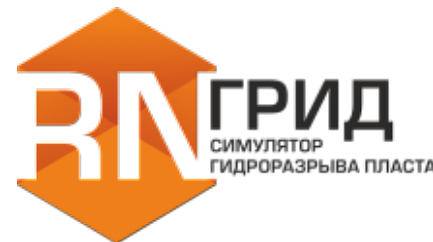




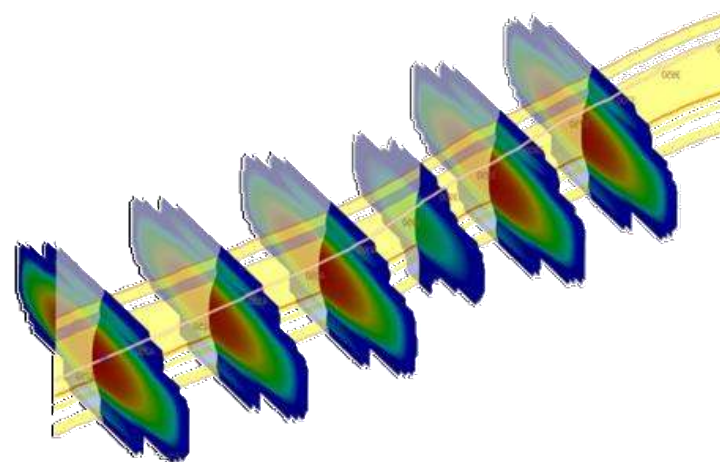
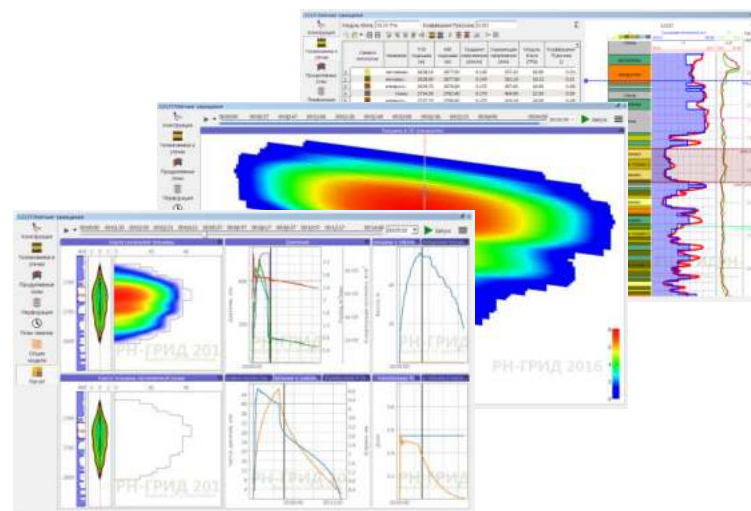
РОСНЕФТЬ



Симулятор гидроразрыва пласта «РН-ГРИД»



- **Импорт, экспорт, визуализация** объемных цифровых массивов исходных данных (ГИС, конструкция скважины, параметры закачки);
- **Расчет дизайна ГРП/КГРП** на основе концепции **Planar3D**;
- **Анализ тестовых закачек:** анализ миниГРП, анализ Степ-тестов, анализ КПД (по Хорнеру, по Нолти, log-log анализ), анализ Нолти-Смита, анализ Мейерхофера, анализ Барри-Крейга;
- **База данных** жидкостей ГРП и проппантов;
- **Проектный подход** к организации входных данных и результатов расчета;
- Развитые инструменты **визуализации**.



Проект по разработке отечественного симулятора ГРП «РН-ГРИД»



← 1.5 года на создание → ← Внутреннее внедрение → ← Развитие и коммерциализация →

2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

Август
принято решение о
целесообразности
разработки

Май
запуск
поисковой
НИР по
разработке
концепции
симулятора
ГРП

Январь
запуск
проекта по
разработке
промышленной
версии
симулятора ГРП

Июль
релиз
«РН-ГРИД»
1.0

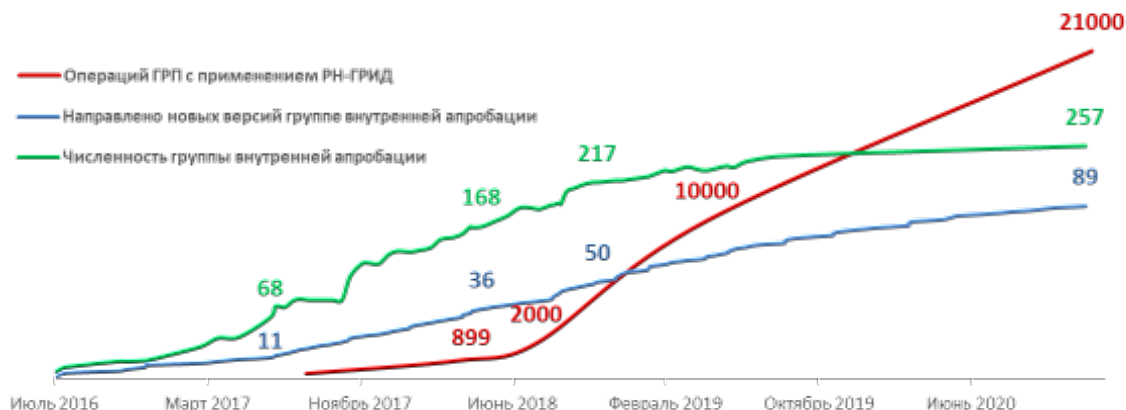
Май
завершено
внутреннее
внедрение

Ноябрь
релиз
«РН-ГРИД» 2.0

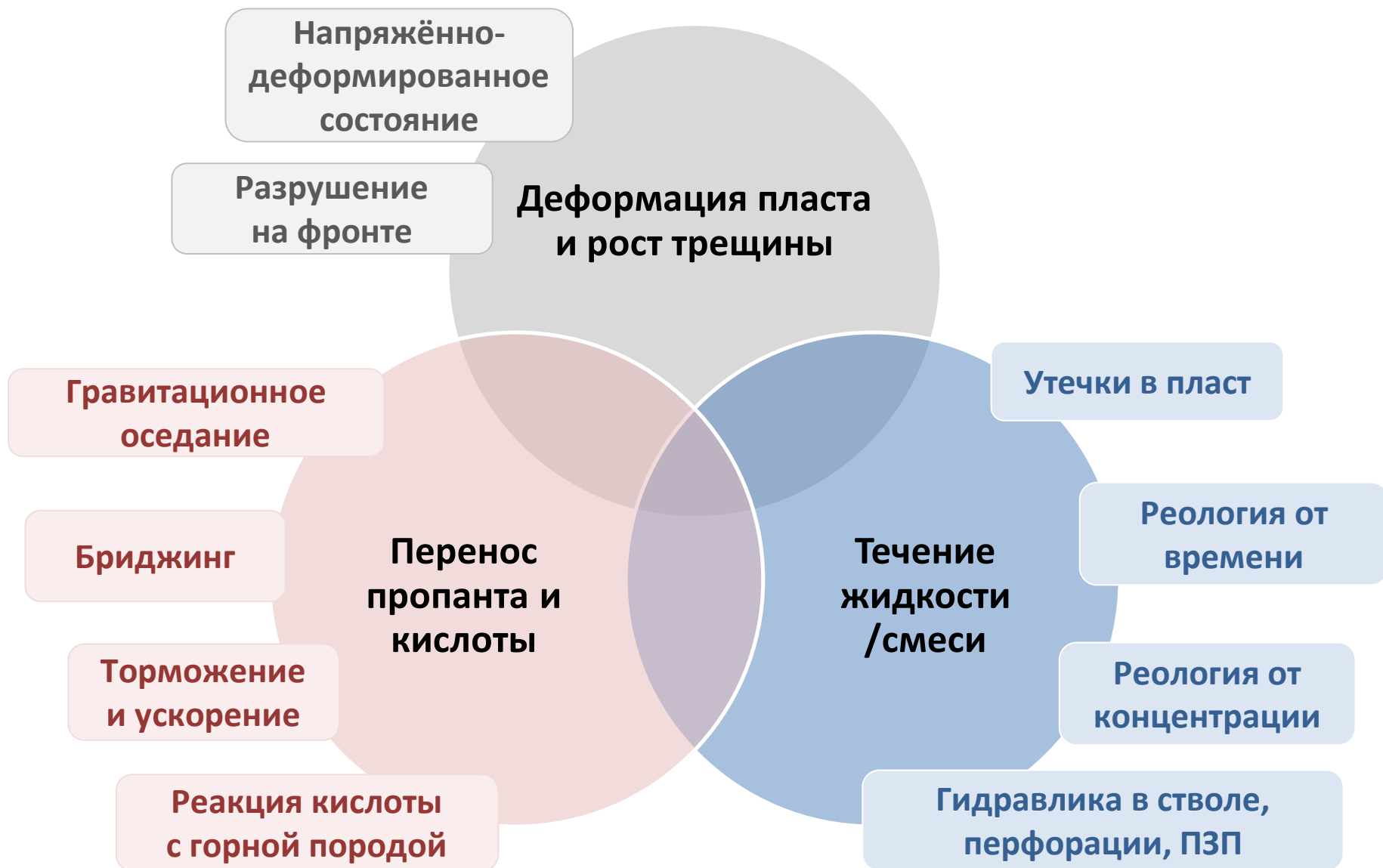
Декабрь
завершена
поисковая НИР
для
проработки
направлений
развития
«РН-ГРИД»

Сентябрь
запуск НИОКР
по созданию
«РН-ГРИД»
версии 3.0

Август
коммерциализация

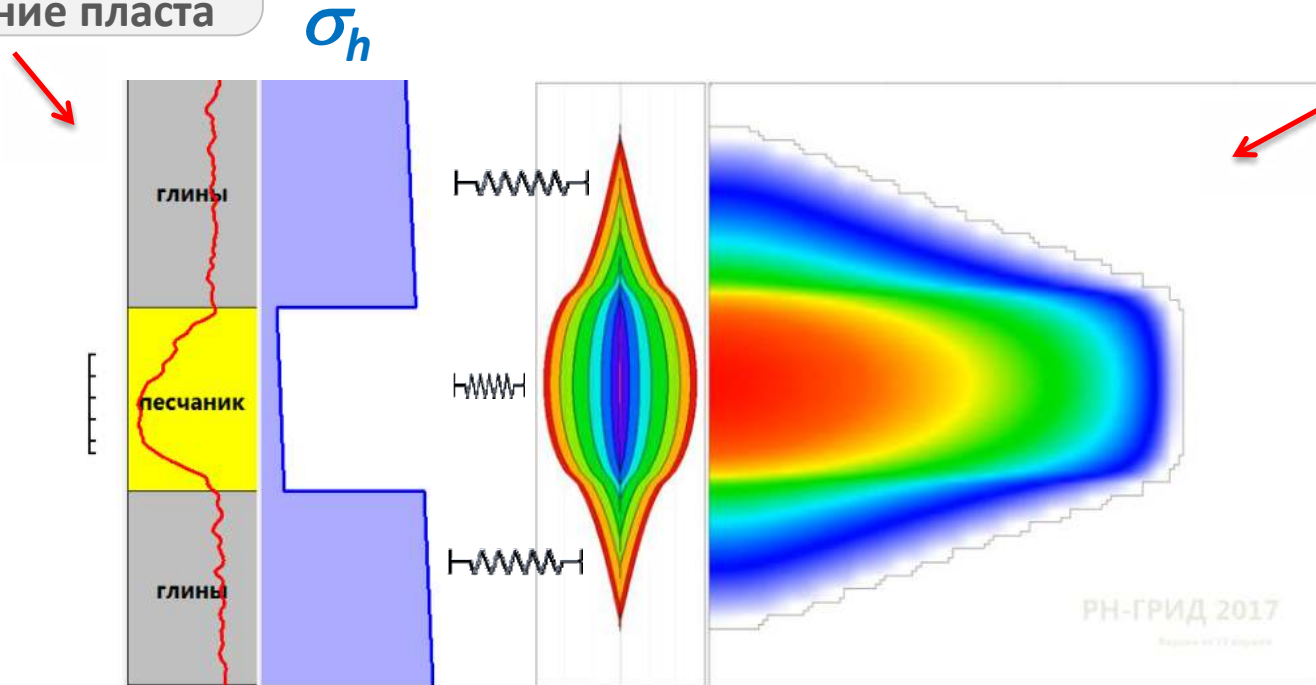


«РН-ГРИД» учитывает все физические процессы для достоверного моделирования ГРП

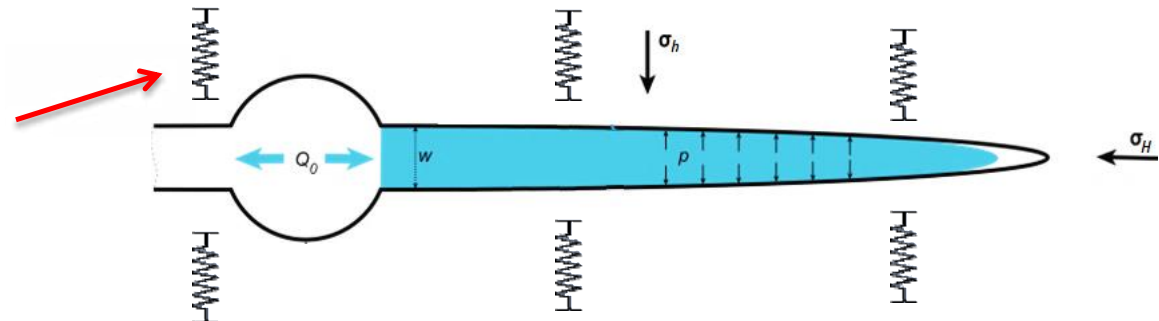




Напряжённо-деформированное состояние пласта



Упругая деформация пласта

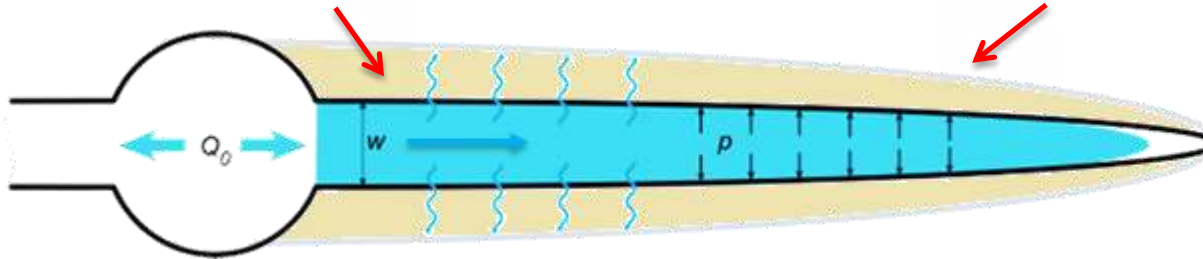


Течение жидкости / смеси

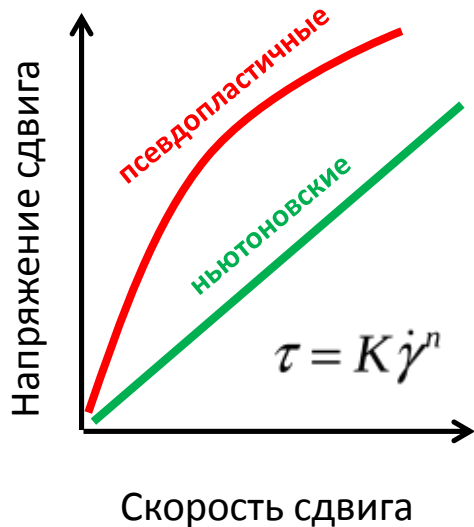


Вязкое течение
вдоль трещины

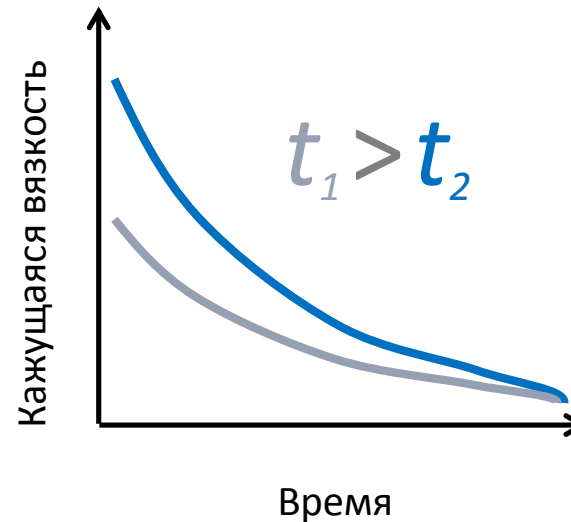
Утечки в пласт



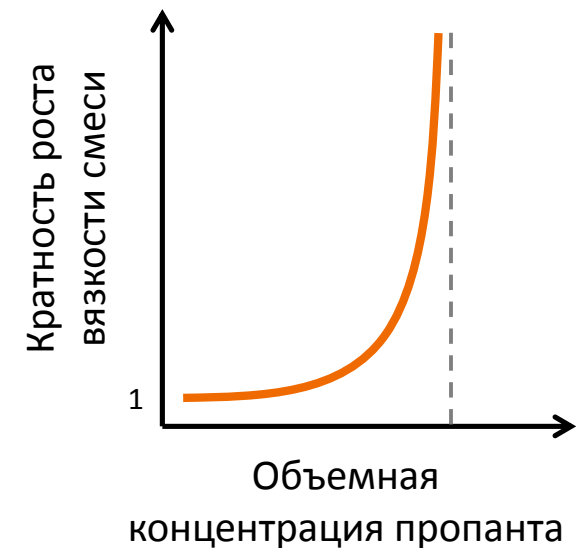
Реология

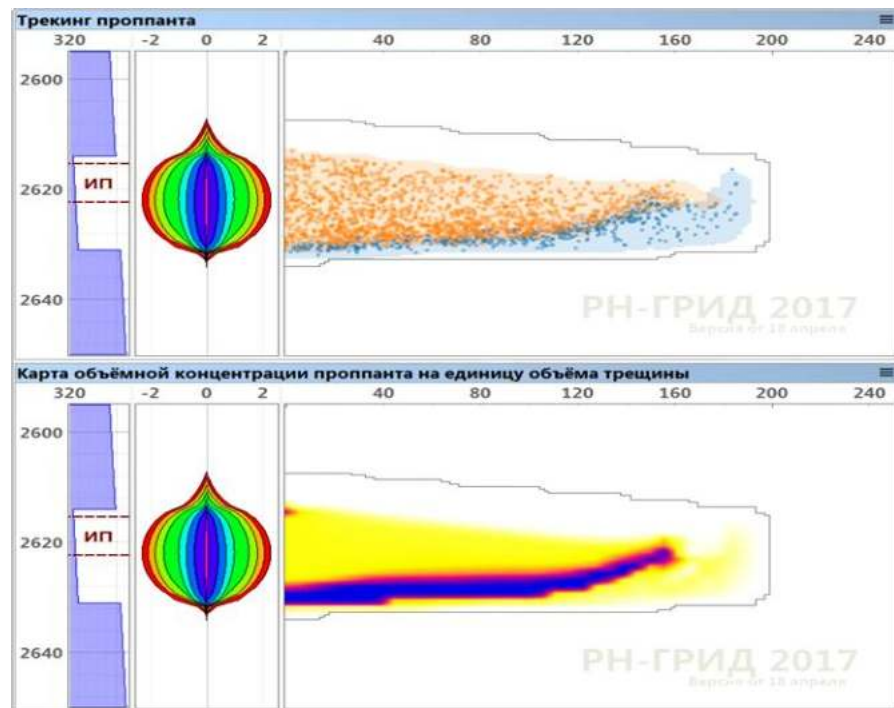
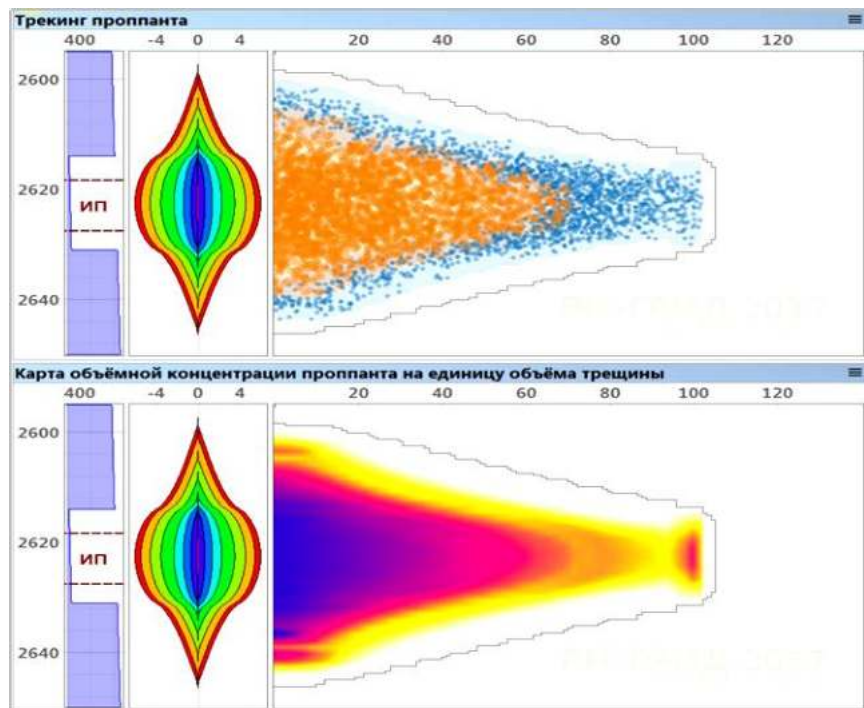


Реология от времени
и температуры

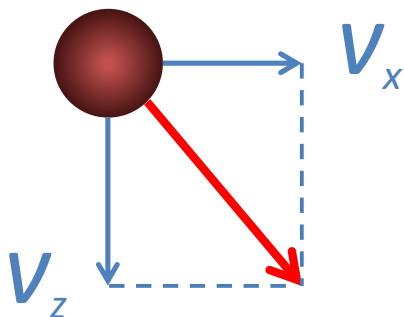


Реология смеси с
пропантом

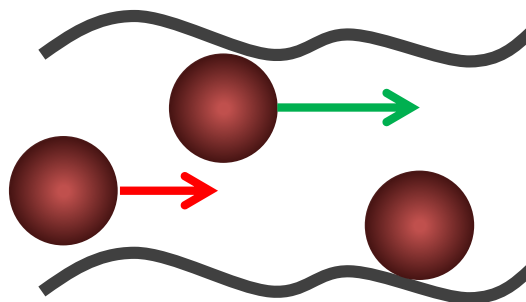




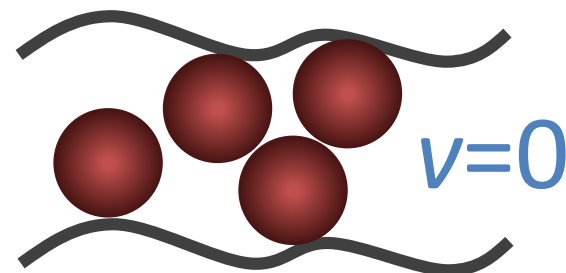
Гравитационное оседание

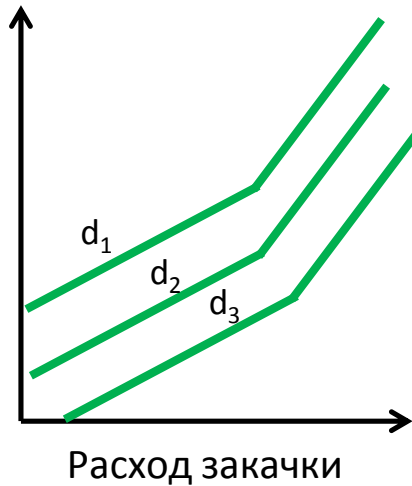
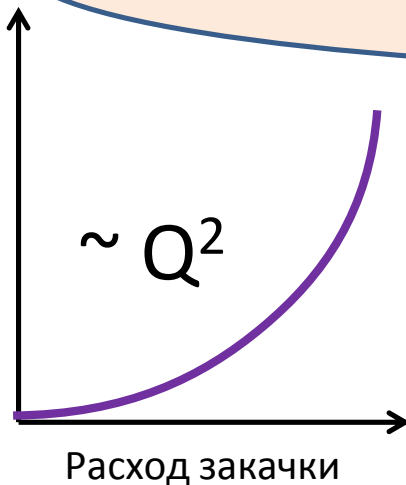
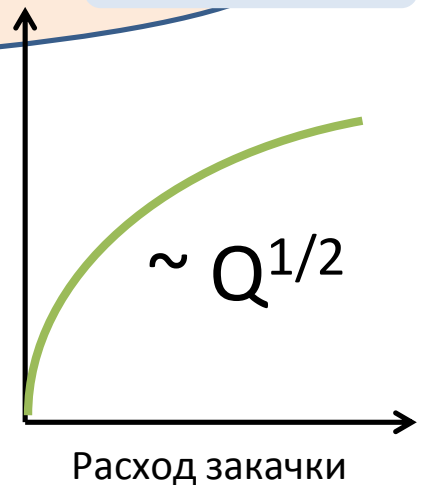


Торможение / ускорение пропанта



Бриджинг



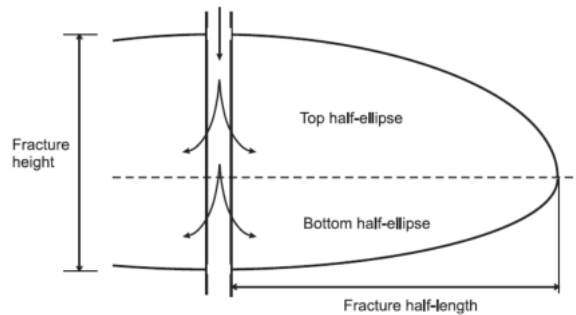
Трение при
течении по трубеВлияние пропанта на
трение - множительТрения на
перфорацииТрения на
извилистости

Математическая модель ГРП в «РН-ГРИД» базируется на самой современной концепции Planar3D

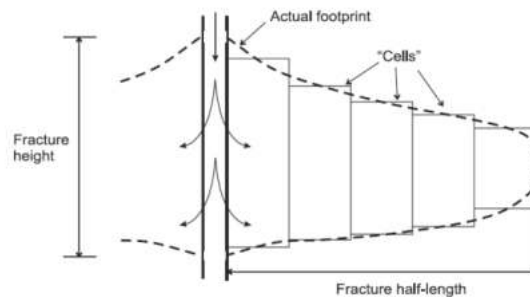


Псевдотрёхмерные Pseudo3D (P3D)

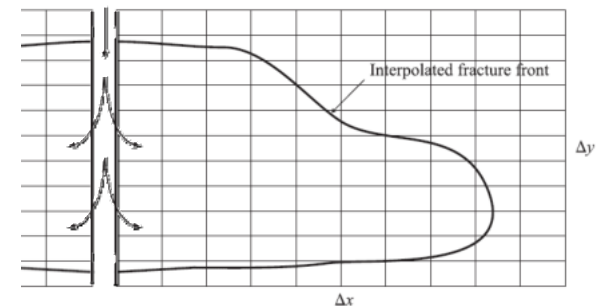
Lumped (LP)



Cell-based (CB)



Планарная трехмерная Planar3D (PL3D)



✗ MFrac

✗ FracCADE

✗ Kinetix



✗ FRACPRO

✗ StimPlan (опция)

✗ StimPlan

✗ GOHFER

✗ - секторальные ограничения в РФ



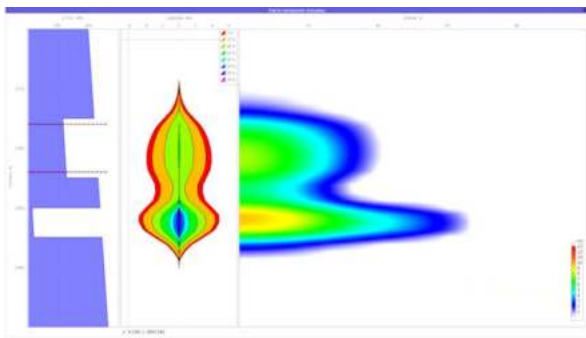
Ключевые параметры	RN-GRID	Stimplan	GONFER	FracCADE	MFrac	FracPro
Модель ГРП	Planar3D	Planar3D	Planar3D	Pseudo3D-Cell Based	Pseudo3D-Lumped	Pseudo3D-Lumped
Форма трещины	Без ограничений, любая планарная форма	Без ограничений, любая планарная форма	Без ограничений, любая планарная форма	Форма ограничена, ряд столбчатых ячеек	Форма ограничена, эллиптический контур	Форма ограничена, эллиптический контур
Подмодель упругости	Полная 3D	Полная 3D	3D упрощенная (урезанная матрица упругости)	2D	2D	2D
Подмодели гидродинамики и переноса пропанта	Истинное 2D течение, отдельное уравнение переноса на каждый пропант	Истинное 2D, одно уравнение переноса для усредненной смеси	Истинное 2D, одно уравнение переноса для усредненной смеси	Псевдо двухмерное течение, одно уравнение переноса для усредненной смеси	Псевдо двухмерное течение, одно уравнение переноса для усредненной смеси	Псевдо двухмерное течение, одно уравнение переноса для усредненной смеси
Сопряжение упругой и гидродинамической подмоделей	полное	полное	полное	упрощенное	упрощенное	упрощенное
Учет эффектов при течении пропанта	Осаждение, торможение/ускорение, локальное застревание	Осаждение, торможение/ускорение	Осаждение, торможение/ускорение, локальное застревание	Осаждение, глобальное застревание	Осаждение, глобальное застревание	Осаждение, глобальное застревание
Скорость расчета	Лучшая в классе Planar3D	Средняя	Средняя	Высокая, т.к. используются полуаналитические решения	Высокая, т.к. используются полуаналитические решения	Высокая, т.к. используются полуаналитические решения

«РН-ГРИД» обеспечивает более достоверное моделирование ГРП по сравнению с другими доступными на рынке решениями

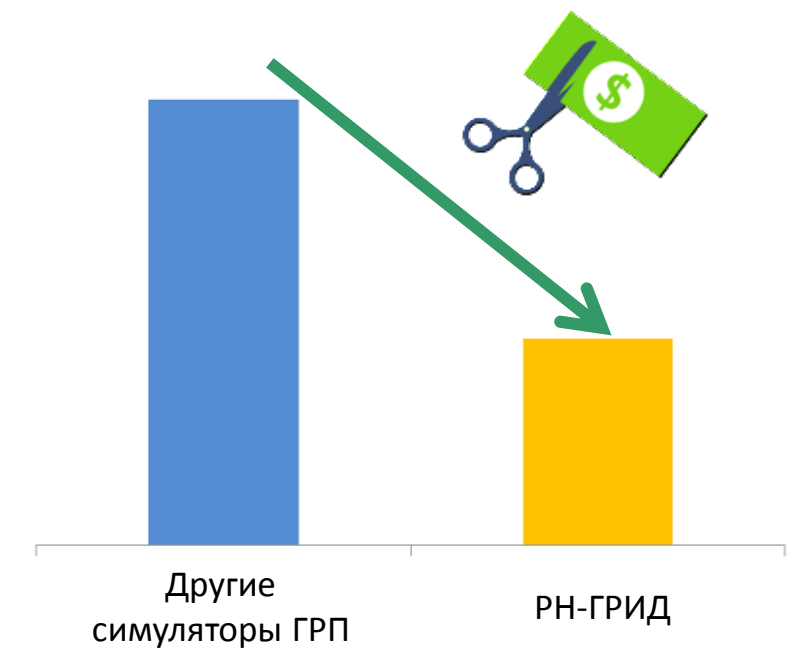
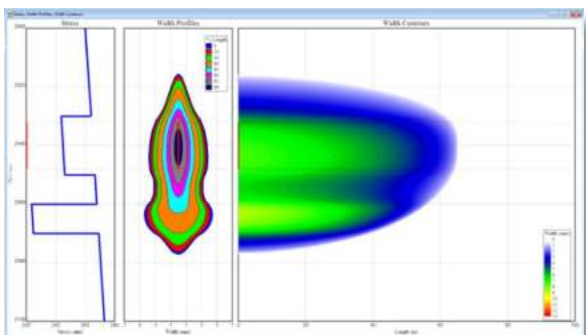
«РН-ГРИД» превосходит доступные на рынке отраслевые решения



RN-GRID (Planar3D)



Pseudo3D симуляторы

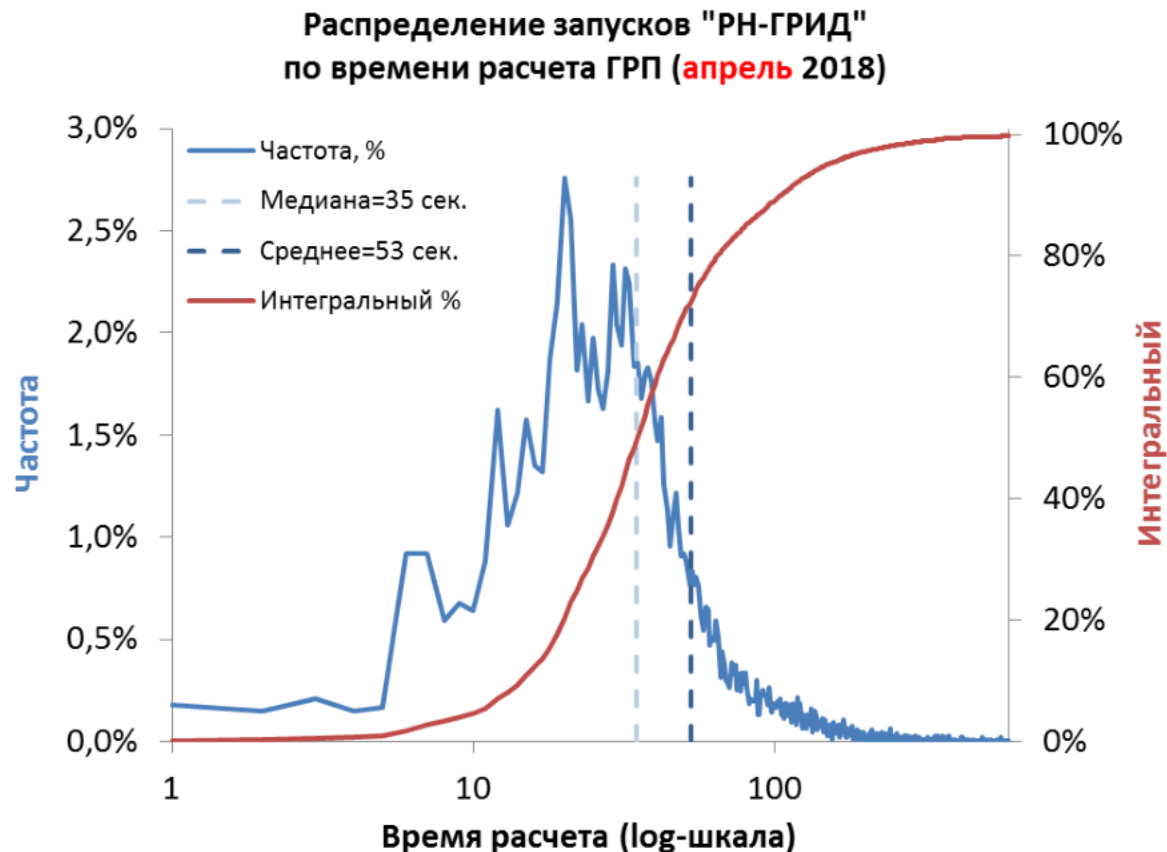


По сравнению упрощенными симуляторами (Lumped Pseudo3D, Cell-based-Pseudo3D) «РН-ГРИД» на основе современной концепции Planar3D обеспечивает более достоверное моделирование геометрии трещины при более низкой цене

Скорость расчета в «РН-ГРИД» в режиме Planar3D (на примере ООО «РН-ГРП» в апреле 2018 г.)



- **625** дизайнов ГРП;
- **10668** запусков на расчет;
- Время расчета:
среднее – **53** сек,
медиана – **35** сек.

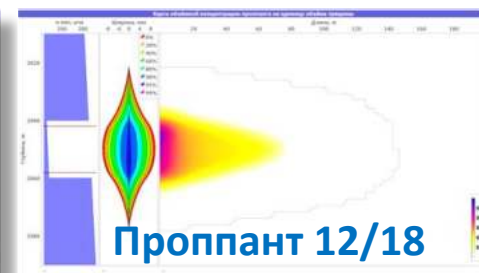
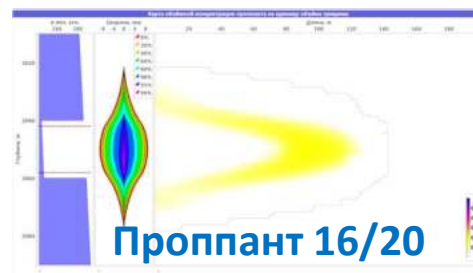
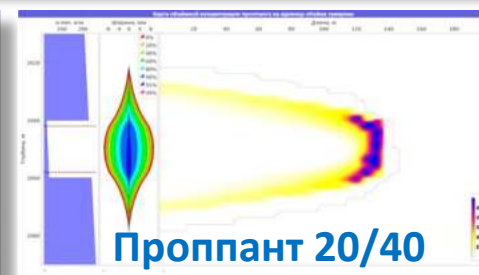
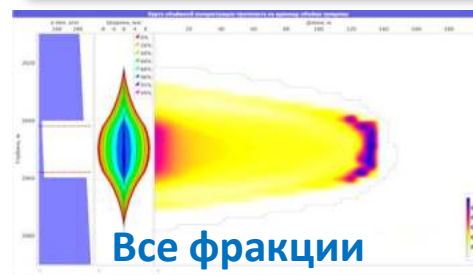
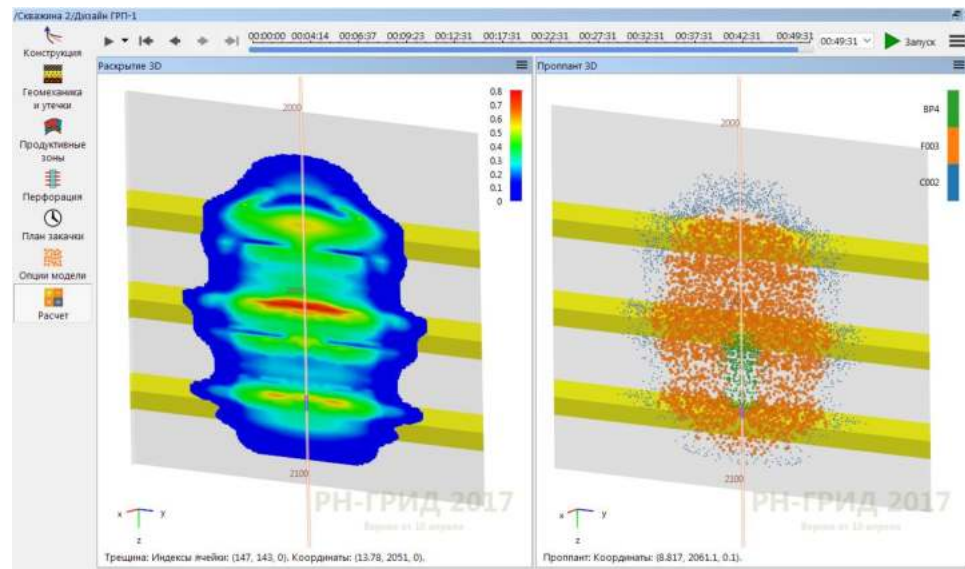


В «РН-ГРИД» реализованы эффективные алгоритмы высокопроизводительных вычислений для моделирования ГРП в рамках концепции Planar3D

Ключевые особенности реализации модели ГРП в «РН-ГРИД»



- Современная Planar3D модель геометрии трещины ГРП;
- Полностью сопряженное неявное решение задачи упругости и гидродинамики;
- Расчет переноса для каждого из закачиваемых проппантов;
- Учет всех важных физических эффектов процесса ГРП.

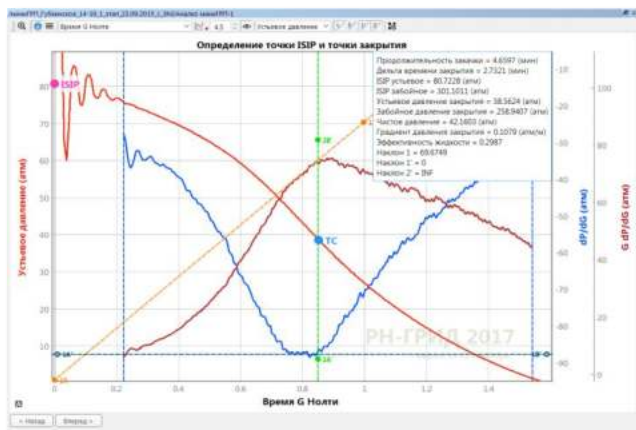




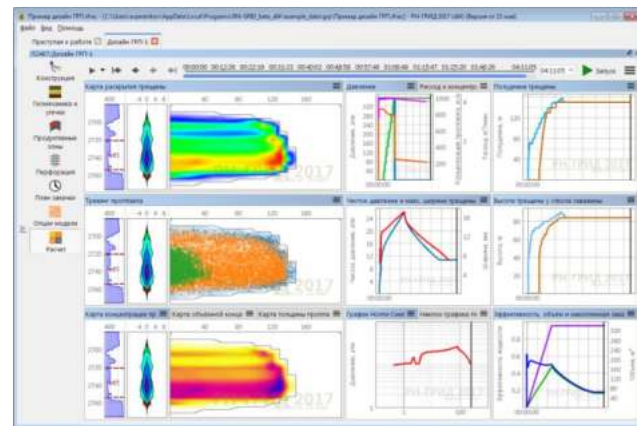
Импорт и визуализация исходных данных



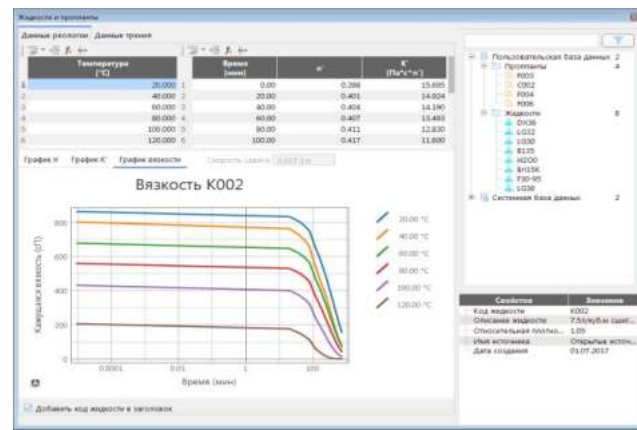
Анализы тестовых закачек



Моделирование ГРП



База данных жидкостей и проппантов



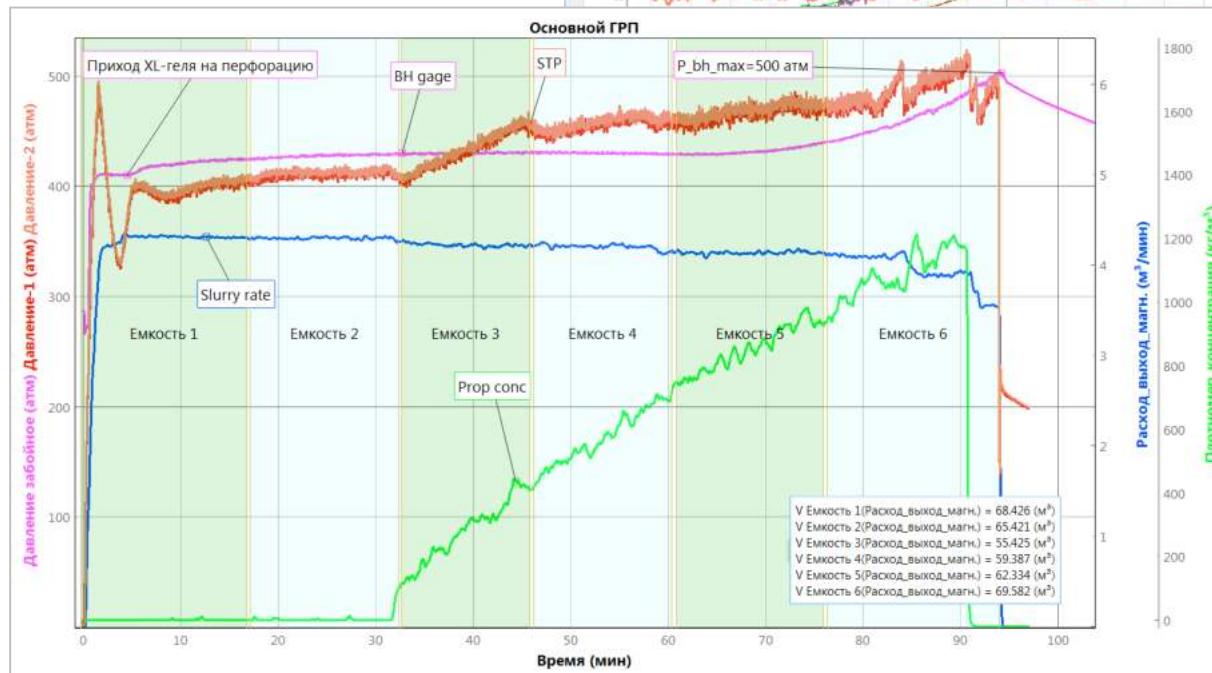
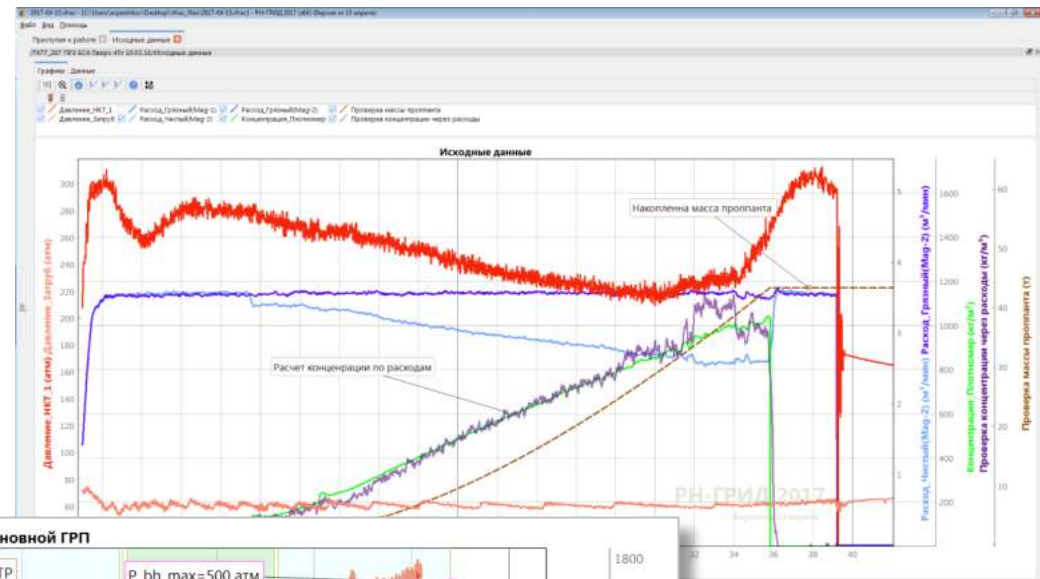


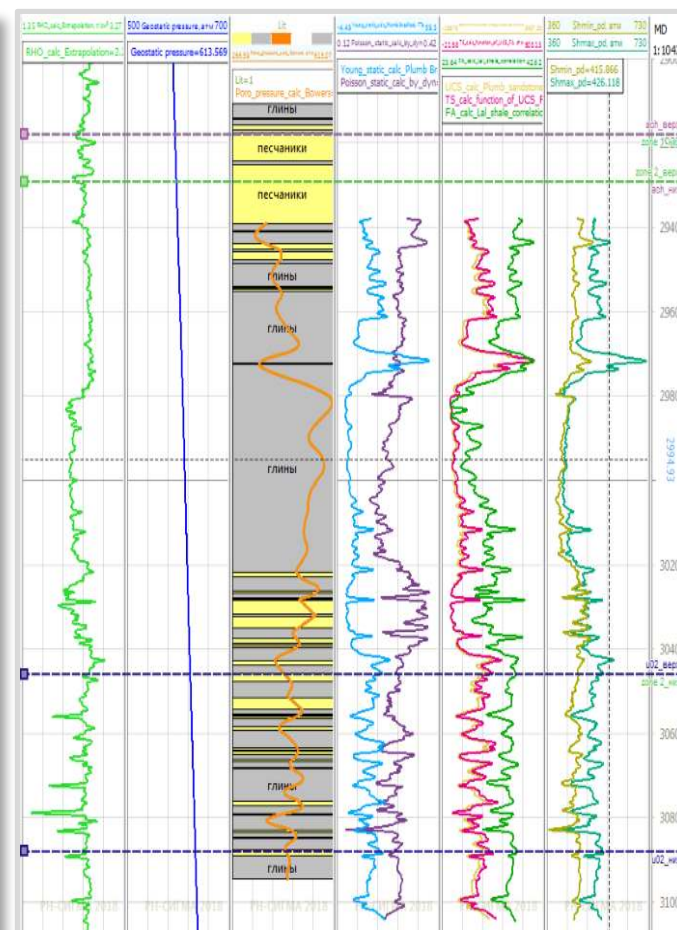
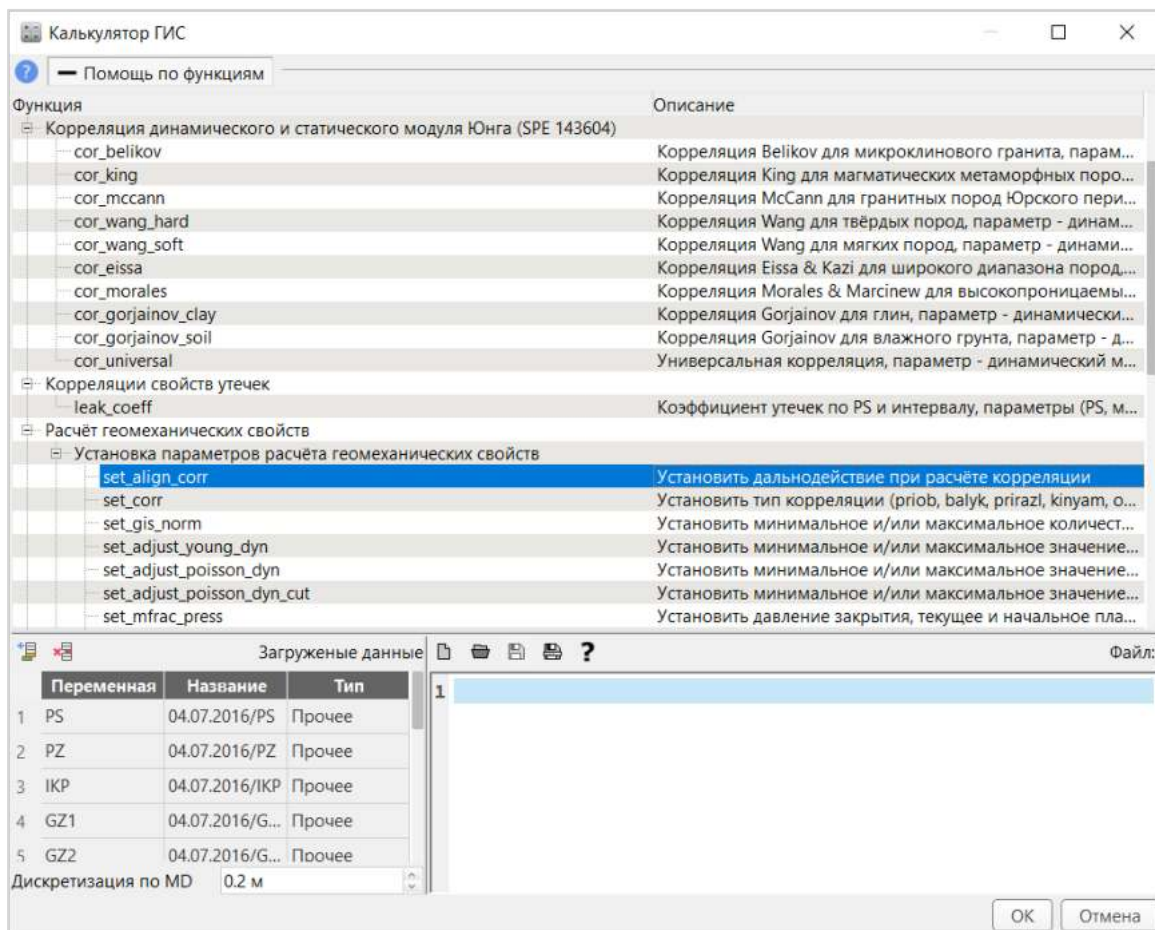
-

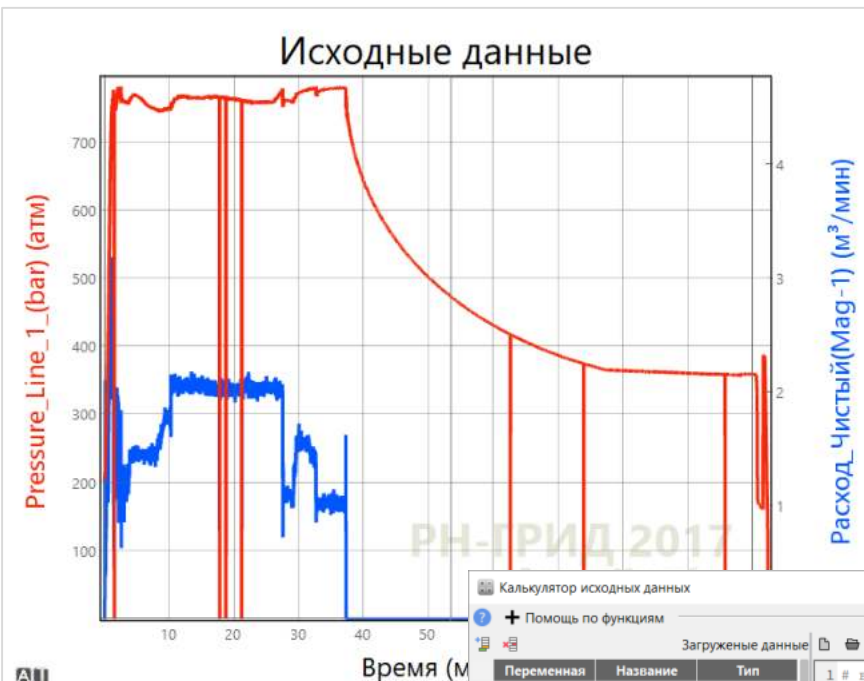
Импорт и визуализация исходных данных



- Расчет и визуализация контрольных показателей расхода материалов
- Пересчеты объемов жидкости и массы проппанта разными методами
- Инструменты комментирования







Калькулятор исходных данных

+ Помощь по функциям

Загруженные данные

Переменная	Название	Тип
1 t	Время	Время
2 p	Pressure_Line_...	Давление
3 p1	Pressure_Line_...	Давление
4 p2	Pressure_Annu...	Давление
5 p3	Pressure_Annu...	Давление
6 q	Расход_Чист...	Расход
7 q1	Расход_Грязн...	Расход
8 q2	Clean_Rate_...	Расход
9 q3	Slurry_Rate_...	Расход
10 c	Auger_Conc_...	Массовая ко...
11 c1	Dens_Conc_...	Массовая ко...
12 c2	ВН_Conc	Массовая ко...
13 c3	Расчетная_ко...	Массовая ко...
14 obj	Сумматор_Ш...	Прочее
15 c4	Сумматор_Пл...	Массовая ко...
16 c5	Conc_BC-D2_...	Массовая ко...

```

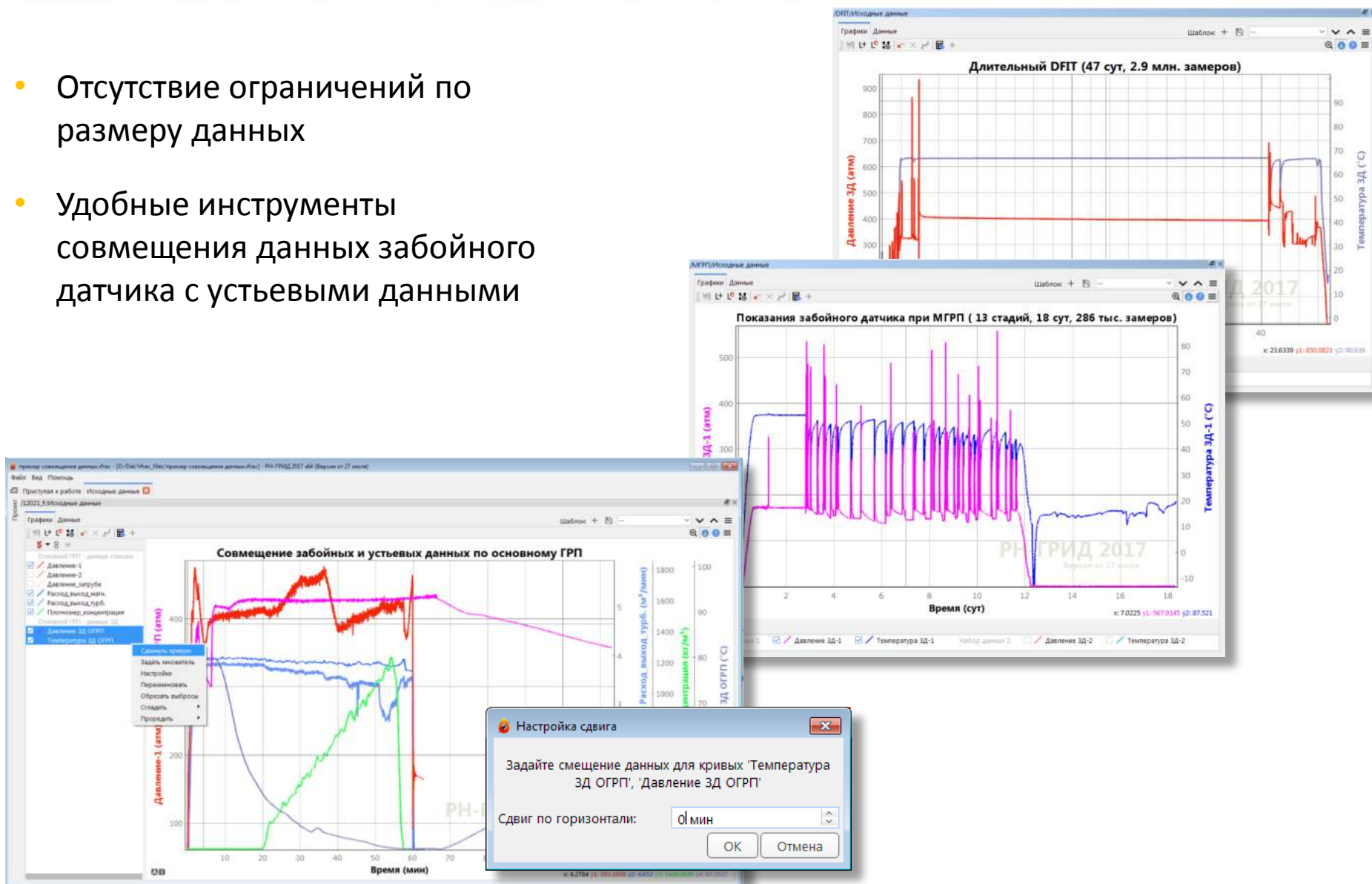
1 # выкидываемое значение
2 ignore_val = 0
3
4 ignore_mask = p <= ignore_val
5
6
7 # эта функция вычисляет значения в тех точках, где нет давления
8 def without_ignore(val):
9     # сначала выкинем точки без значений
10    times = t[~ignore_mask]
11    new_val = val[~ignore_mask]
12    # посчитаем точки без значений
13    ignore_values = interp(t[ignore_mask], times, new_val)
14    return ignore_values
15
16 # заменим точки на кривой давления на переинтерполированные
17 col = p
18 col[ignore_mask] = without_ignore(p)
19
20 # заменим те же точки на кривой расхода на переинтерполированные
21 col1 = q
22 col1[ignore_mask] = without_ignore(q)
  
