavedenii [Application of the PH-GEOSIM software package in the educational process of higher educational institutions]. Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo». [Online publication "Oil and Gas business"]. 2023, no. 3. Pp. 20–33. Available at: https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-3-20-33. (In Russ.).
2. Oskol'skikh K.L., Krasnoperova S.A. Primenenie neirosetei v neftegazovoi otrasli [Application of neural networks in the oil and gas industry] *Upravlenie tekhnosferoi: elektron. Zhurnal*. 2025, vol.8, issue 4, pp. 644–654. DOI: 10.35634/UdSU.2025.40.98.006. (In Russ.).
3. Epifanov YU.G., Krasnoperova S.A. Primenenie sovremennykh tekhnologii pri obuchenii studentov neftegazovomu delu v Udmurtskom gosudarstvennom universitete [Application of modern technologies in teaching oil and gas engineering to students at Udmurt State

University] *Upravlenie tekhnosferoi: elektron. zhurnal*, 2025б vol.8, issue 4, pp. 655–664. DOI: 10.35634/UdSU.2025.10.75.007. (In Russ.).

4. KiberGRP. Available at: https://techpartners.gazprom-neft.ru/kibergrp/ (Accessed: 15.09.2025). (In Russ.).
5. Akhmyatov A.A., Makeev G.A. Korporativnyi simulyator gidrorazryva plasta «RN-GRID»: ot programmnoi realizatsii k promyshlennomu vnedreniyu [Corporate hydraulic fracturing simulator "RN-GRID": from software implementation to industrial implementation]. *Neftyanoe khozyaistvo*. [*Oil industry*]. 2018, no. 5, pp. 94 – 97. (In Russ.).
6. *RN-Grid. Obzor vozmozhnostei*. [PH Grid. Overview of features]. Available at: https://nauka.rosneft.ru/tech/inzhenernoe-programmnoe-obespechenie. (Accessed: 15.09.2,25). (In Russ.).
7. Naukoemkoe programmnoe obespechenie dlya razvedki i dobychi. [High-tech software for exploration and production]. Available at: https://rn.digital/ (Accessed: 15.09.2025). (In Russ.).

Received: 05.07.2025

About the Authors

Shaimardanov A.R.
Master's student, M.S. Gutseriev Institute of Oil and Gas, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State University", 426034, Universitetskaya str., 1, Izhevsk, Russia.
E-mail: alinagai2103@yandex.ru

Krasnoperova Svetlana Anatolyevna
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Geology, Associate Professor, M.S. Gutseriev Institute of Oil and Gas, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State University", 426034, Universitetskaya str., 1, Izhevsk, Russia. E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru