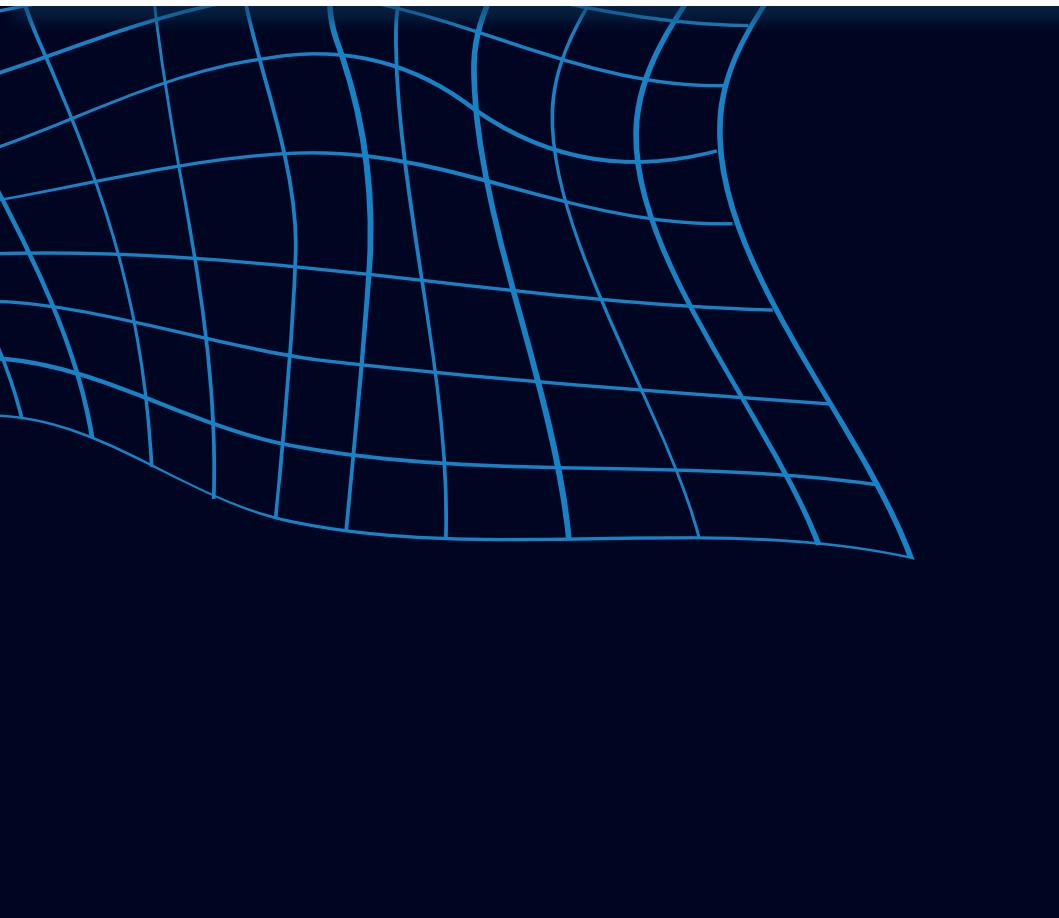




# ТНАВИГАТОР

Полное решение для инженера-разработчика и геолога

## ОБЗОР МОДУЛЕЙ



**РФД**



Компания Рок Флоу Динамикс, основанная в Москве в 2005 году, специализируется на разработке программного обеспечения для моделирования разработки месторождений нефти и газа. На сегодняшний день компания имеет 6 офисов в России и СНГ. В Рок Флоу Динамикс работают более 120 программистов-математиков, занимающихся разработкой программного комплекса, а группа технической поддержки состоит из более чем 70 инженеров и геологов. Клиентами Рок Флоу Динамикс являются ведущие нефтегазовые предприятия России и СНГ, лицензии тНавигатор используются в институтах и университетах в образовательных и научно-исследовательских целях.

В 2017 году тНавигатор включён в реестр отечественного программного обеспечения Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

ПО тНавигатор имеет возможность установки на операционные системы Windows, Linux, в том числе Astra Linux.

## Почему тНавигатор?

тНавигатор — это универсальный инструмент геолога и инженера-разработчика, использующий современные вычислительные архитектуры для обеспечения высокой скорости расчётов, масштабируемости и лёгкости использования.

тНавигатор позволяет работать с моделями любого масштаба и сложности: секторными, полномасштабными, нетрадиционными залежами, шельфовыми и другими проектами.

тНавигатор — это **единый программный комплекс**, объединяющий модули для работы с сейсмическими данными, построения геологических моделей, совместный расчёт гидродинамики и геомеханики, моделирование PVT свойств, построение моделей скважины и сети сбора.

тНавигатор обеспечивает быстрый **полностью неявный расчёт интегрированной модели пласт-сеть сбора**, обеспечивающий учёт всех технологических ограничений и надёжность прогнозирования добычи.

В тНавигатор может быть проведён **анализ геологических, гидродинамических и технологических неопределённостей** при оптимизации и построении вероятностного прогноза разработки.

тНавигатор разработан на языках C++/CUDA и максимально использует всю мощь современных многоядерных процессоров **CPU и GPU**. Разделение задачи между независимыми потоками для систем с общей или распределённой памятью, а также балансировка загруженности производятся автоматически. тНавигатор работает на ноутбуках, рабочих станциях с CPU и с одним или несколькими GPU и на кластерах. Доступны **облачные вычисления** с полными возможностями графического интерфейса для удалённого рабочего стола.

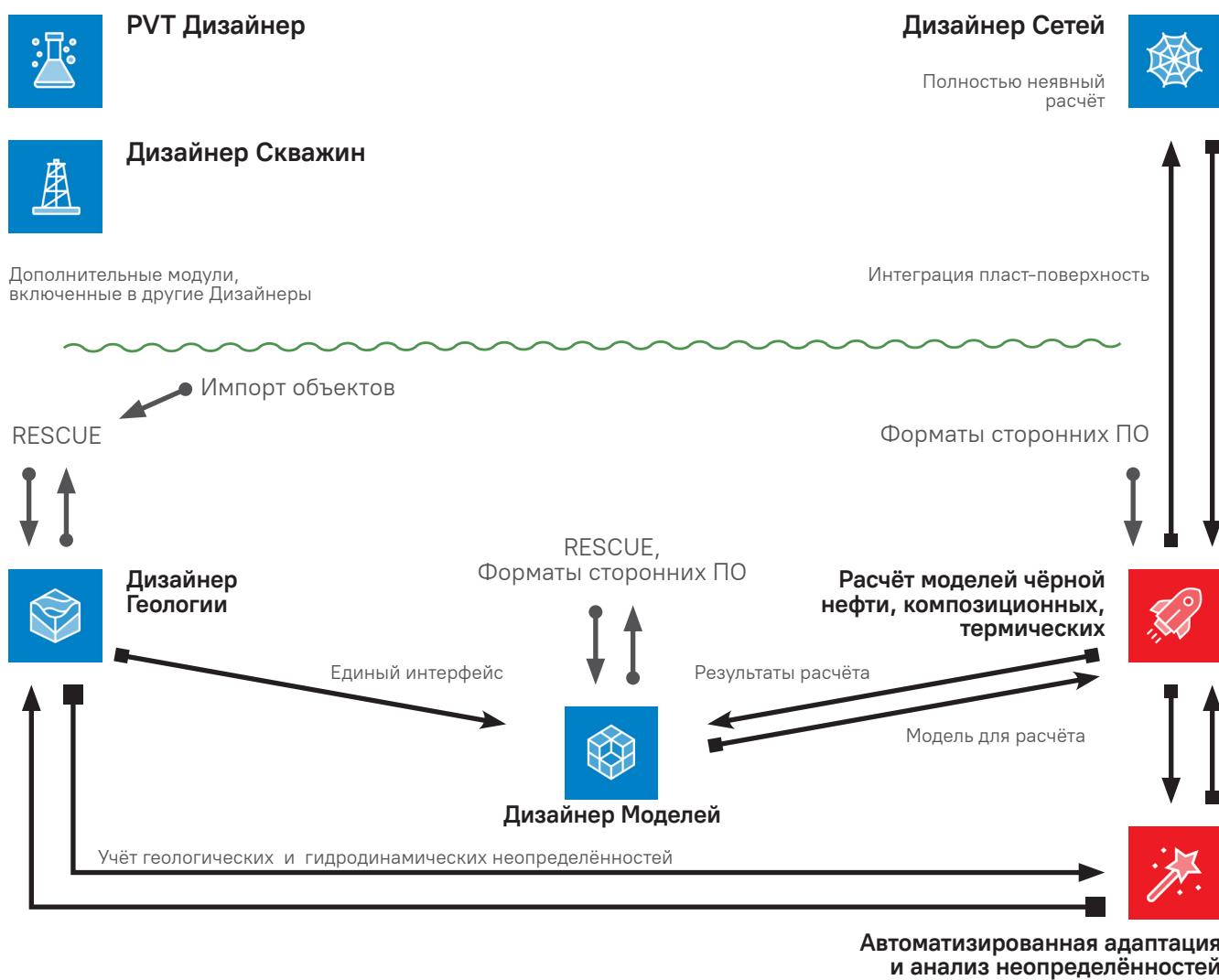
тНавигатор даёт возможность инженеру и геологу сосредоточиться только на своей работе, в то время как вычислительные ресурсы оптимально используются автоматически.