```

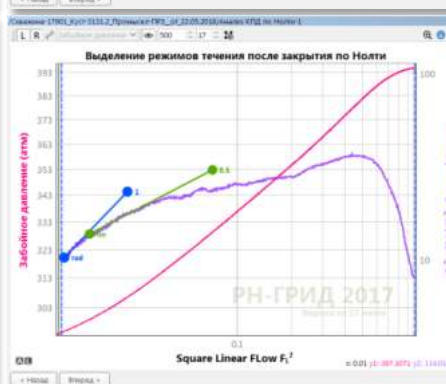
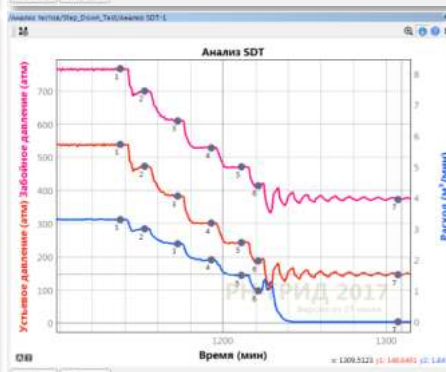
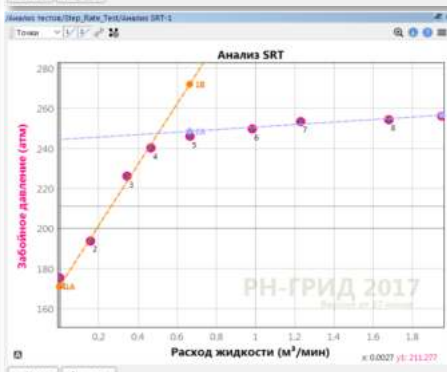
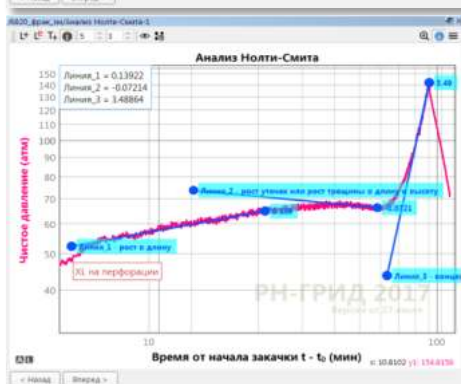
OK Отмена

Импорт и визуализация исходных данных



- Отсутствие ограничений по размеру данных
- Удобные инструменты совмещения данных забойного датчика с устьевыми данными





Сводный отчет по группе

Анализ: [Выбор анализа]

Анализ	Тип модели	Средний расход (м³/мин)	Объемный расход (м³/мин)	Устьевое давление (атм)	Забойное давление (атм)	Потери давления (атм)	Чистое давление (атм)	Длина скважины (м)
Анализ НКТ-1	Горизонт	3.19	14.95	411.89	370.20	41.69	41.69	41.69
Анализ НКТ-2	Горизонт	2.44	11.78	62.31	392.43	39.96	240.23	42.22
Анализ НКТ-3	Горизонт	2.45	24.02	89.62	521.82	39.96	240.26	42.22

Анализ SDT

Анализ	SDT	Коэффициент потерь на перфорации (атм/м³/мин)	Коэффициент потерь на трении (атм/м³/мин)	Среднее давление (атм)	Среднее давление (атм)	Коэффициент потерь на трении (атм/м³/мин)
Анализ SDT-1	Горизонт	0.7528	25.19	13.89	1.74	2.00
Анализ SDT-2	Горизонт	369.57	25.19	13.89	1.74	2.00

Анализ КГД по Хорнеру

Анализ	Потери давления (атм)	Модуль (м³/мин)
Анализ КГД по Хорнеру-1	187.48	165.274
Анализ КГД по Хорнеру-2	270.50	385.238

Анализ КГД по Нолти

Анализ Мейерхофера

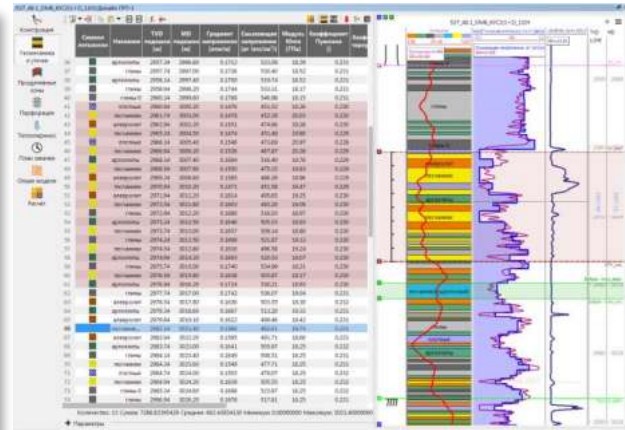
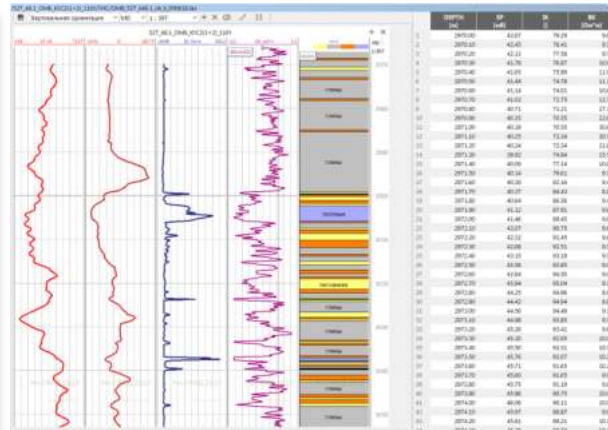
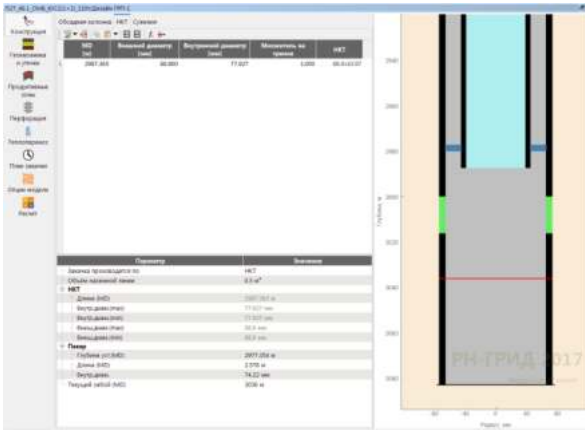
Комментарии и рекомендации



Конструкция скважины

Работа с ГИС

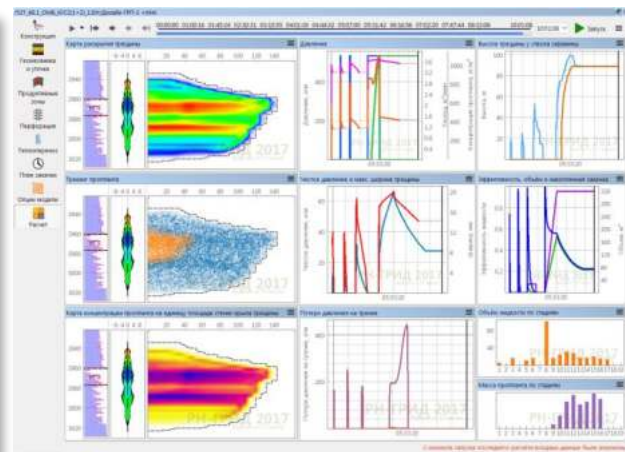
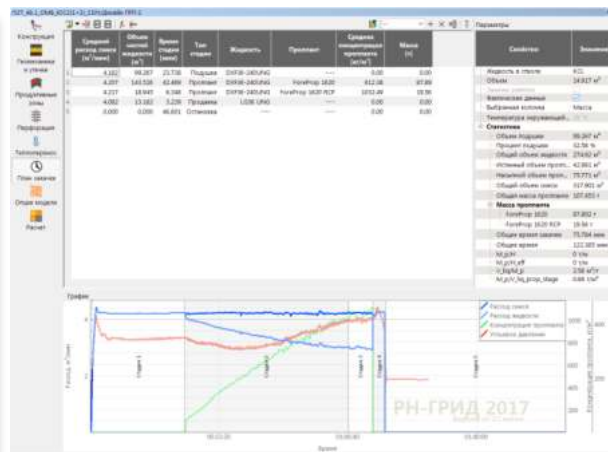
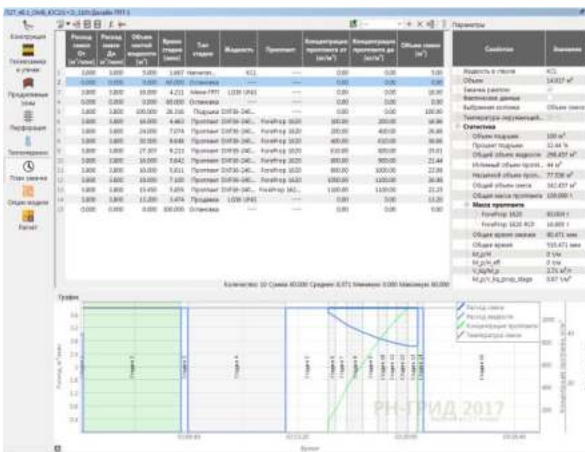
Геомеханическая модель



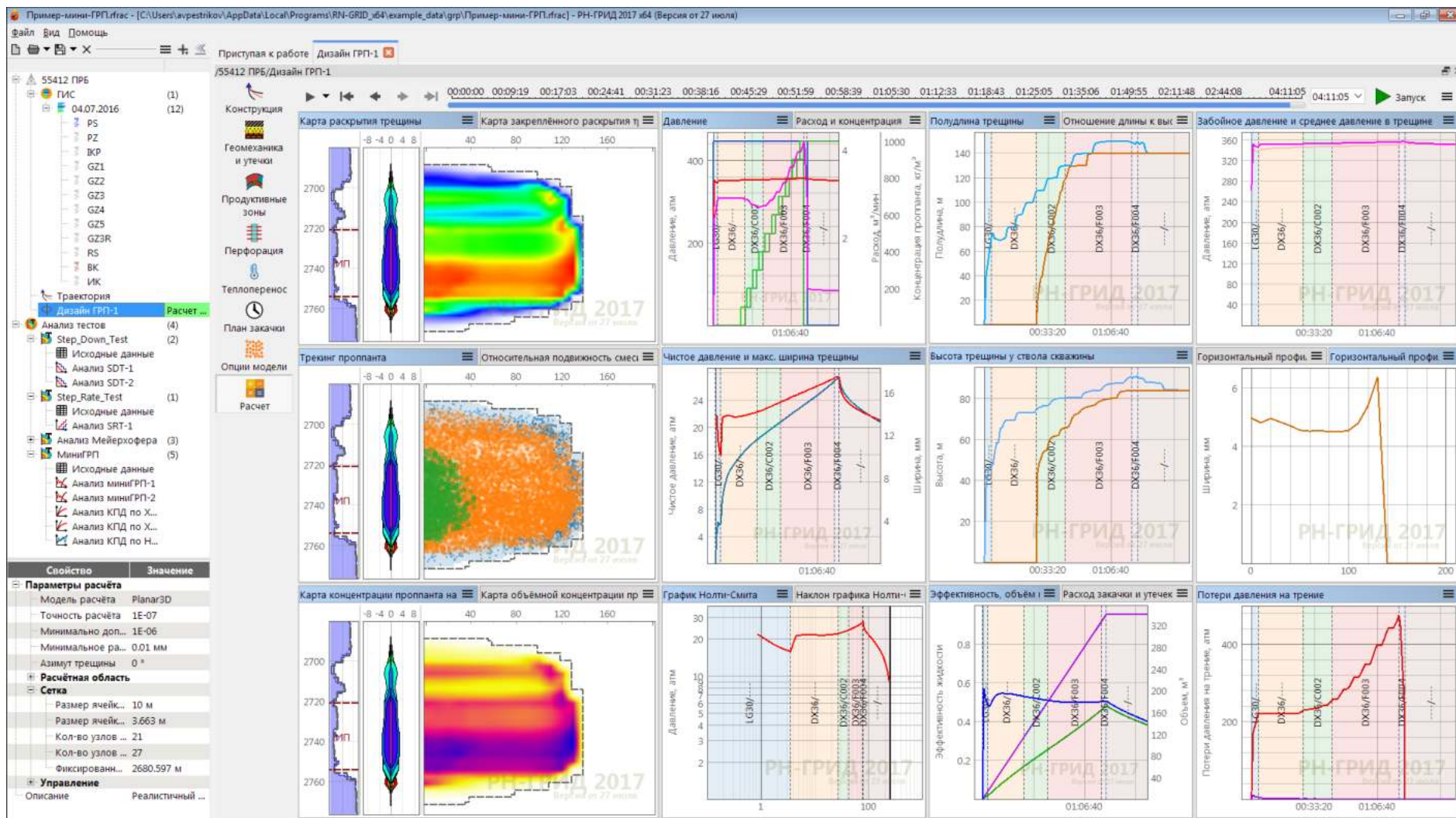
Плановая зачка

Фактическая зачка

Расчет дизайна



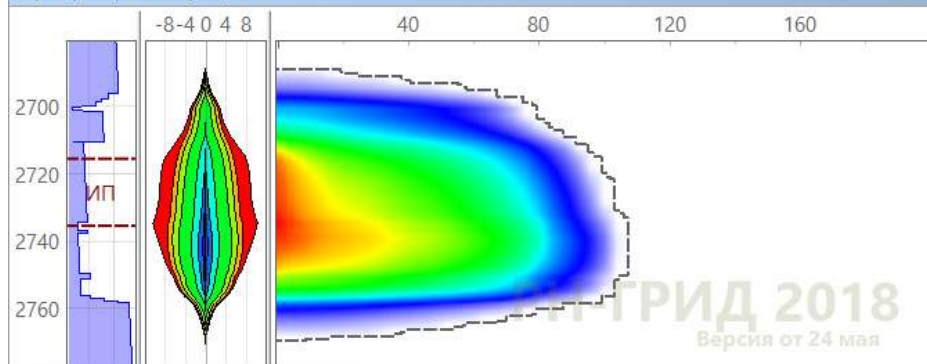
Моделирование ГРП



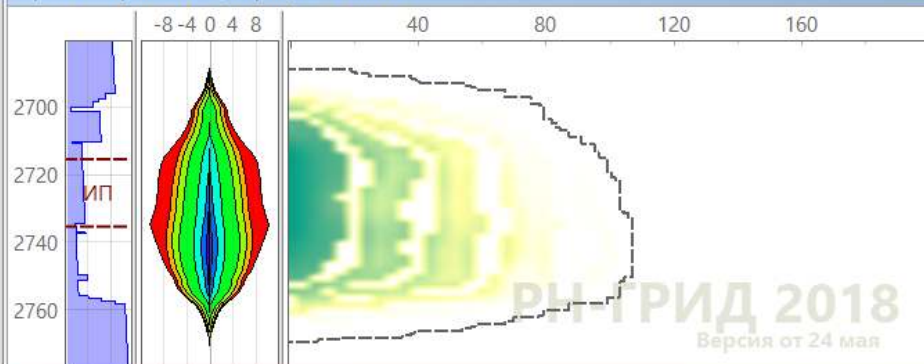
Моделирование кислотного и кислотно-пропантного ГРП