тНавигатор предлагает **широкий набор инструментов**, благодаря которым геологи могут выполнять все этапы построения модели, включая интерпретацию сейсмики, корреляцию скважин, структурное моделирование, фациальное и петрофизическое моделирование, подсчёт объёмов и запасов. Рутинные действия автоматизируются с помощью **workflow в виде скриптов Python**, что позволяет пользователю повысить эффективность работы.

## Универсальный инструмент геолога и инженера-разработчика

тНавигатор — единый программный пакет, который позволяет создавать геологические и динамические модели нефтегазовых месторождений, моделировать PVT свойства, строить поверхностную сеть, выполнять расчёт модели, а также анализ неопределённостей в рамках единого интерфейса. Все модули тНавигатор используют общую внутреннюю систему хранения данных, вычислительное ядро, обеспечивающее параллельный расчёт на всех доступных вычислительных ядрах (протестировано до 10240 ядер CPU и 35840 ядер GPU с размерами модели более 1 миллиарда активных блоков), общие форматы ввода/вывода данных и графический интерфейс.

тНавигатор поддерживает стандартные форматы входных данных, использующиеся в отрасли. Конвертеры форматов встроены в исполняемый файл и «на лету» преобразуют данные во внутренний формат. тНавигатор может лицензироваться как локально, так и по сети. Локальная лицензия предоставляется для индивидуальных рабочих станций и компьютеров, и опирается на USB- ключ и соответствующий лицензионный файл. Сетевая версия для LAN и WAN сетей обеспечивается лицензионным сервером, который может быть установлен под Linux или Windows на физической или виртуальной машине. Лицензионный сервер требует USB- ключ и лицензионный файл. Сервер оптимизирован для высокой нагрузки и предоставляет статистику использования для мониторинговых систем, таких как FlexNet® или OpenIT®.



---

## Общий обзор модулей тНавигатор

тНавигатор содержит следующие функциональные модули:

- **Дизайнер Геологии** для интерпретации данных и построения геологических моделей.
- **Дизайнер Моделей** для подготовки данных и построения гидродинамической модели.
- **PVT Дизайнер** для построения модели флюида по лабораторным данным.
- **Дизайнер Скважин** для построения модели скважины.
- **Дизайнер Сетей** для построения, визуализации и анализа поверхностной сети сбора продукции.
- **Расчётные модули** (симулятор):
  - » Чёрная нефть
  - » Композиционная модель
  - » Термическая модель
- **Графический интерфейс** для анализа результатов расчёта.
- **Автоматизированная адаптация и анализ неопределённостей.**

Все дизайнеры тНавигатор поддерживают графы моделирования (workflows) на языке Python. Это позволяет пользователям записывать и автоматически воспроизводить последовательность действий для работы с моделью: загрузка данных, построение геологической модели, анализ результатов, адаптация и анализ неопределённостей. Workflows могут быть также использованы для интеграции разных модулей тНавигатор, запуска сторонних скриптов и использования стороннего ПО, например, Excel®.

Например, может быть создано пользовательское workflow пошагового построения геологической модели в Дизайнере Геологии, включающее учёт неопределённости сейсмических данных, возможность «подтянуть» трендовый горизонт к маркерам, создание сетки, перемасштабирование (upscaling), интерполяция методом SGS, инициализация гидродинамической модели и задание переменных. Таким образом, полный цикл адаптации и анализа неопределённостей может быть запущен через workflow и обеспечит анализ чувствительности изменения результатов расчёта в зависимости от изменения исходных геологических и гидродинамических параметров модели.

Чёрная нефть, Композиционная и Термическая модели — расчётные модули, использующие молярные плотности и давление как главные переменные. Все расчётные модули используют общий подход к построению сетки, включающий неструктурированные сетки с несоседними соединениями, слоями с выклиниванием и тонкими слоями. Поддерживаются формат угловой точки и общий формат с указанием вершин ячеек сетки. Допустимы множественные локальные измельчения и укрупнения сетки. Естественная трещиноватость может моделироваться с помощью двойной пористости/двойной проницаемости (DPDP). тНавигатор поддерживает задаваемые траекториями (X, Y, Z) или через (I, J, K) скважины произвольной формы, многоствольные скважины, устройства управления притоком, разломы, и многосегментные скважины. Возможно моделирование контроля по давлению на забое, давлению на устье, дебиту, групповые контроли. На каждом шаге связь между скважиной и пластом осуществляется путём решения неявного уравнения скважины, учитывающего возможные перетоки флюида через скважину из одного пласта в другой. Итоговая система нелинейных уравнений, полученная с помощью неявного или адаптивно-неявного алгоритма, решается методом Ньютона. Результаты расчётов могут быть экспортированы в стандартном формате: бинарный UNRST/UNSMRY или RSM. Поддержка стандартных в отрасли форматов входных и выходных данных и синтаксиса обеспечивает лёгкость перехода на тНавигатор и его встраивание в рабочие процессы любой компании.

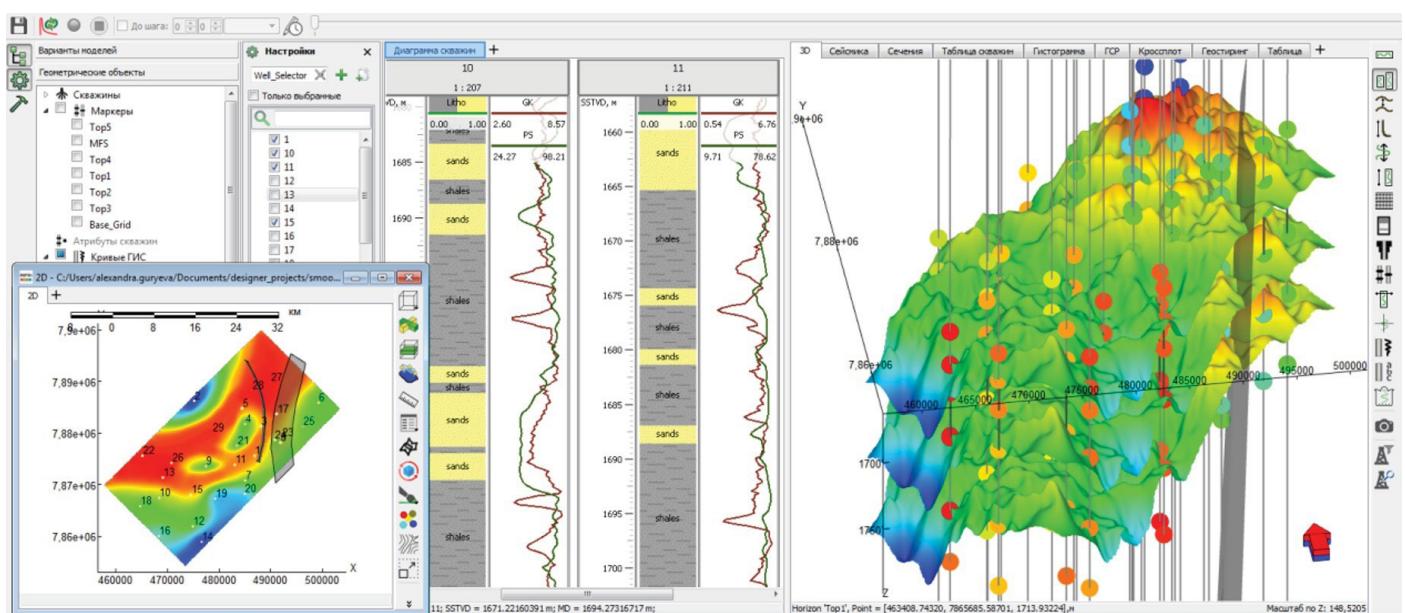
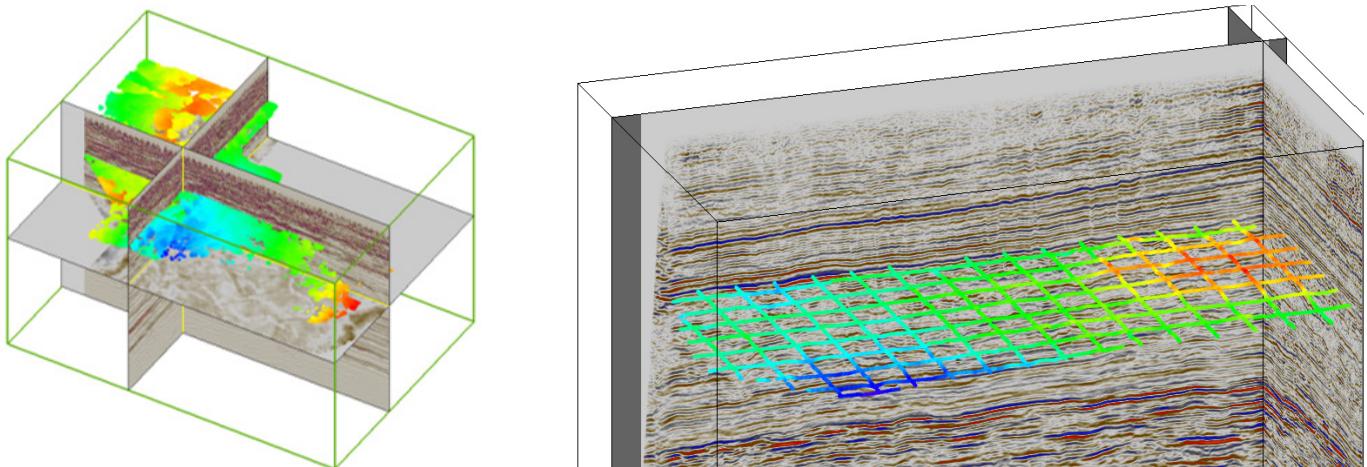
## Дизайнер Геологии

Модуль позволяет по исходным данным построить геологическую модель.

### **Ключевая функциональность:**

- Загрузка 2D и 3D сейсмики, сейсмических поверхностей, горизонтов, разломов, сканов карт и профилей, скважин, отбивок, кривых ГИС, РИГИС, фотографий и результатов исследований керна, испытаний скважин, наборов точек, атрибутов и других объектов. Поддержаны стандартные форматы данных, используемые в отрасли.
- Импорт моделей в форматах Rescue и RESQML, импорт из пакетов геологического моделирования других производителей. Поддержан перенос данных из проекта в проект.
- Стратиграфическая привязка сейсмических данных. Расчёт синтетической сейсмограммы по данным плотности и акустического каротажа, с выбором модели вейвлета. Корректировка данных сейсмического каротажа по 3D сейсмике и синтетической сейсмограмме.
- Расчёт 2D и 3D сейсмических атрибутов. Интерпретация сейсмики: ручные, автоматизированные и автоматические инструменты интерпретации.
- Поддержка различных систем координат и единиц измерения с возможностью конвертации.
- Полный набор средств для анализа исходных данных и экспертизы моделей. 2D и 3D визуализация, Гистограммы, Кроссплоты, ГСР, Стереонет. Анализ данных с использованием машинного обучения.
- Автоматизированное картопостроение (более 10 методов интерполяции), редактирование, оформление карт.
- Инструменты подготовки и интерпретации ГИС. Нормализация, устранение аномалий, ручное редактирование.
- Инструменты корреляции скважин, оптимизированные для работы с большим количеством скважинных данных, в том числе неоднородных, архивных материалов. Автоматизированная и ручная корреляция.
- Построение и редактирование разломов. Структурное моделирование. Локальное обновление сетки.
- Моделирование трещиноватости. Создание и ремасштабирование дискретной сети трещин (DFN).
- Фациальное моделирование и 3D интерполяция фильтрационно-ёмкостных свойств. Геотела по сейсмике, объектное моделирование. Геостатистические методы: кригинг, кокригинг, гауссова симулляция (SGS, SIS, TGS), многоточечная геостатистика (MPS) и др. Многовариантное моделирование в условиях нестационарности (Amazonas).
- Подсчёт запасов, 2D и 3D. Возможность многовариантного подсчёта.
- Граф построения модели (workflow). Автоматическая запись, восстановление по истории, сохранение как скрипта на Python, встроенный отладчик Python, расширение процедур средствами Python.
- Сопровождение бурения (геостириинг) с автоматическим обновлением 3D модели.
- Потоковая передача данных по протоколу WITSML при сопровождении бурения.
- Реализация нескольких методов построения синтетической кривой, в том числе, учитывая окружающие скважины.
- Интерпретация азимутальных данных каротажа.

- Вычисления автоматически распараллеливаются на все ядра рабочей станции.
- Построение и расчёт на кластере региональных моделей и моделей высокой детализации.



## Интеграция

При интеграции модулей Дизайнера Геологии, Дизайнера Моделей, расчётного модуля (чёрная нефть, композиционная модель или термическая модель), PVT Дизайнера, Дизайнера Скважин, Автоматизированной адаптации в едином графическом интерфейсе может быть осуществлено построение геологической модели с нуля, построена и рассчитана гидродинамическая модель, выполнены анализ результатов, автоматизированная адаптация, анализ неопределённостей и оптимизация.