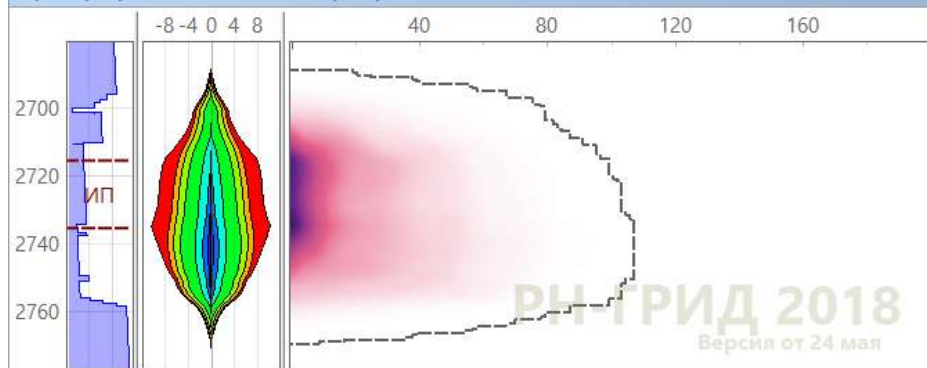
Карта раскрытия трещины



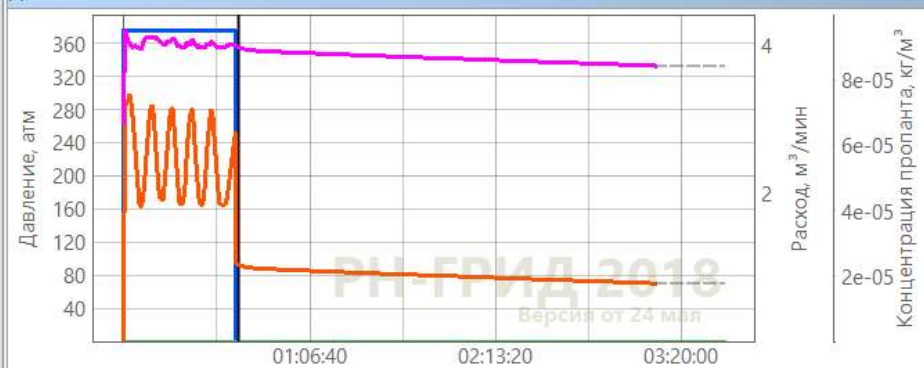
Карта молярной концентрации кислоты



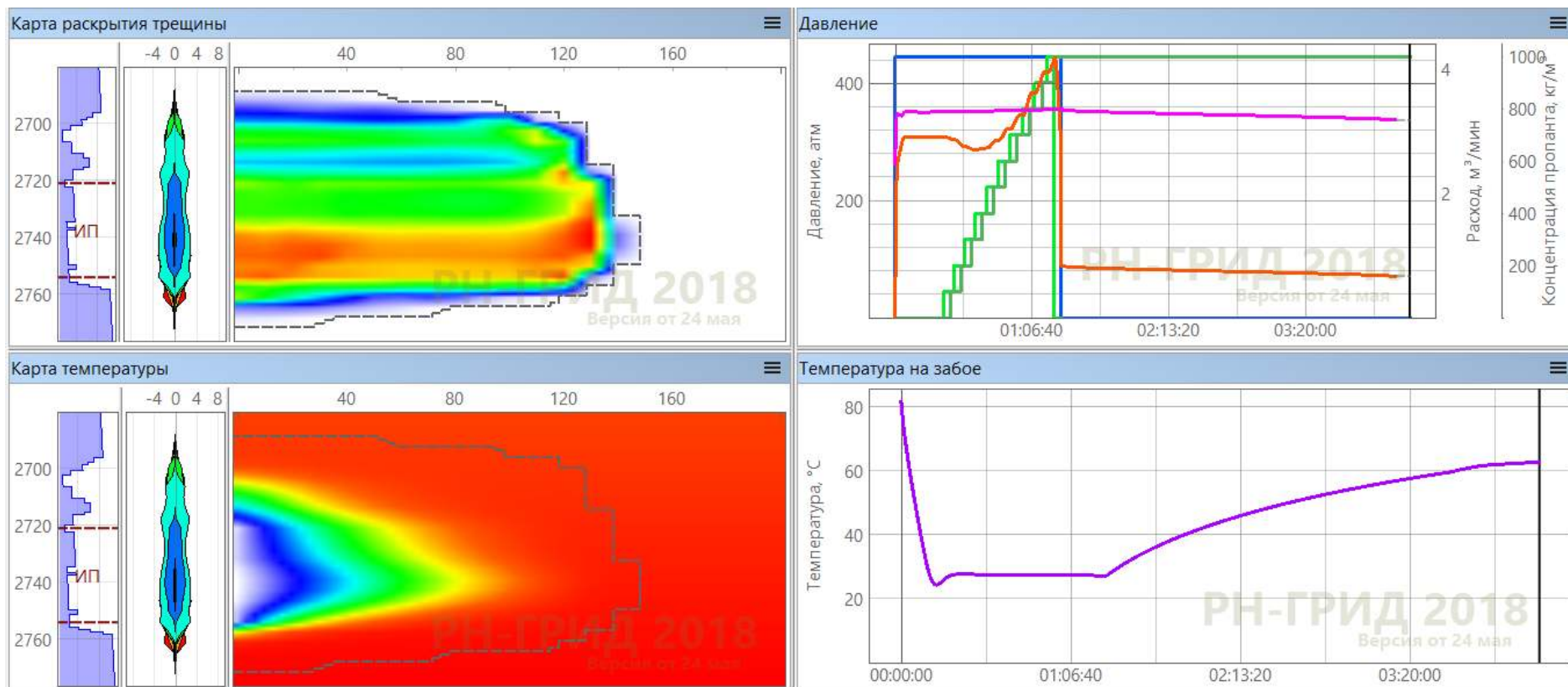
Карта протравленного кислотой раскрытия



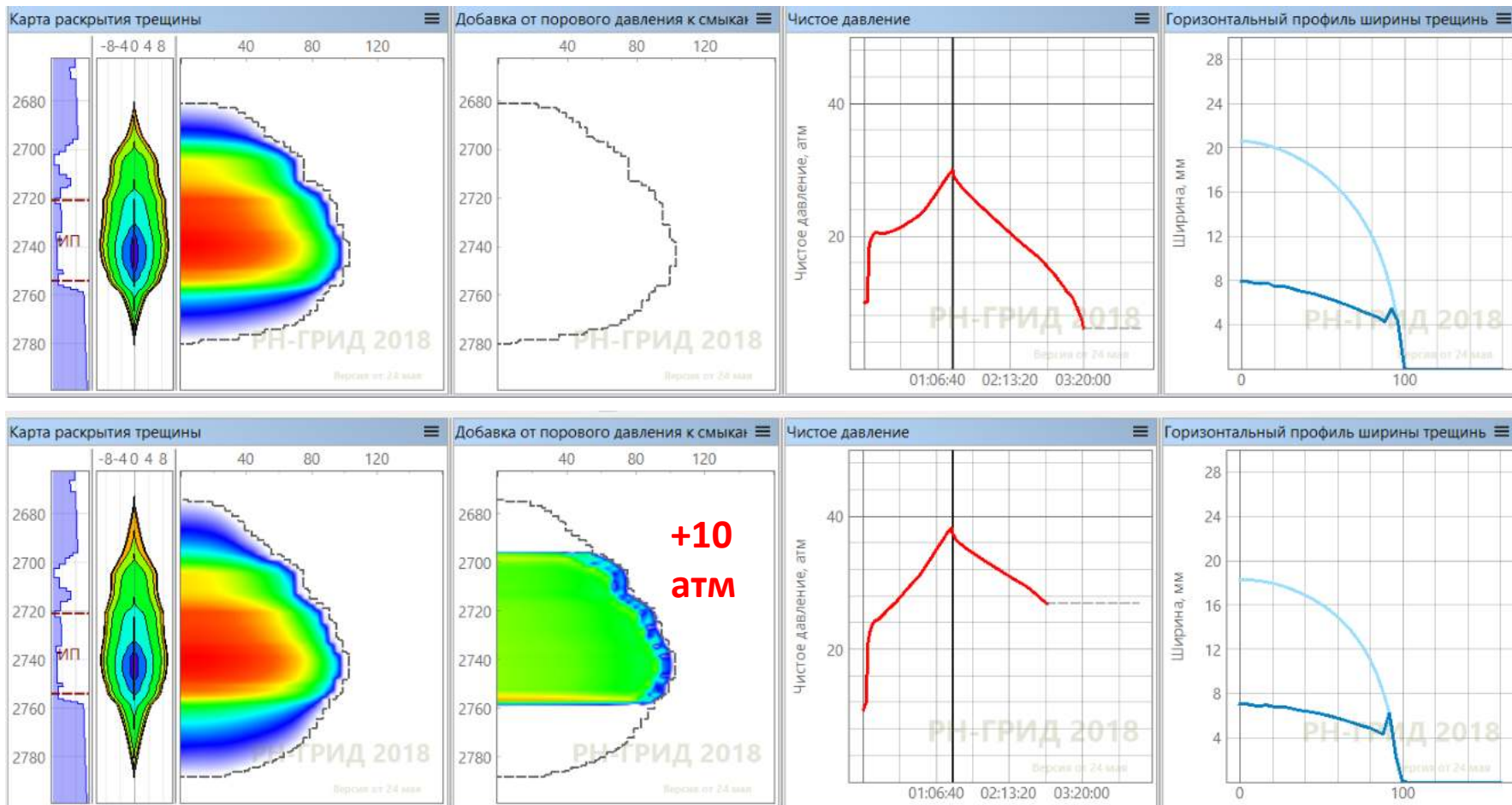
Давление



Учет процессов теплопроводности и конвекции при ГРП



Учет явления изменения напряжений в пласте за счет пороупругости при утечке жидкости ГРП в пласт



Инструменты многовариантного моделирования, анализа и оптимизации дизайна ГРП



Варьируемые параметры:

- Множители на все таблицы исходных данных дизайна
- Контраст напряжений
- Коэффициенты утечек
- Размеры подушки или любой другой стадии плана закачки
- Концентрация проппанта и скорость набора
- Коэффициенты реологии и параметры проппантов
- **список легко пополняется**

Контролируемые оценки или целевые функции:

- Расхождение фактических и расчетных значений давления
- Целевые показатели трещины (высота, длина, ширина и т.д.)
- Любые значения, попадающие в отчет
- **список легко пополняется**

Варьируемый дизайн ГРП

Таблица рассчитанных вариантов:

- При добавлении новых строк автоматически создаются копии варьируемого дизайна
- В копии вносятся заданные изменения
- Измененные дизайны рассчитываются
- Для рассчитанных дизайнов вычисляются заданные оценки

Пример оптимизации.rfrac - [C:\Users\avestnikov\AppData\Local\Programs\RN-GRID_stable_x64\example_data\grp\Пример оптимизации.rfrac] - РН-GRID 2020 x64 (Версия от 02 марта)

План оптимизации позволяет автоматически генерировать наборы параметров

- для перебора вариантов с заданным шагом
- для улучшения существующего дизайна по заданной целевой функции
- для поиска параметров оптимального дизайна

Номер модели	Состояние	MProp_multiplier	PROP_WEIGHT	PROPPEDLENGTH	BOTTOM_BORDER	PROPPEDHEIGHT	ROPPI
1	Готово	0.5	49.673	109.974	2768	76.564	2.429
2	Готово	0.6	59.673	119.954	2768	78.108	2.657
3	Готово	0.7	69.673	129.534	2768	80.108	2.827
4	Готово	0.8	79.673	129.982	2770	81.873	3.017
5	Готово	0.9	89.673	139.981	2772	83.789	3.126
6	Готово	1	99.673	139.985	2772	83.975	3.339
7	Готово	1.1	109.673	149.984	2772	84.338	3.517
8	Готово	1.2	119.673	158.923	2772	84.789	3.673
9	Готово	1.3	129.673	159.985	2772	85.108	3.817
10	Готово	1.4	139.673	159.987	2772	85.338	3.957
11	Готово	1.5	149.673	169.985	2772	85.564	4.097
12	Готово	1.6	159.673	169.987	2772	85.789	4.237
13	Готово	1.7	169.673	179.985	2772	86.015	4.377
14	Готово	1.8	179.673	179.988	2772	86.241	4.517
15	Готово	1.9	189.673	189.466	2772	86.467	4.657
16	Готово	2	199.672	189.986	2772	86.693	4.797

Настройки группы

Параметры Алгоритм

Тип: Градиентный

Целевая функция: Генетический

Опции алгоритма: Градиентный

Брать из начального в: Переборный

Брать из наилучшего п: Случайный

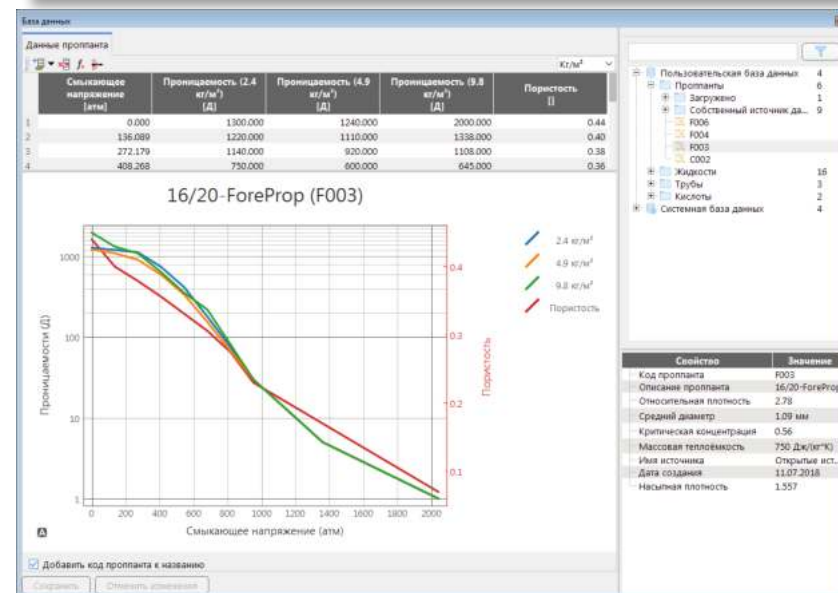
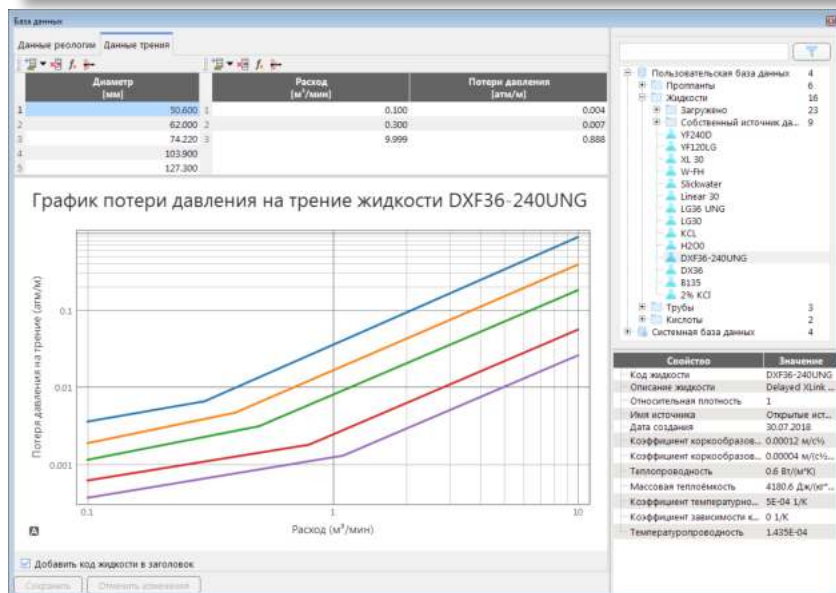
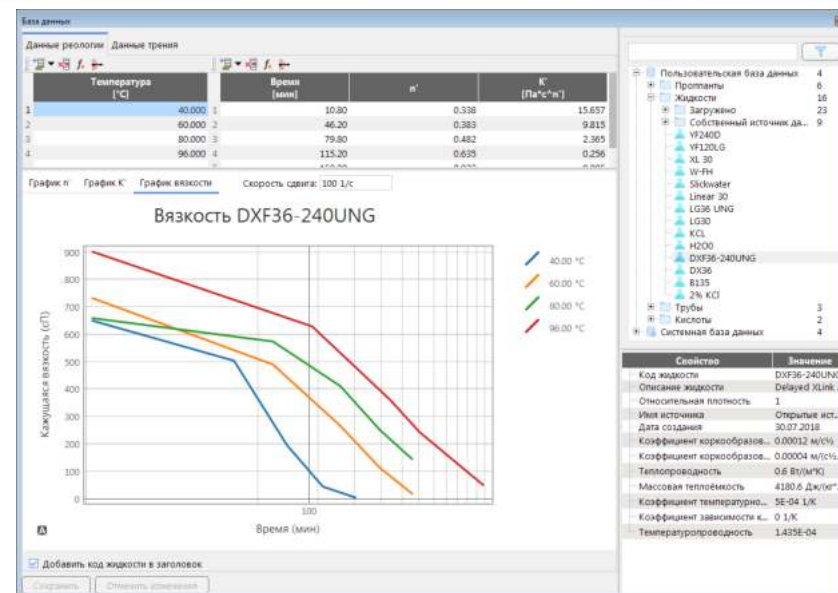
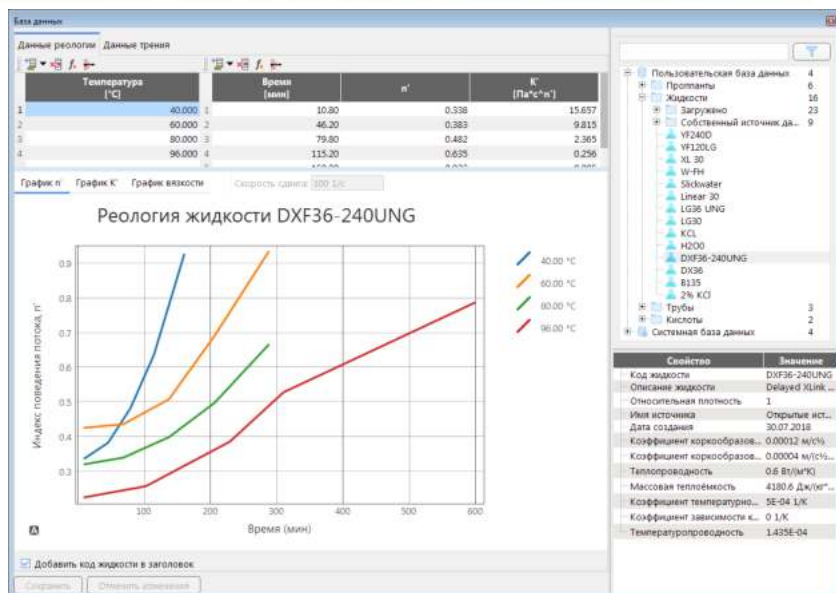
Количество одновременно: Квадратичная поверхность

Анализ чувствительности: Метод Нелдера-Мида

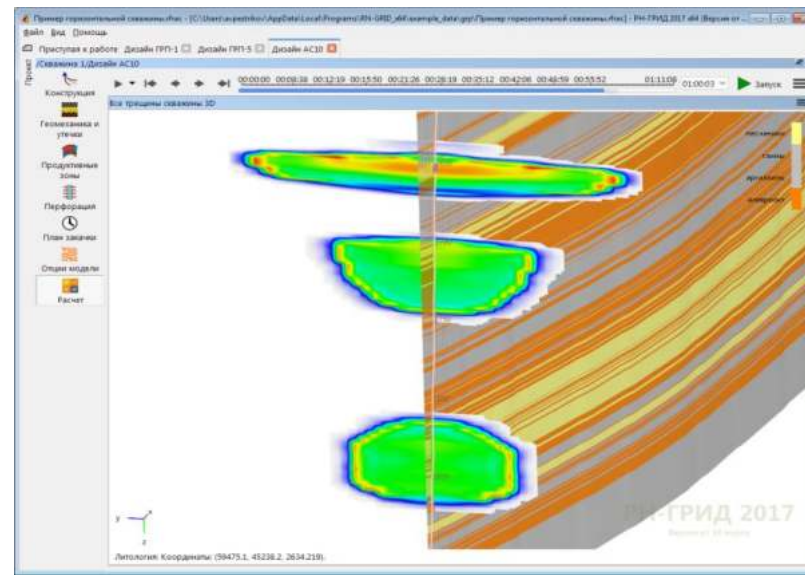
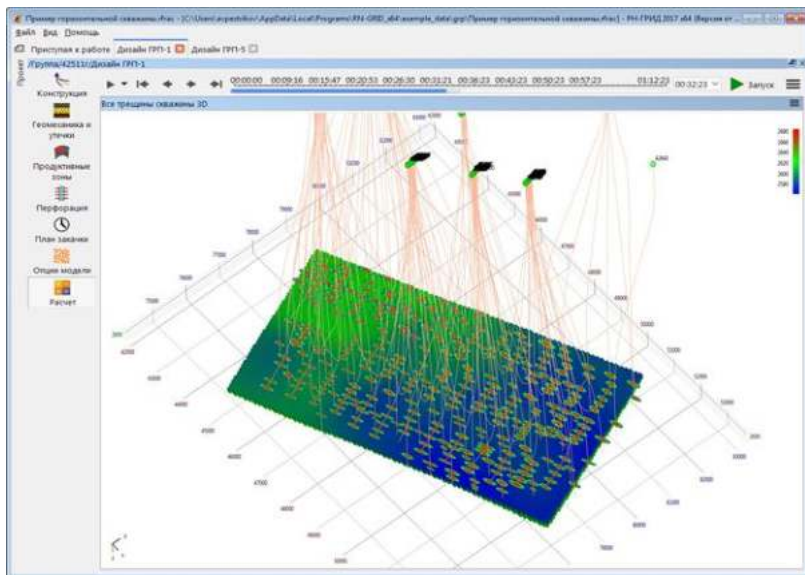
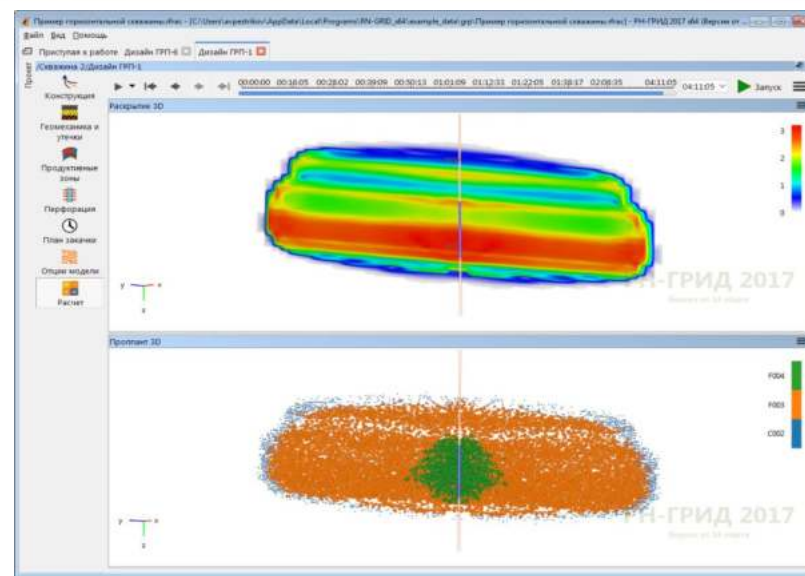
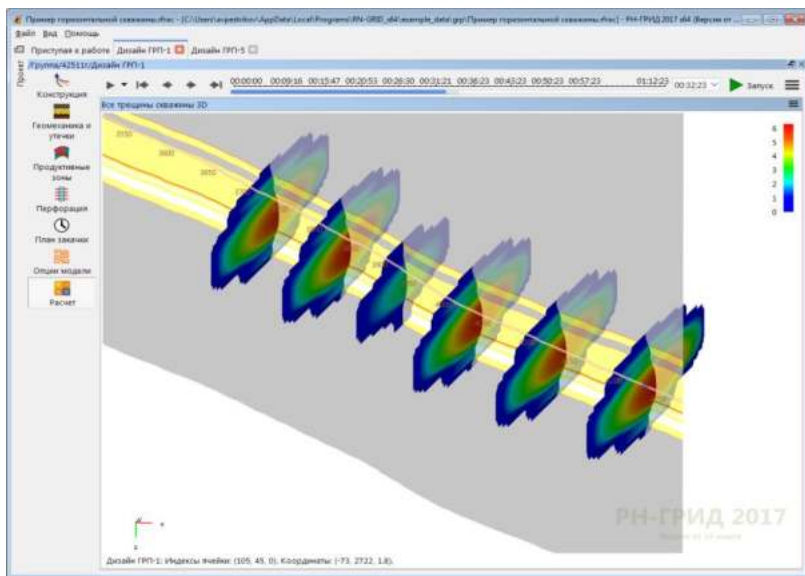
Дифференциальная эволюция

OK Отмена

База данных свойств жидкостей и проппантов



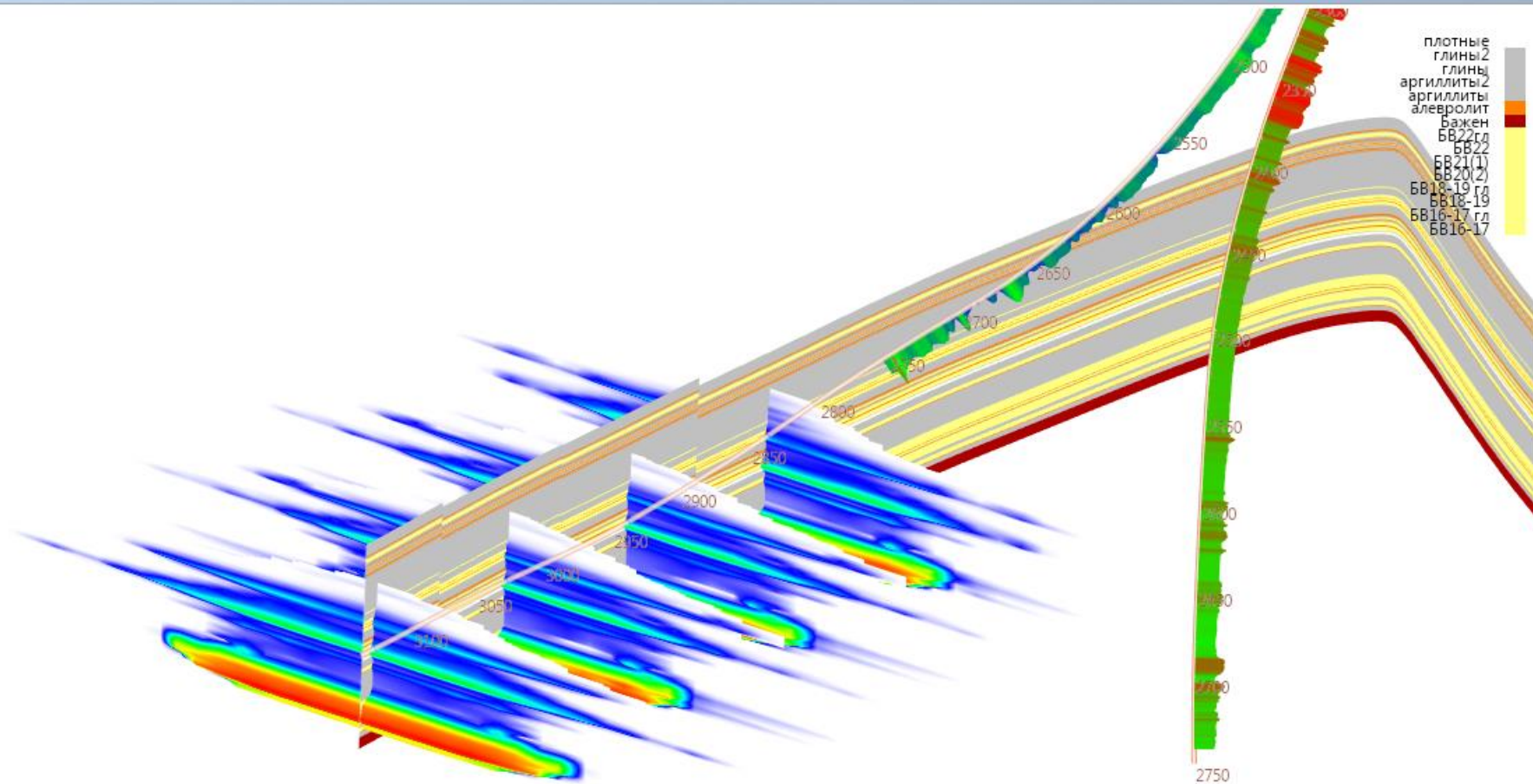
3D визуализация результатов моделирования



3D визуализация результатов моделирования



Все трещины скважины 3D



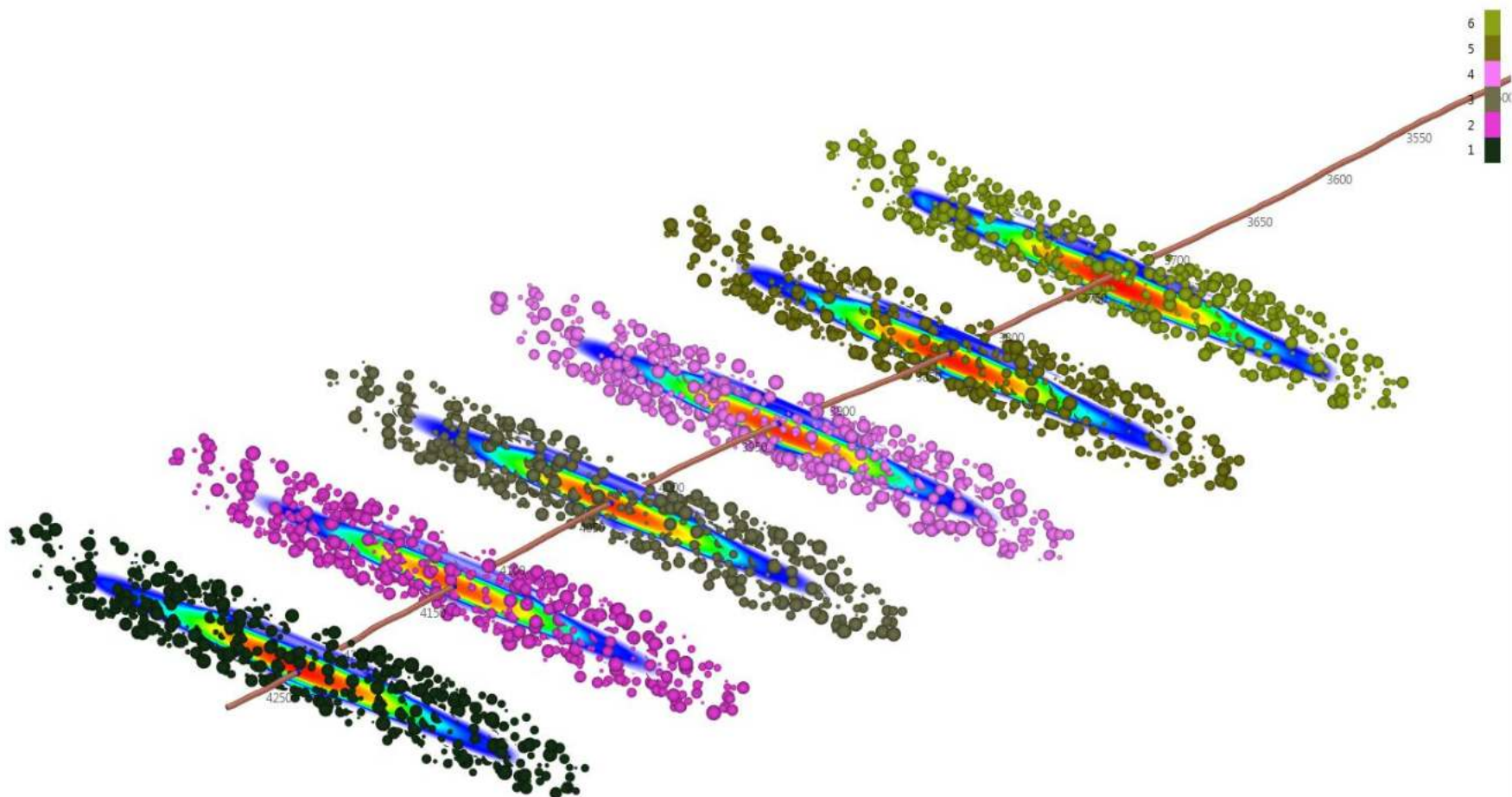
РН-ГРИД 2017

Версия от 16 мая

3D визуализация результатов микросейсмического мониторинга ГРП

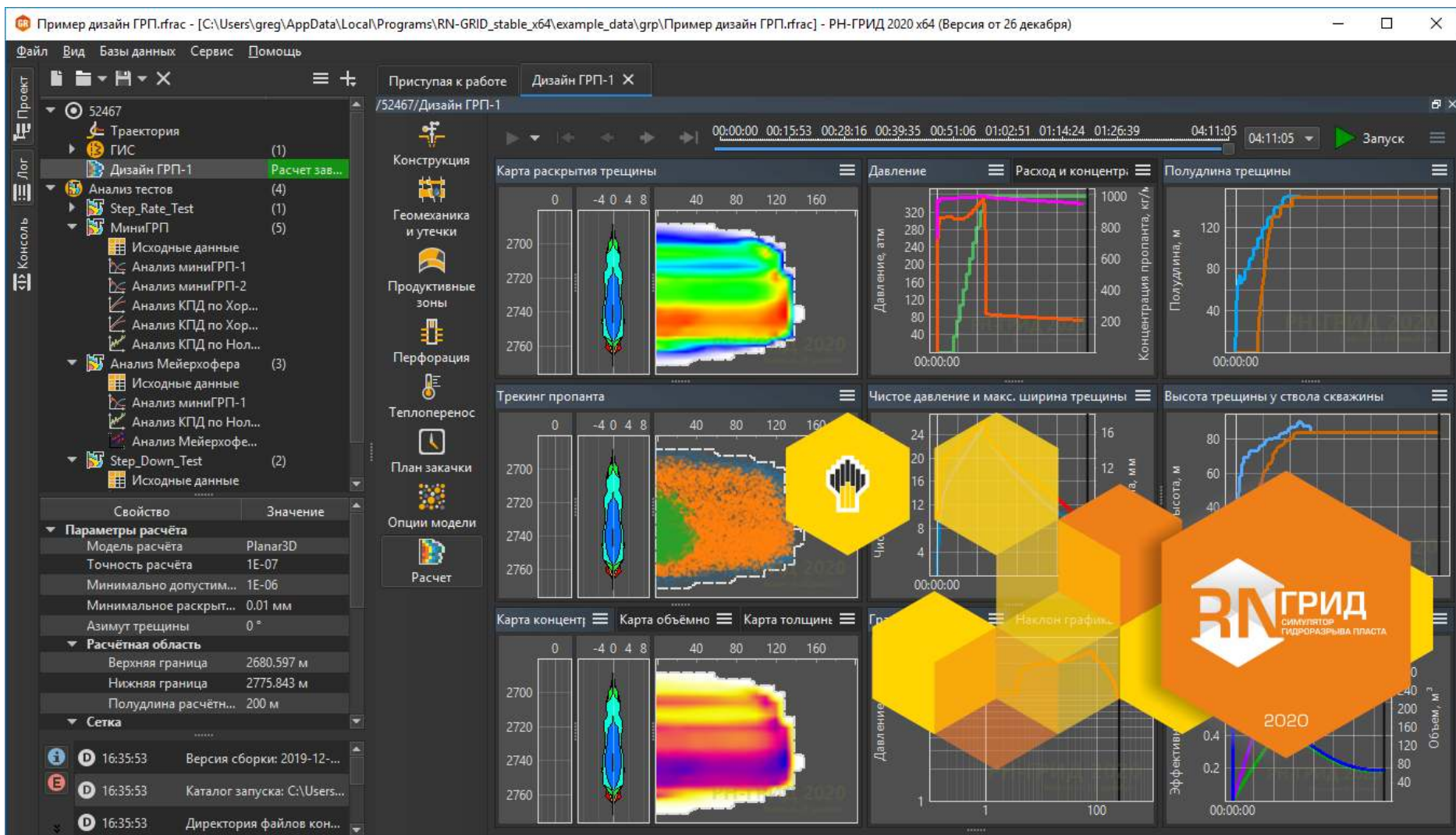


Все трещины скважины 3D



РН-ГРИД 2020
Версия от 02 марта

Опция темной темы оформления интерфейса для комфортной работы



«РН-ГРИД» является корпоративным ИТ-решением для специалистов по ГРП в «НК «Роснефть»



- Корпоративный симулятор ГРП обеспечивает специалистов «НК «Роснефть» доступным инженерным инструментом как для проектирования, так и контроля ГРП.
- Применение «РН-ГРИД» позволяет Обществам Группы «НК «Роснефть» обеспечивать постоянный контроль качества и высокий уровень требований к услугам по ГРП.
- «РН-ГРИД» используют в работе более 250 специалистов «НК «Роснефть» по проектированию и супервайзингу ГРП.
- 100% инженеров внутреннего сервиса по ГРП прошли обучение по навыкам работы в «РН-ГРИД».
- Применяется в учебном процессе профильных ВУЗов.



УГНТУ



УГАТУ



КФУ



СамГТУ



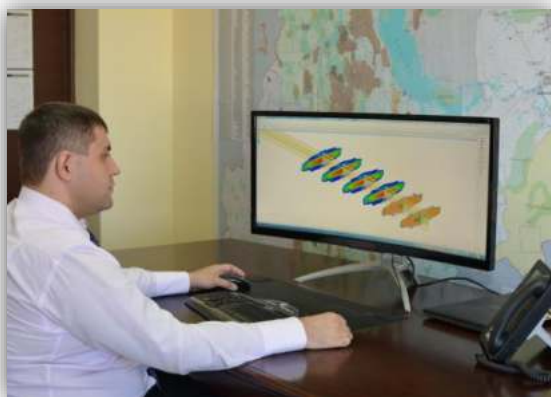
БашГУ



АГНИ



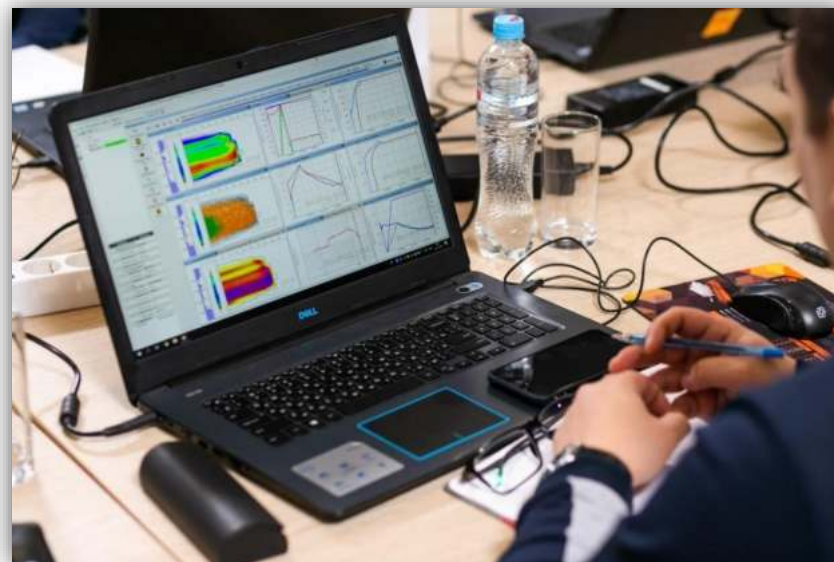
Применение «РН-ГРИД» специалистами ООО «РН-ГРП»



Обучающие семинары по навыкам работы в «РН-ГРИД»



За период 2017-2020 гг. более 230 специалистов из 49 нефтегазовых и сервисных компаний, ВУЗов-партнеров прошли обучение по навыкам работы в «РН-ГРИД».