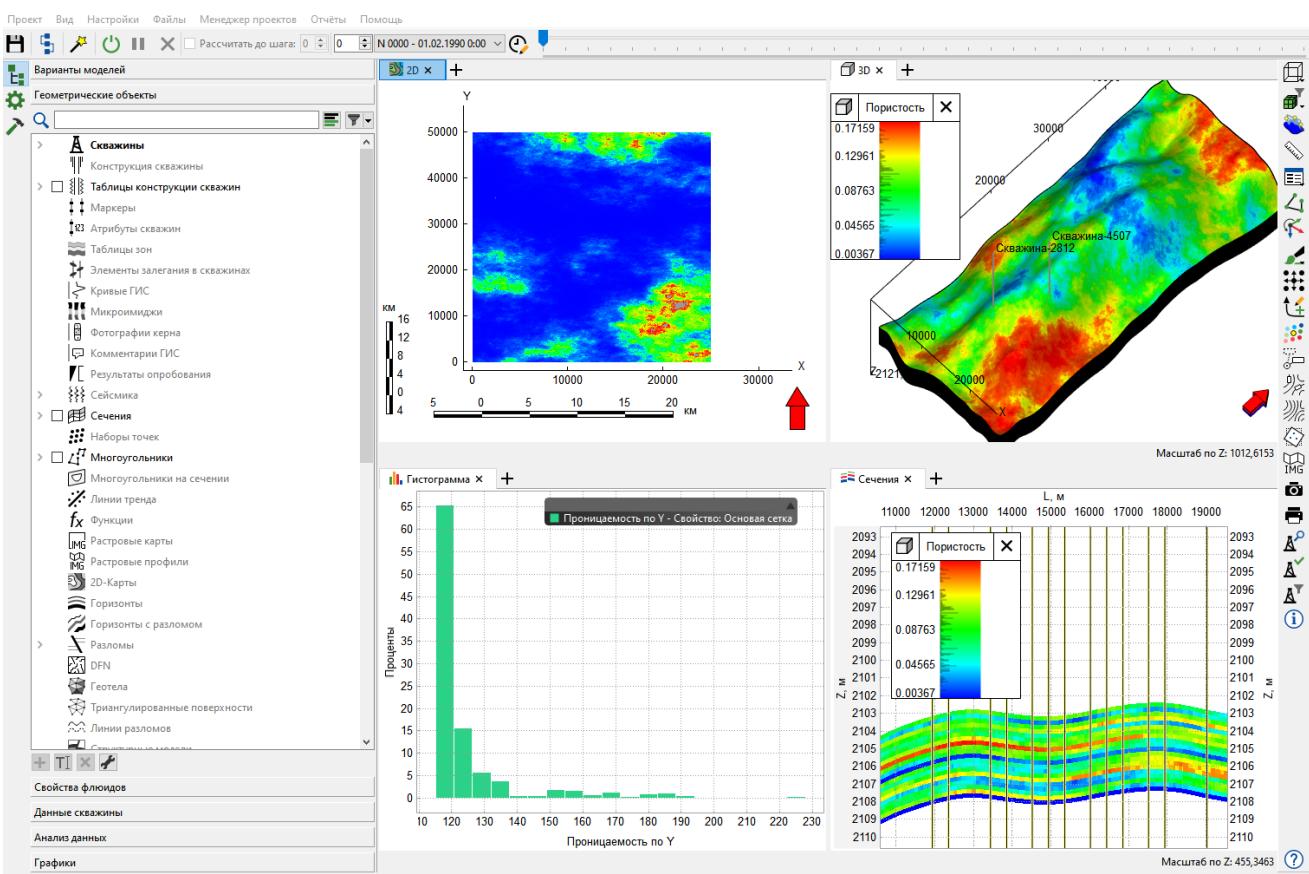
При интеграции с модулем Автоматизированной адаптации Дизайнер Геологии позволяет найти статистические неопределённости во всех диапазонах и распределениях, давая возможность провести анализ чувствительности и неопределённости на геологической сетке, без построения полной гидродинамической модели.

## Дизайнер Моделей (пре/пост-процессор)

Модуль позволяет создать гидродинамическую модель и выполнить локальное редактирование, обновление данных и поддержку постоянной актуальности модели.

### Ключевая функциональность:

- Сборка интегрированных моделей с несколькими резервуарами, просмотр результатов расчетов.
- Расстановка скважин по шаблону с учетом DLS.
- Расчет и визуализация таблиц дренирования и графиков дренирования по скважинам.
- Импорт сетки и кубов свойств в стандартных форматах, загрузка RESCUE/RESQML файлов.
- Создание проекта по существующей гидродинамической модели. Редактирование свойств, PVT, ОФП, обновление данных по добыче.
- Интеграция с Дизайнером относительных фазовых проницаемостей: импорт, создание ОФП по корреляциям Кори, LET, адаптация на результаты измерений.
- Задание и редактирование PVT свойств, учёт различных уравнений состояния. Интеграция с PVT Дизайнером.
- Загрузка VFP/IPR таблиц. Интеграция с Дизайнером Скважин.
- Задание свойств породы.
- Равновесная и неравновесная инициализация модели.
- Калькулятор свойств. Локальное измельчение сетки. Добавление аквиферов.
- Загрузка событий и истории разработки по скважинам. Пересчёт таблиц на другие даты. Интеграция с базами данных через скрипты Python.
- Стратегии разработки: группы скважин, задание ограничений по скважинам, экономические и групповые ограничения и т.д. Фильтры по скважинам.
- Проектирование скважин. Прогнозные сценарии разработки месторождений. Расчёт и сравнение различных вариантов гидродинамической модели в одном проекте Дизайнера Моделей.
- 2D и 3D визуализация, Гистограммы, Кроссплоты, Графики. Графики накопленной функции распределения (CDF), Прокси, Квентили.
- Граф построения модели (workflow). Автоматическая запись, сохранение workflow как скрипта на Python, расширение имеющихся процедур средствами Python. Использование Python скриптов для задания расписания работы скважин. Библиотеки скриптов и WF.
- Все вычисления автоматически распараллеливаются на все ядра рабочей станции.
- Визуализация загруженных измерений RFT/PLT на Диаграмме Скважин.



## Дизайнер Моделей для моделирования ГРП

Дизайнер Моделей позволяет создавать дизайн многостадийных ГРП произвольной конфигурации и рассчитывать построенные гидродинамические модели.

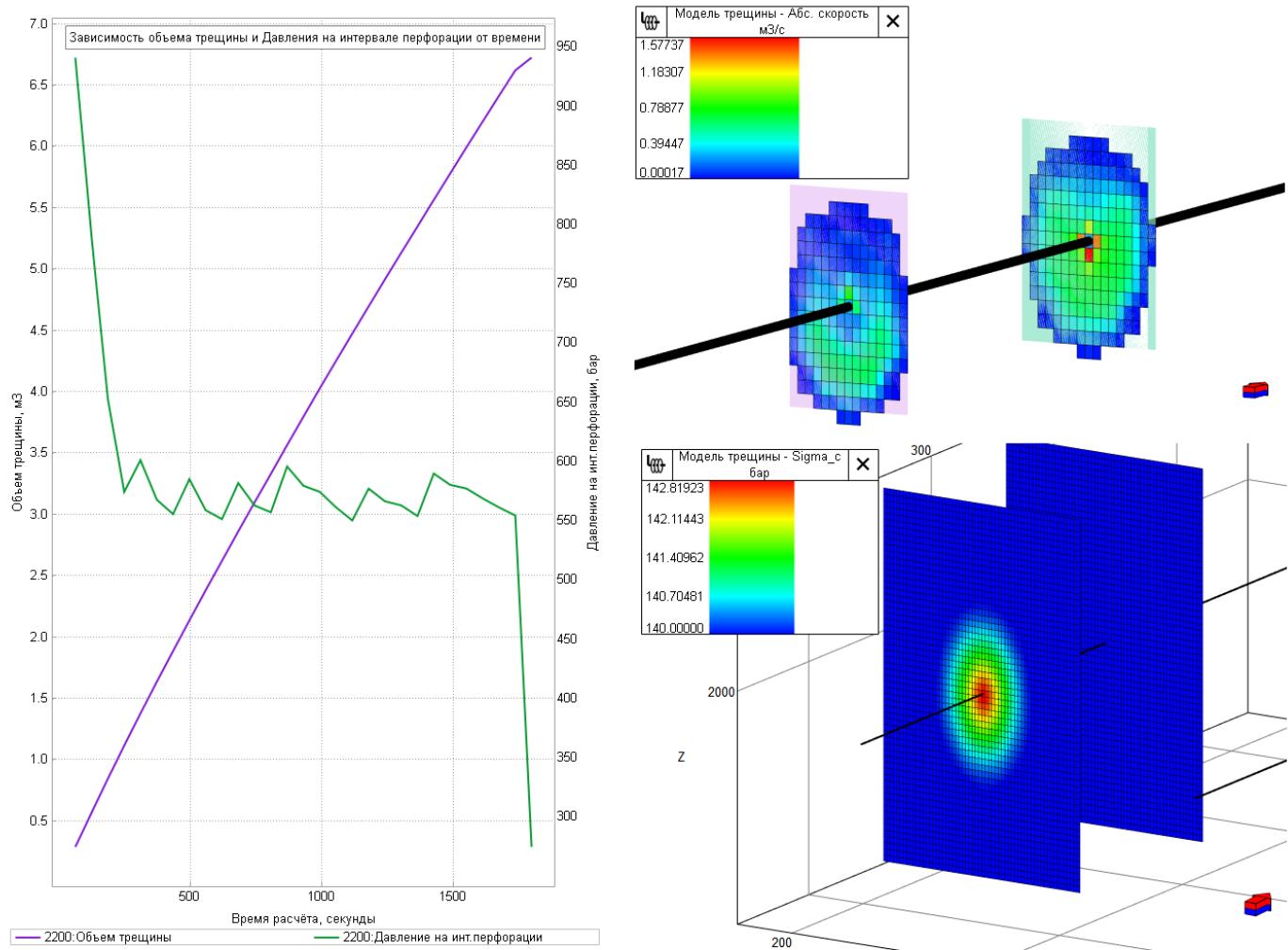
### Ключевая функциональность:

- ГРП произвольной геометрии, многостадийное ГРП. Различные опции ориентировки ГРП через задание углов: между ГРП и ГРП, ГРП и скважиной, ГРП и сеткой.
- Различные свойства породы (пористость, проницаемость, песчанистость) и регионы (насыщенности, свойства породы, PVT) могут быть заданы и изменены во времени в секции schedule для зоны трещины и зоны влияния трещины в SRV.
- Зоны трещин и зоны влияния трещин SRV задаются с помощью одного или нескольких шаблонов, параметры которых могут использоваться в автоматизированной адаптации и анализе неопределённостей через workflow.
- Множественное пересечение трещин. Новый тип аддитивного логарифмического измельчения сетки обеспечивает построение неструктурированной сетки вдоль ГРП.
- Возможность загрузки данных ГРП в табличной форме, удобная при наличии большого количества ГРП в модели.
- Загрузка дизайна ГРП из стороннего ПО.
- Двойная пористость/Двойная проницаемость, модель метаноугольного пласта и другие опции.

- Задание таблиц зависимостей проницаемости от давления и функций потока для пропанта, задание и выгрузка трещин ГРП поточечно, задание множителя проводимости и учет снижения проницаемости во времени для различных стадий ГРП, настройка взаимного влияния трещин и точности критерия разрушения.
- Оценка эффективности применения ГРП на основе анализа неопределенностей (workflow).
- Симулятор ГРП: расчёт распространения трещин ГРП на основе геомеханической модели. Учет результатов расчета в ГДМ.

## Интеграция

Комбинирование модулей Дизайнера Геологии, Дизайнера Моделей, расчётного модуля (чёрная нефть, композиционная модель или термическая модель), PVT Дизайнера, Дизайнера Скважин, Автоматизированной адаптации в едином графическом интерфейсе позволяет осуществить построение геологической модели с нуля, построить и рассчитать гидродинамическую модель, выполнить анализ результатов, автоматизированную адаптацию и анализ неопределённостей.

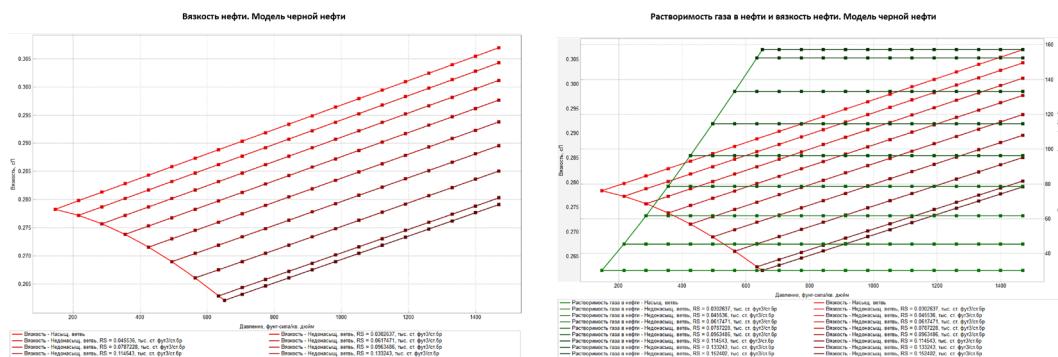


## PVT Дизайнер

Модуль позволяет описать модель флюида с помощью уравнений состояния или корреляций для моделей чёрной нефти.

### Ключевая функциональность:

- Работа с композиционными, термическими вариантами и вариантами чёрной нефти.
- Библиотека компонентов, задание пользовательских компонентов, расчёт критических свойств компонентов по корреляциям.
- Поддержаны эксперименты: CCE, DLE, CVD, Swelling Test, Grading Test, Separator Test, MMP, NCCE, NCVD, Релаксация, Эмульсии.
- Расчёт кривой гидратообразования с учётом эффекта ингибиторов.
- Настройка модели флюида на результаты лабораторных исследований.
- Контроль качества исходных данных, в том числе с использованием Фазовой диаграммы.
- Объединение компонент в псевдокомпоненты и адаптация их свойств.
- Расщепление «плюсовой» фракции на псевдокомпоненты.
- Рекомбинация пластового флюида, смешивание составов и удаление примесей.
- Создание единого уравнения состояния для нескольких композиционных моделей флюидов.
- Создание композиционного варианта, аппроксимирующего свойства PVT таблиц модели чёрной нефти.
- Расчет коэффициентов паражидкостного равновесия, расчет двухфазных моделей Вода-Газ, учет растворимости CO<sub>2</sub> в воде.
- Задание многокомпонентной воды для композиционных, термических вариантов и моделей чёрной нефти.
- Создание и экспорт параметров уравнения состояния для построения композиционной гидродинамической модели.
- Описание свойств флюидов с помощью корреляций для моделей чёрной нефти.
- Аппроксимация PVT таблиц корреляциями для моделей чёрной нефти.
- Создание и экспорт PVT таблиц свойств флюидов для построения гидродинамической модели чёрной нефти.
- Поддержка графов моделирования (workflow) на языке Python.
- Поддержка чтения стандартных форматов входных данных для композиционных, термических вариантов и моделей чёрной нефти.