ПРОГРАММА ПРОВЕДЕНИЯ СЕМИНАРА

День 1

- 09.00-13.15
- Пользовательский интерфейс симулятора ГРП «РН-ГРИД»: начало работы
 - Создание дизайна ГРП с нуля
 - Расчёт дизайна и анализ результатов

13.15-14.00 Обед

- 14.00-18.00
- База данных жидкостей и пропантов
 - Олпы, физические модели и дополнительные возможности
 - Самостоятельная работа: простые дизайны

День 2

- 09.00-13.15
- Импорт исходных данных ГРП
 - Пользовательский интерфейс симулятора ГРП «РН-ГРИД»: дополнение
 - Самостоятельная работа: загрузка, визуализация, контроль

13.15-14.00 Обед

- 14.00-18.00
- Анализ тестовых закачек перед основным ГРП
 - Самостоятельная работа: тестовые закачки
 - Полный цикл подготовки и сопровождения ГРП на реальной скважине: дизайн, выгрузка отчетности

День 3

- 09.00-13.15
- Полный цикл подготовки и сопровождения ГРП на реальной скважине: матчинг тестовых закачек, редизайн, матчинг основной закачки, выгрузка отчетности

13.15-14.00 Обед

- 14.00-18.00
- Моделирование ГРП на разных пластах: и в горизонтальных скважинах
 - Самостоятельная работа: фактические дизайны
 - Оптимизация дизайнов ГРП

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

0. Ликбез по технологиям и методам

- Технология проведения ГРП
- Контролируемые и управляемые параметры
- Моделирование ГРП: адаптация
- Типовой рабочий процесс проектирования

1. Моделирование ГРП: основы

- Краткая справка по ЦИП №1 симулятора ГРП
- Основные физические процессы
- Аналитические модели РКЗ
- Псевдо трехмерные модели
- Плоскостная трехмерная модель
- Трехмерная модель F3D
- Преимущества и недостатки
- Концепция симулятора ГРП
- Иерархия подмоделей симулятора

2. Пользовательский интерфейс работы

- Установка, переустановка и обновление
- Функциональные блоки основы
- Проектная организация работы
- Создание нового проекта, открытие

3. Создание дизайна ГРП с нуля

- Создание пустого дизайна
- Основные этапы работы с дизайном
- Задание простой траектории
- Задание конструкции скважины
- Задание таблицы геометрии
- Ручное редактирование значений и пропантов
- Заполнение свойств по шаблонной таблице для всех литологий
- Добавление зон перфорации
- Редактирование границ расчетной области
- Создание плана тестовой закачки, выбор жидкости
- Запуск расчета дизайна ГРП
- Задание концентрации пропанта, ступенчато или rampом
- Блок статистики по плану закачки

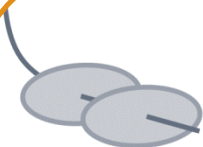
13. Полный цикл подготовки и сопровождения

- Дизайн:
 - Загрузка и отображение
 - Загрузка ГИС, калькуляция
 - Идентификация литологии
 - Задание конструкции скважины
 - Задание таблицы геометрии
 - Задание плана закачки
 - Расчет и выгрузка отчетности
- Матчинг тестовой закачки:
 - Подгрузка фактических данных
 - Первичный анализ исходных данных
 - Анализ модели ГРП для тестовой закачки
 - Подготовка дизайна для тестовой закачки
 - Загрузка фактического дизайна на скважину
 - Калибровка модели на тестовой закачке: давление, дебит
 - Коррекция литологических параметров
 - Коррекция утечек для тестовой закачки
- Подготовка редизайна:
 - Использование модели
 - Импорт исходного плана закачки
 - Матчинг основной закачки
 - Подгрузка фактических данных
 - Первичный анализ исходных данных
 - Подготовка дизайна для основной закачки
 - Загрузка фактического дизайна на скважину
 - Калибровка модели на основной закачке: давление, дебит
 - Коррекция коэффициентов
 - Расчет и выгрузка отчетности
- Особенности создания и сопровождения:
 - Ручное редактирование
 - Расчет напряжений по трещинам
 - Усреднение утечек по картотажу на скважину
 - Калькулятор ГИС

Результаты внедрения «РН-ГРИД» в ПАО «НК «Роснефть»



>300 пользователей*



>21 000 операций ГРП*



100% импортозамещение

* - по состоянию на 01.02.2021

Свидетельства о государственной регистрации «РН-ГРИД» как программы для ЭВМ



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2017611238
РН-ГРИД

Правообладатель: *Публичное акционерное общество «Нефтяная компания «Роснефть» (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № **2016663142**
Дата поступления **01 декабря 2016 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **01 февраля 2017 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2017663051
Симулятор гидроразрыва пласта РН-ГРИД 2017

Правообладатель: *Публичное акционерное общество «Нефтяная компания «Роснефть» (ПАО «НК «Роснефть») (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № **2017619976**
Дата поступления **04 октября 2017 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **23 ноября 2017 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Г.П. Ивлиев



Учебные ролики РН-ГРД

https://rn.digital/accounts/rn-grid/video_lessons/

РЕШЕНИЯ ПЛАНЫ СОБЫТИЯ КОНТАКТЫ RU АЛЕКСЕЙ ПЕСТРИКОВ

7) Подготовка и сопровождение операции ГРП

The screenshot displays the Rn-Grid 2017 software interface. On the left, there is a sidebar with a tree view of the project structure, including folders for 'ГРП' (Grid Protection) and 'Исходные данные' (Initial Data). The main window is divided into several panels. The top panel shows a 'Параметры расчета' (Calculation Parameters) table with fields like 'Модель расчета' (Calculation Model), 'Точность расчета' (Calculation Accuracy), and 'Минимальное допустимое значение' (Minimum acceptable value). Below this, there are several charts and graphs, including 'Карта расширения трещины' (Crack expansion map), 'Расход и концентрация' (Flow and concentration), 'Полное давление' (Total pressure), 'Относительная влажность' (Relative humidity), 'Горизонтальный профиль' (Horizontal profile), and 'Вертикальный профиль' (Vertical profile). The bottom panel shows a 'Статус' (Status) section with a list of calculation results and a 'Параметры' (Parameters) table.

<https://rn.digital>

Отправьте нам сообщение jivosite

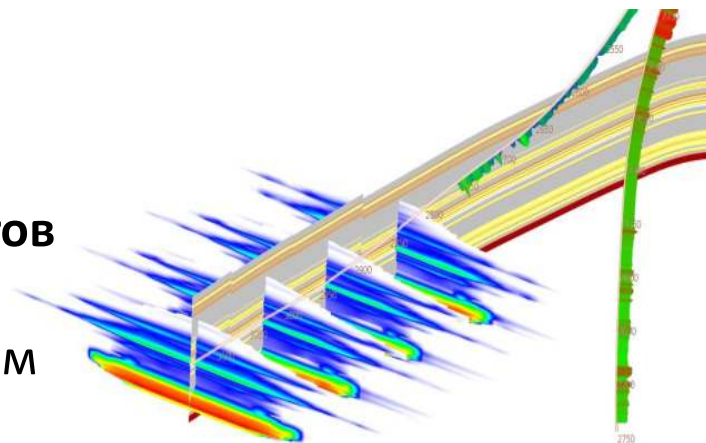
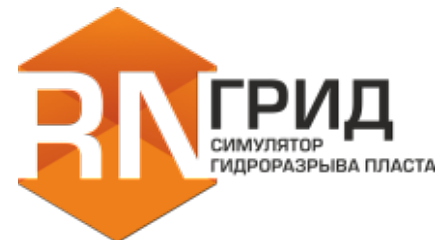


Больше подробностей:
на <https://rn.digital>





- Первый **отечественный симулятор ГРП** промышленного класса - «РН-ГРИД»;
- Симулятор применяется специалистами по ГРП во всех **добывающих обществах и научно-исследовательских институтах «НК «Роснефть»**;
- Внутренний сервис по ГРП «НК «Роснефть» **перешел на 100%** применение «РН-ГРИД»;
- Выполнено более **21 000 операций ГРП** с полным циклом проектирования ГРП в «РН-ГРИД»;
- «РН-ГРИД» коммерциализован и **доступен для приобретения**;
- За период 2017-2020 гг. **более 230 специалистов** из 49 нефтегазовых и сервисных компаний, ВУЗов-партнеров прошли обучение по навыкам работы в «РН-ГРИД».





Дополнительная информация

**Валидация корпоративного
симулятора гидроразрыва пласта
«РН-ГРИД»**



Цель:

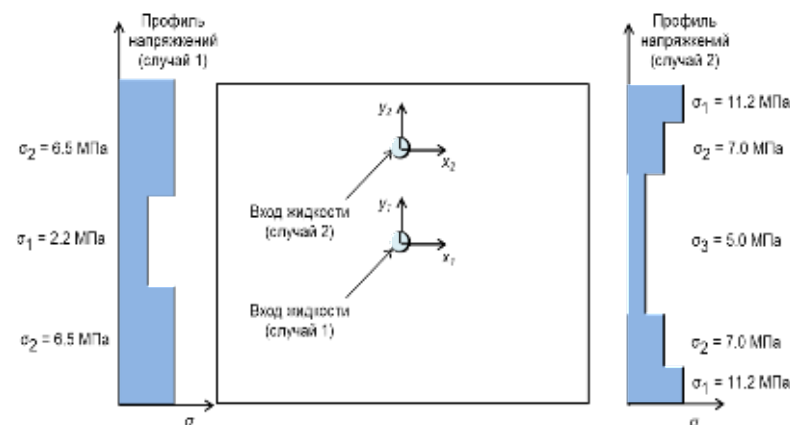
сравнение результатов моделирования трещины ГРП в корпоративном симуляторе ГРП «РН-ГРИД» и экспериментальных данных, полученных в работах Bungier A.P. и др. по заказу SLB при разработке SLB своего симулятора класса Planar3D.

Результаты:

1. На основе экспериментальных данных **успешно проведена валидация** реализованной в симуляторе «РН-ГРИД» модели развития трещины ГРП класса Planar3D. Установлено, что важнейшие с точки зрения практического применения ГРП случаи развития трещины корректно описываются моделью ГРП класса Planar3D.
2. Результаты валидации свидетельствуют о том, что **симулятор «РН-ГРИД» хорошо описывает фактическое развитие трещины ГРП** и обладает **высокой прогностической достоверностью**.
3. Соответствие результатов моделирования в симуляторе «РН-ГРИД» результатам моделирования в стороннем симуляторе класса Planar3D является дополнительным подтверждением **успешной верификации применяемой в симуляторе «РН-ГРИД» модели развития трещины**.
4. **Применение симулятора с экспериментально проверенной моделью ГРП** позволяет **обеспечивать достоверное моделирование** данного сложного процесса, принимать **обоснованные инженерные решения** при проектировании ГРП и **повышать эффективность** его применения.

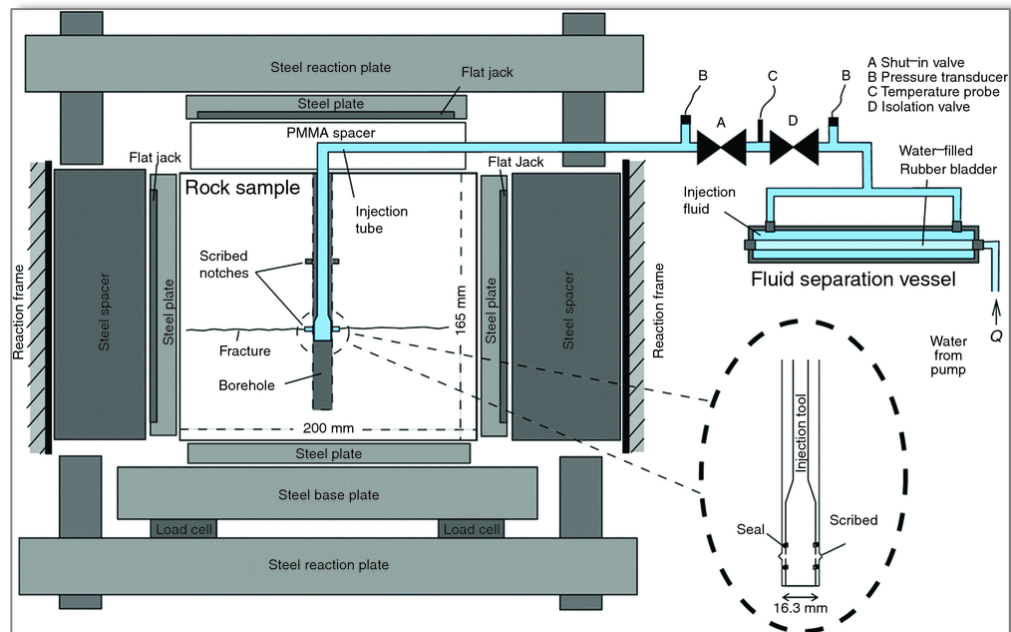
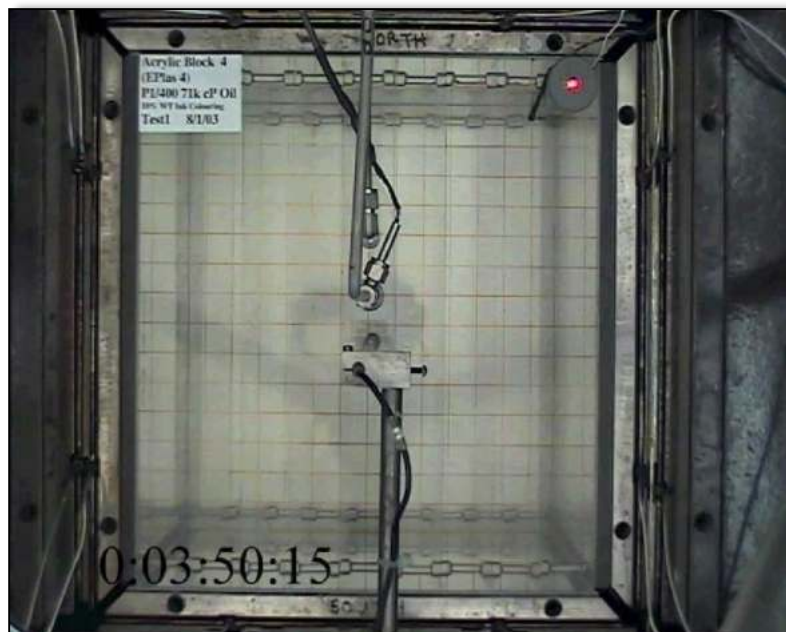


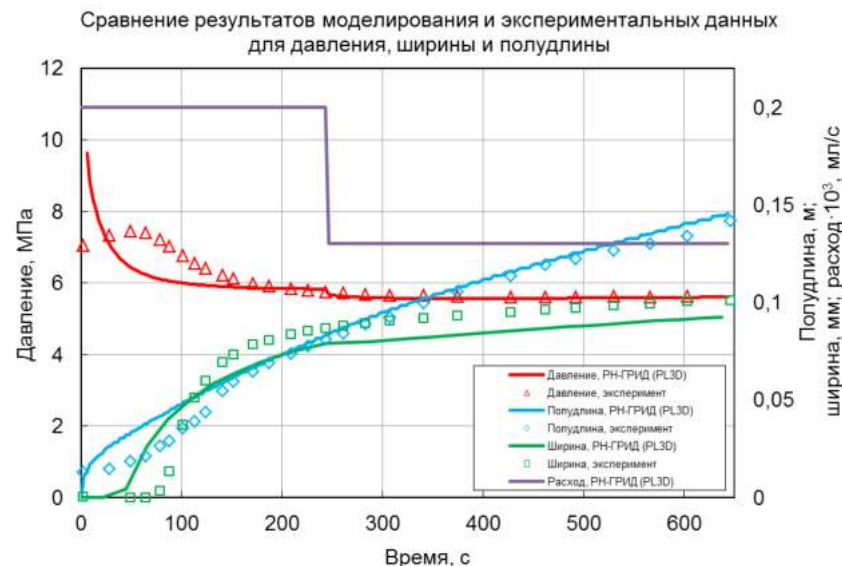
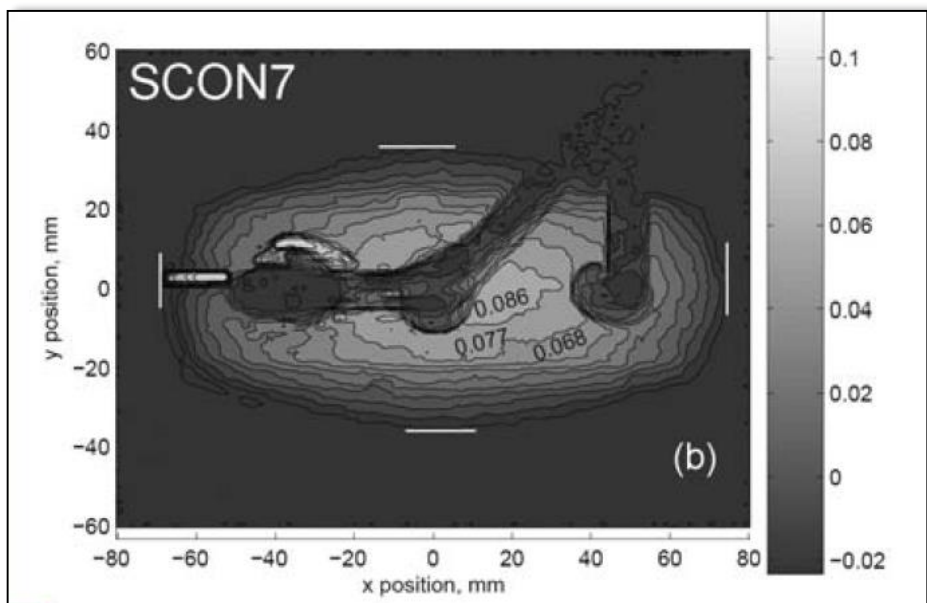
- Установка на основе **массивных блоков из полиметилметилакрилата** (ПММА, органическое стекло).
- Нижней грани верхнего блока придается такой профиль, что при сжатии с нижним блоком с плоской верхней гранью получается необходимый для каждого из экспериментов **«ступенчатый» профиль сжимающих напряжений** в плоскости соприкосновения блоков.
- Плоскость развития трещины представляет собой поверхность соприкосновения** двух блоков из ПММА, куда при помощи гидравлической системы закачивается модельная жидкость гидроразрыва.
- Оптическая прозрачность ПММА позволяет **контролировать процесс роста трещины** при помощи видеокамеры. Утечки жидкости из объема трещины и трещиностойкость среды в данных экспериментах отсутствуют.
- Для удобства проведения эксперимента плоскость развития трещины была расположена горизонтально.
- Рассмотрены два важных случая развития трещины гидроразрыва:
 - Случай 1 - простейшая трехслойная модель** — развитие трещины в слое с низким сжимающим напряжением с частичным проникновением в слои с более высокими напряжениями;
 - Случай 2 - пятислойная модель** — рост трещины из слоя с более высоким напряжением в нижележащую область меньших напряжений.



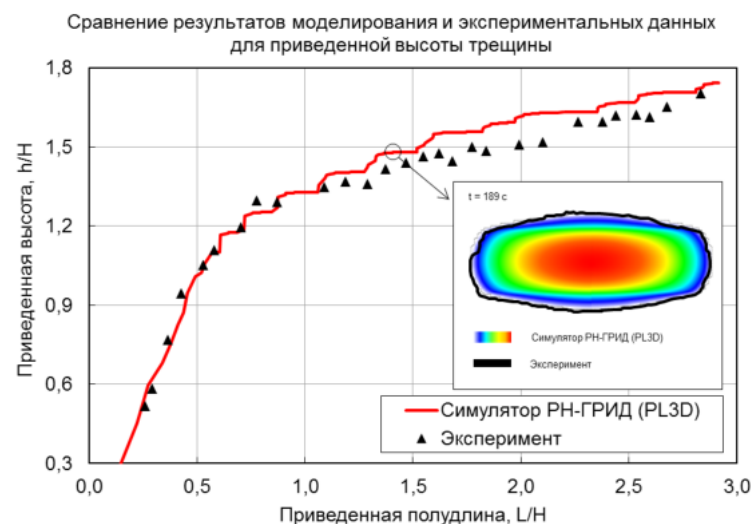


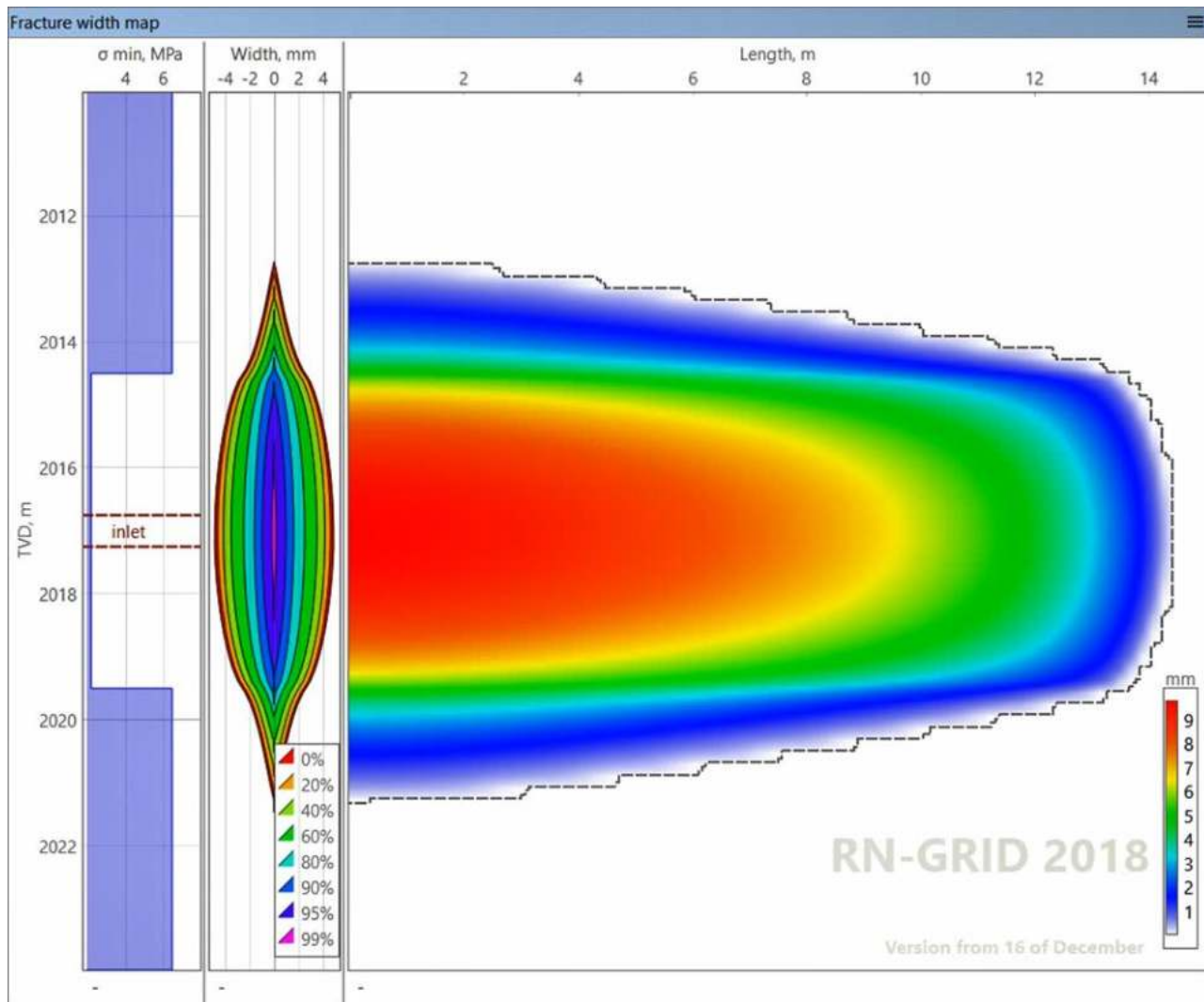
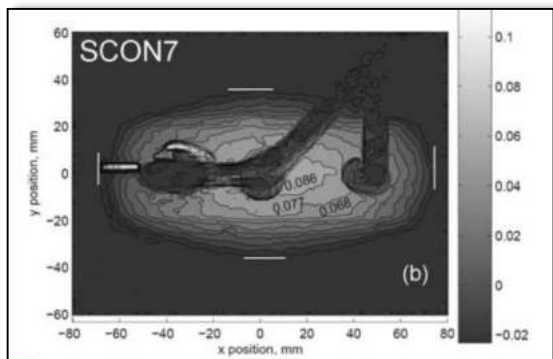
- Jeffrey R.G., Bunger A.P., *A detailed comparison of experimental and numerical data on hydraulic fracture height growth through stress contrasts*, SPE 106030-MS, 2009.
- Wu R., Bunger A.P., Jeffrey R.G, Siebrits E., *A comparison of numerical and experimental results of hydraulic fracture growth into a zone of lower confining stress*, ARMA-08-267, 2008.

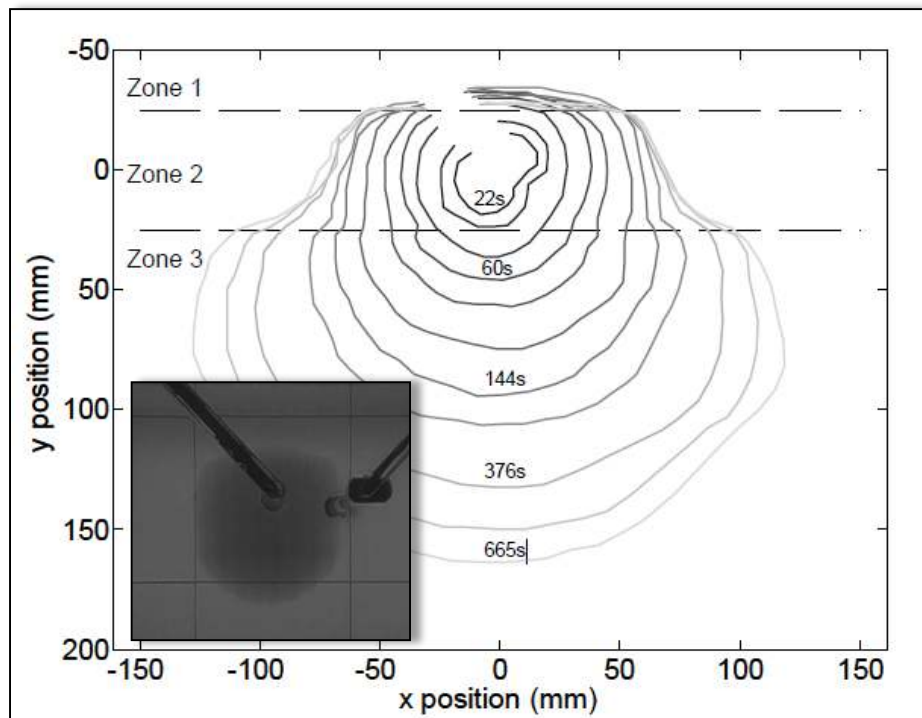




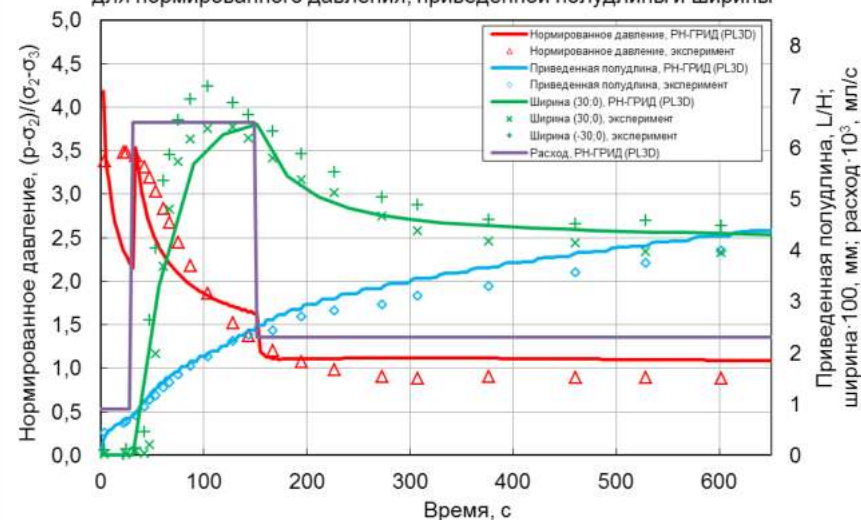
Величина		Расхождение между численным и экспериментальными рядами данных, %	
		По всем данным	По данным после установления режима закачки ($t > 243$ с)
$P(t)$	Давление в точке закачки	17	1
$L(t)$	Полудлина трещины	10	3
$h/H(L/H)$	Приведенная высота трещины	6	2



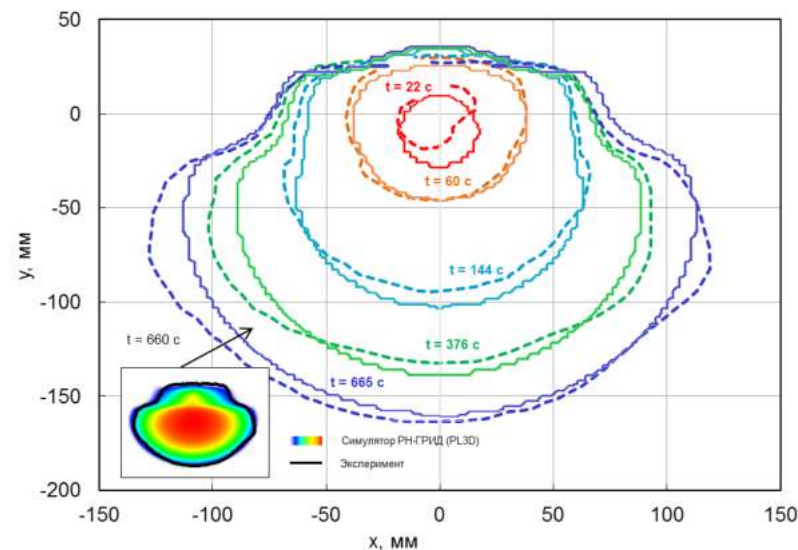




Сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных для нормированного давления, приведенной полудлины и ширины



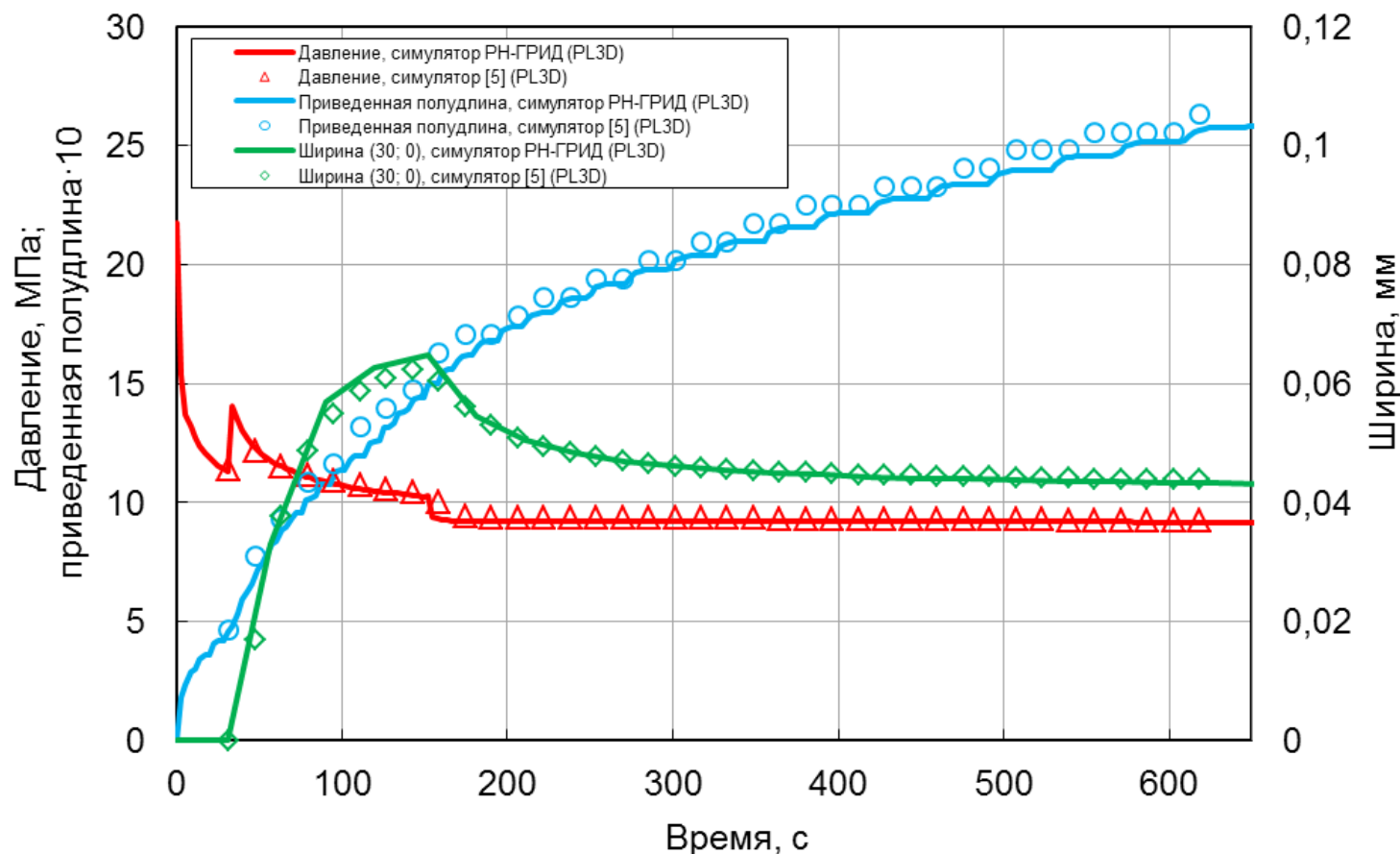
Величина		Расхождение между численным и экспериментальными рядами данных, %
$P(t)$	Давление в точке закачки	8
$L/H(t)$	Приведенная полудлина трещины	8



Сравнение со сторонним симулятором класса Planar3D

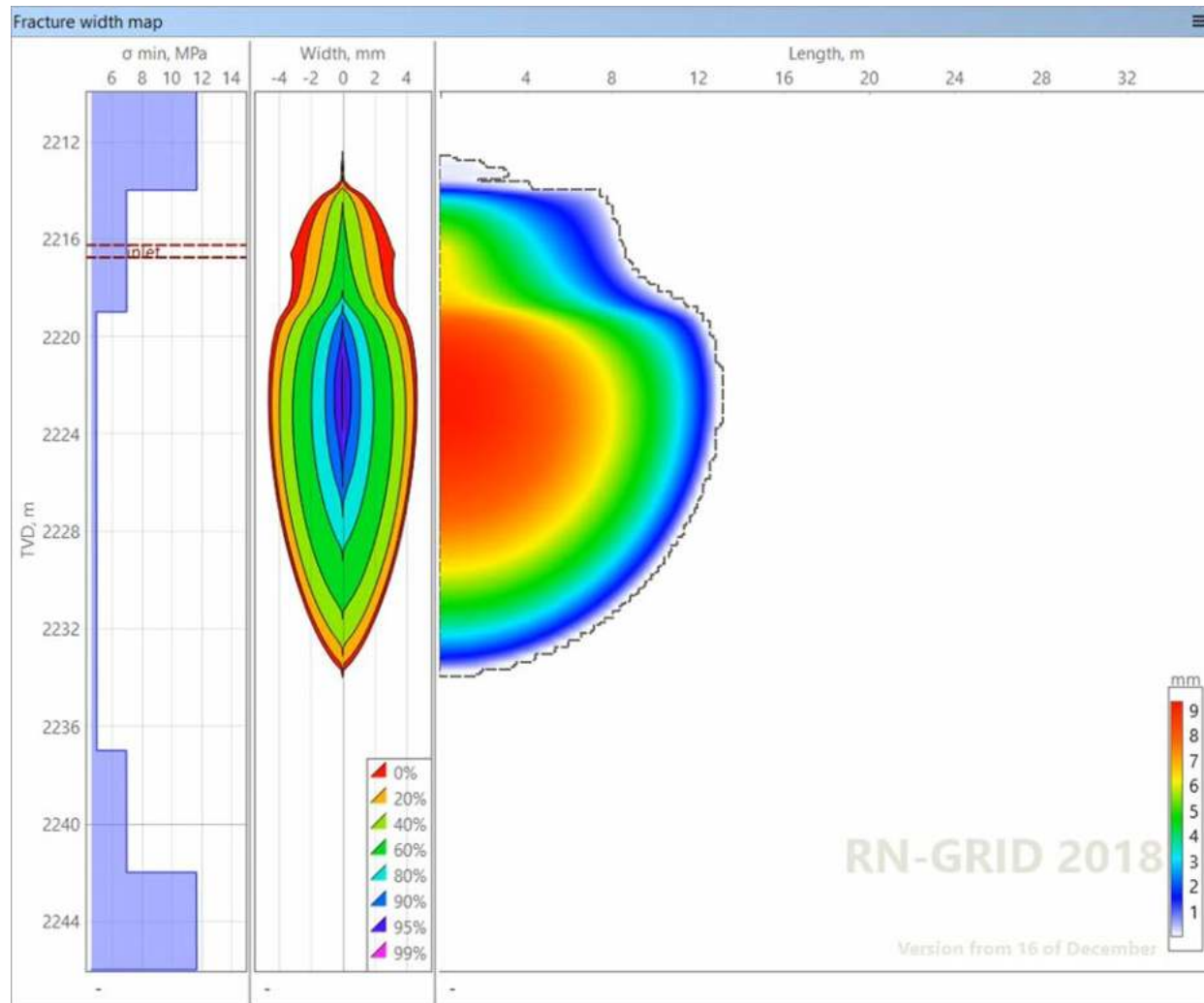
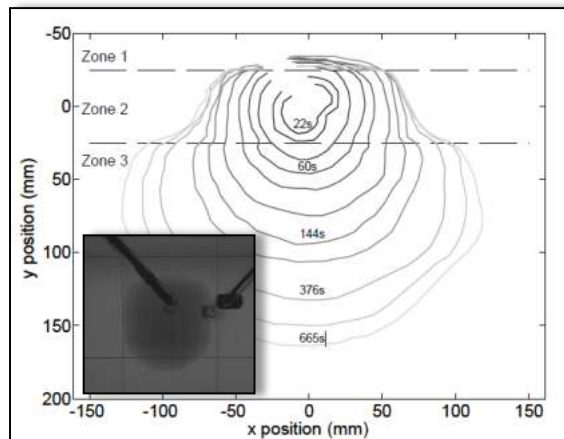


Сравнение результатов численного моделирования (случай 2)



E. Siebrits, A. P. Peirce. An efficient multi-layer planar 3D fracture growth algorithm using a fixed mesh approach. — *Int. J. Numer. Meth. Engng.* — 2002. — 53. — P. 691–717. — DOI:10.1002/nme.308.

A. P. Peirce, E. Siebrits. A dual mesh multigrid preconditioner for the efficient solution of hydraulically driven fracture problems. — *Int. J. Numer. Meth. Engng.* — 2005. — 63. — P. 1797–1823. — DOI:10.1002/nme.1330.





Верификация модели - проверка соответствия поведения модели принятым при ее разработке предположениям. Подбираются некоторые исходные данные, для которых могут быть предсказаны результаты расчета или имеются аналитические решения. Если окажется, что модель выдает данные, противоречащие тем, которые ожидалось при разработке модели, значит, модель неверна, т.е. не соответствует заложенным в нее ожиданиям. В обратном случае переходят к следующему этапу проверки работоспособности модели – ее валидации.

Валидация модели - проверка соответствия данных, получаемых в процессе моделирования, реальному ходу явлений, для описания которых создана модель. Производится тогда, когда экспериментатор убедился на предшествующей стадии (верификации) в правильности структуры (логики) модели. Состоит в том, что выходные данные после расчета на модели сопоставляются с имеющимися экспериментальными сведениями о моделируемой системе.