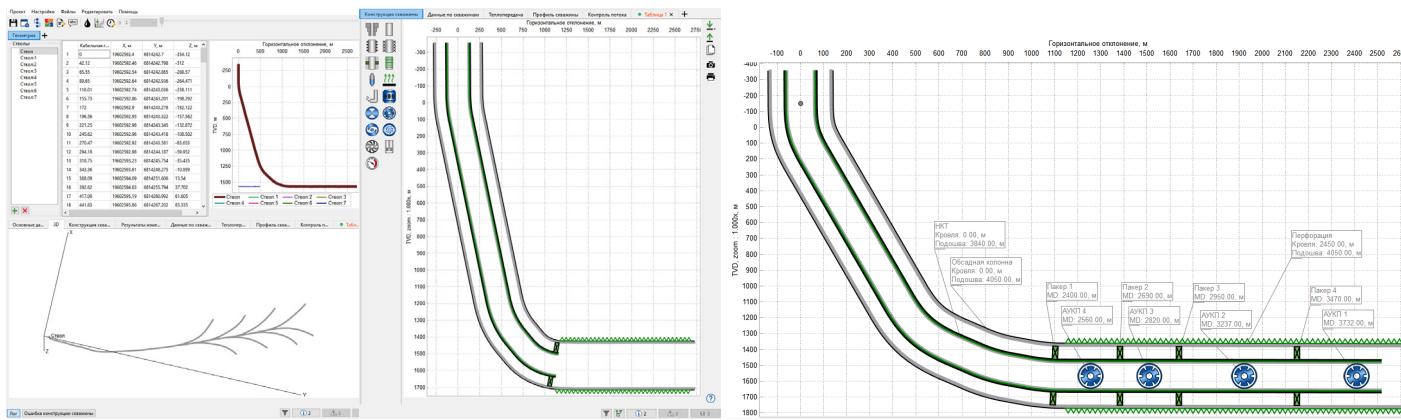


## Дизайнер Скважин

Модуль позволяет строить модели скважин и трубопроводов.

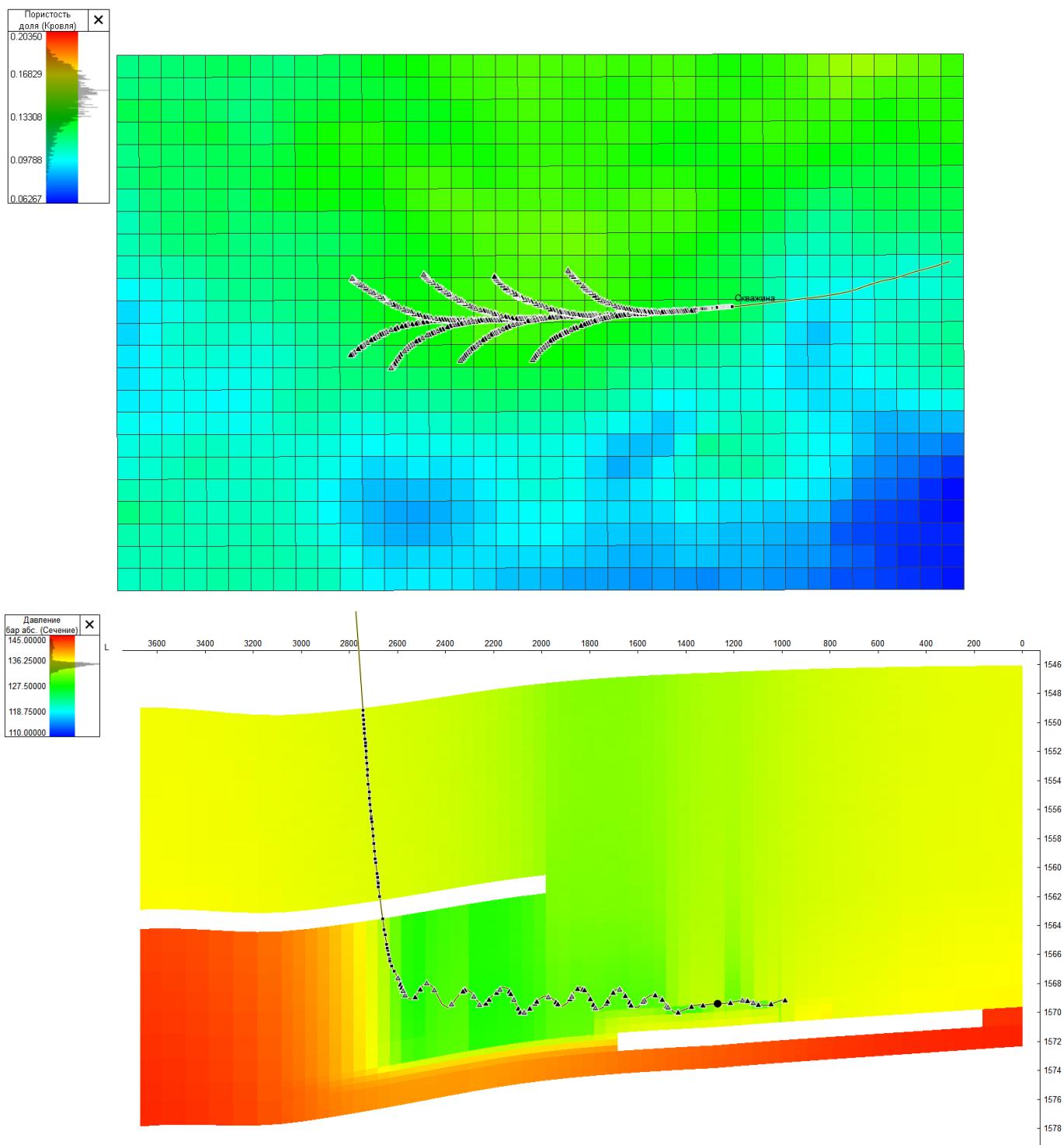
## **Ключевая функциональность:**

- Создание и редактирование геометрии и конструкции скважин.
  - Траектория скважины. Загрузка траектории скважины в стандартных форматах (Well Path/Deviation, LAS, GWTD и другие). Копирование точек траектории из текстового файла. Редактирование траектории вручную. Визуализация траектории (TVD и инклинометрия).
  - Загрузка и визуализации каротажа в 3D.
  - Раскраска траектории скважины цветом в зависимости от DLS (интенсивности искривления ствола скважины).
  - Конструкция скважины. Обсадная колонна, хвостовик, открытый ствол, колонна НКТ, перфорация, закрытие перфорации, пакер, фильтр, устройство контроля притока (ICD), автономное устройство контроля притока (AICD), спиральное (SICD), клапан (ICV), ЭЦН, манометр. Визуализация конструкции скважины. Редактирование элементов. Создание и импорт каталогов пользовательских объектов.
  - Многозабойные скважины: загрузка и редактирование траектории и конструкции стволов.
  - Многосегментные скважины.
  - Расчёт потерь давления по различным корреляциям (Beggs-Brill, Hagedorn Brown, Orkiszewski, Gray и другие). Выбор разных корреляций для вертикальной, наклонной и горизонтальной частей скважины. Коэффициент трения. Гидростатическая компонента.
  - Расчет потерь давления по стволу скважины (VFP-корреляции и VFP-таблицы). Нормализация VFP-таблиц. Адаптация таблиц на измеренные данные, используя переменные: параметры конструкции скважины, типы корреляций и т.д.
  - Контроль потока: расчет коррозии, расчет эрозии. Оценка влияния жидкостной загрузки скважины.
  - Расчет и анализ распределения ключевых параметров по стволу скважины (давление, скорости по фазам, объемные доли по фазам, гидравлические потери, скорость коррозии и эрозии).
  - Создание IPR таблиц. Доступны следующие модели притока для газа и жидкости: уравнение Богеля, Фетковича, Джонса, коэффициент продуктивности скважины. Совместная визуализация кривых IPR и VFP.
  - Все вычисления автоматически распараллеливаются на все ядра рабочей станции.



## Интеграция

Полная интеграция Дизайнера Скважин с другими модулями тНавигатор позволяет рассчитывать поверхность сеть, а также обеспечивает объединение модели пласта и поверхностной инфраструктуры. Интеграция с PVT Дизайнером позволяет использовать единые свойства флюида из проекта тНавигатор. При интеграции с Дизайнером Сетей Дизайнер Скважин используется для создания моделей скважин (включая траектории, конструкции, VFP таблицы и т.д.). Для создания скважин в Дизайнере Моделей используются проекты Дизайнера Скважин.





## Дизайнер Сетей

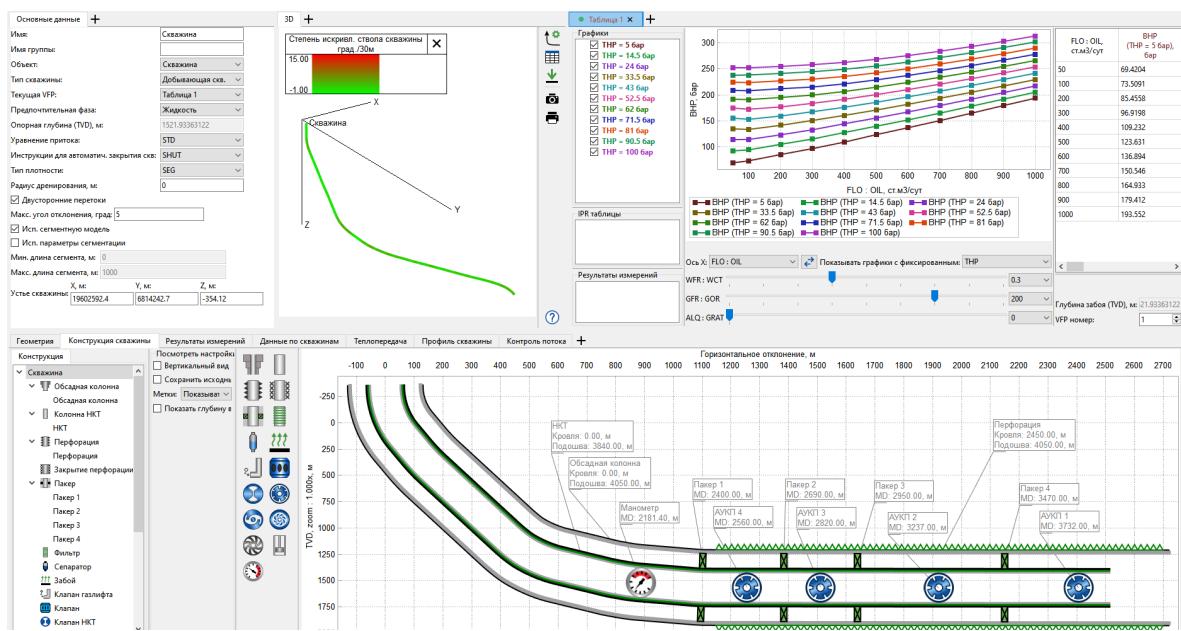
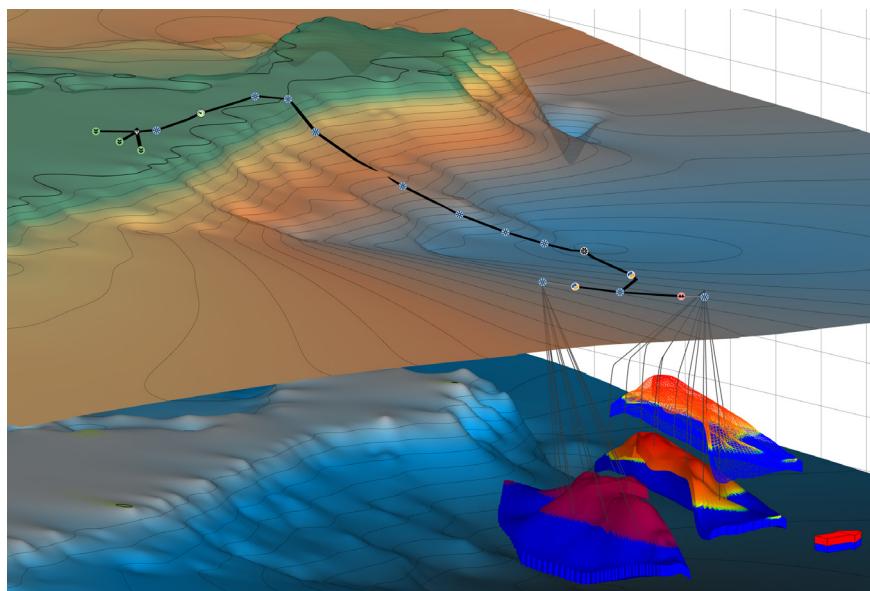
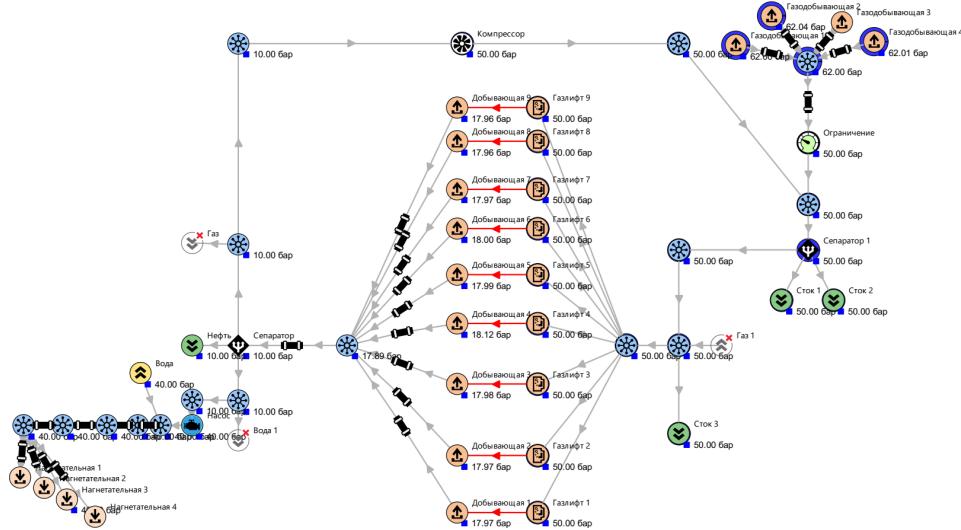
Модуль позволяет строить и рассчитывать поверхностную сеть сбора как отдельно, так и полностью интегрировано с моделью пласта. Дизайнер Сетей интегрирован с РВТ Дизайнером, Дизайнером Скважин, Дизайнером Моделей, Дизайнером Геологии и Симулятором.

### Ключевая функциональность:

- Создание и редактирование сети сбора. Библиотека элементов: скважина, нагнетательная скважина, источник, линк, труба, узел, насос, штуцер, компрессор, двухфазный и трёхфазный сепаратор, сток, объект Python, объект газлифт. Объекты, задающие ограничения по расходу фаз и давлению: автоматический штуцер, автоматический насос, ограничение.
- Расчёт поверхностной сети сбора (стационарная задача): нахождение распределения давления и расхода вдоль трубопровода, основываясь на начальных данных и граничных условиях. Учёт зависимости от температуры. Влияние глубины укладки труб.
- Выявление участков с жидкостными пробками. Расчет эрозии и коррозии, выявление участков сети с недостаточной пропускной способностью. Выявление сегментов сети с рисками гидратообразования.
- Контроль корректности сети. Обнаружение некорректных высот труб в местах соединений; контроль граничных условий (давление, расход); проверка задания всех характеристик оборудования, необходимых для расчёта и т.д.
- Интеграция с РВТ Дизайнером: единая модель флюида (чёрная нефть, композиционная, термические варианты), объединение композиционных вариантов (EOS blend).
- Интеграция с Дизайнером Скважин. VFP и IPR таблицы для скважин. Гидростатика и расчёт потерь давления в динамике: корреляции, температурные эффекты.
- Интеграция с Дизайнером Моделей. При загрузке гидродинамической модели в Дизайнер Моделей автоматически создаётся проект Дизайнера Сетей, доступный для редактирования. Загрузка карт дневной поверхности и автоматическое построение профилей труб сложной геометрии.
- Интеграция с Симулятором. Полностью неявный расчёт интегрированной модели пласт-скважина-сеть сбора.
- Визуализация результатов. Графики, секторные диаграммы и прочие средства.
- Единый графический интерфейс обеспечивает синхронизацию результатов расчёта интегрированных моделей пласт-скважина-сеть сбора.
- Все вычисления автоматически распараллеливаются на все ядра рабочей станции.

### Интеграция

Комбинация модулей Дизайнера Сетей, РВТ Дизайнера, Дизайнера Скважин и расчётного модуля обеспечивает полностью неявное решение интегрированной модели пласт-скважина-сеть сбора с учётом производственных ограничений сети.



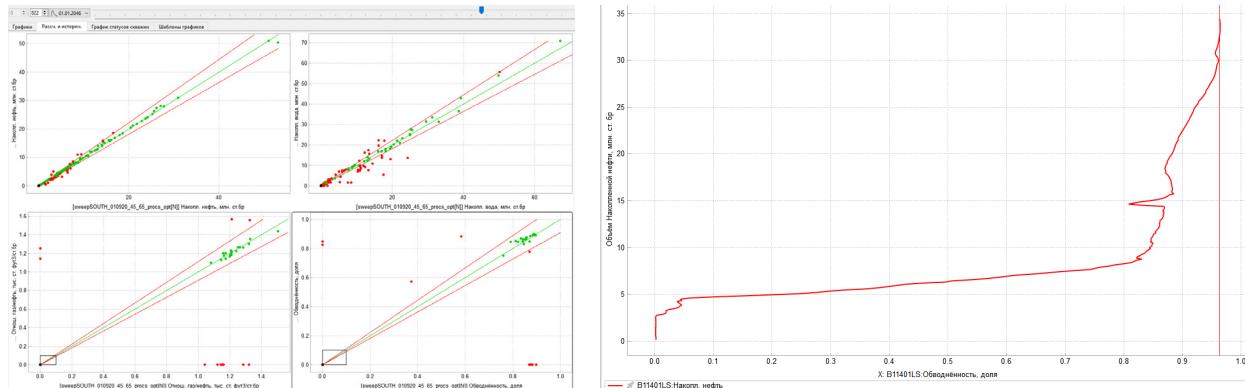


## Чёрная нефть

Модуль предназначен для моделирования фильтрации в пласте трёхфазной системы вода, нефть, газ. Поддерживаются стандартные форматы входных данных. Может использоваться как с графическим интерфейсом, так и как консольная версия на рабочей станции или на кластере.

### Ключевая функциональность:

- Обобщённое задание сетки (NNC, локальные измельчения LGR и укрупнение сетки (с различными способами осреднения свойств), разломы, выклинивания и т.д.), геометрия угловой точки, обобщённая геометрия угловой точки, неструктурированные сетки, импорт GSG.
- Двойная пористость, двойная проницаемость.
- Регионы насыщенности, PVT, равновесия, масштабирование концевых точек ОФП, капиллярные и гравитационные эффекты.
- Закачка полимеров, щелочей, ПАВ, полимеры Bright Water, модель вязкости UVM/UTCHEM.
- Гистерезис, диффузия, адсорбция, десорбция.
- Моделирование гидроразрыва пласта.
- Мультисегментные скважины, групповое управление, лифтинг-таблицы, расширенная поверхностная сеть. Аквиферы Фетковича, Картера-Трейси, постоянного притока, численные аквиферы.
- Температурное расширение модели чёрной нефти для моделирования неизотермических эффектов, возникающих при закачке холодной или горячей воды в пласт.
- D-фактор, псевдодавление для газа GPP, VFP таблицы и корреляции, триггеры (ACTION), скрипты Python (APPLYSCRIPT), очередь бурения, задаваемые пользователем величины (UDQ), арифметика пользователя.
- Трассерные исследования, оптимизация заводнения, аквиферы, моделирование вод различной солёности, многокомпонентной соли, API трассировка
- Полностью неявный и адаптивно неявный методы расчёта.
- Объединение моделей (reservoir coupling).
- Расчёт на CPU+GPU и кластерах для ускорения расчёта.
- Моделирование изотермических однофазных многокомпонентных моделей с одной фазой вода.
- Моделирование смещающегося вытеснения при закачке сольвента.



## Интеграция

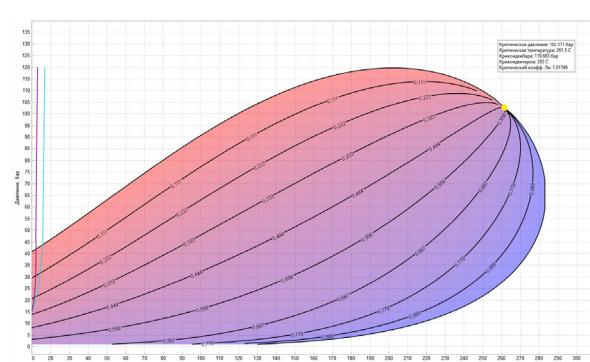
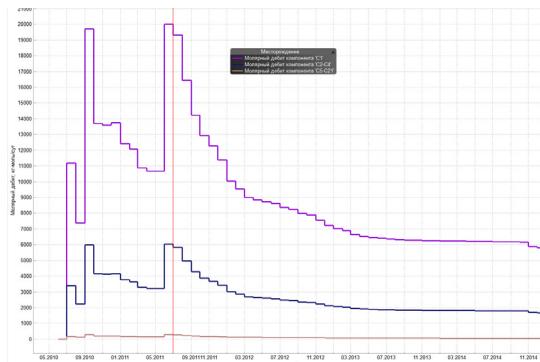
Интеграция с Дизайнером Сетей, Дизайнером Скважин, Дизайнером Моделей.

## Композиционная модель

Модуль предназначен для моделирования фильтрации в пласте многокомпонентной системы. Поддерживаются стандартные форматы входных данных. Модуль может использоваться как с графическим интерфейсом, так и как консольная версия на рабочей станции или на кластере.

### Ключевая функциональность:

- Поддержаны следующие уравнения состояния: Redlich-Kwong (RK), Soave-Redlich-Kwong (SRK), Peng-Robinson (PR).
- Моделирование неравновесных термодинамических процессов.
- Расчёт на CPU+GPU и кластерах для ускорения расчёта.
- Закачка CO<sub>2</sub>. Попеременная закачка воды и газа.
- Молекулярная диффузия, адсорбция, десорбция.
- Модель метаноугольного пласта (CBM).
- Относительные проницаемости, зависящие от состава.
- Различные способы учёта растворимости газов (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S и др.) в воде.
- Относительные фазовые проницаемости, зависящие от скорости потока фаз.
- Управление групповой добычей газа (разделение на топливо, сбыт, и обратную закачку); многостадийные сепараторы.
- Профиль сезонности (DCQ) для моделирования газового месторождения.
- Закачка многокомпонентных смесей. WAG.
- Поверхностные сети добычи и закачки.
- Учёт сегментов мультисегментной скважины, задающих субкритические клапаны.
- Области поддержания давления.
- Объединение моделей (reservoir coupling).



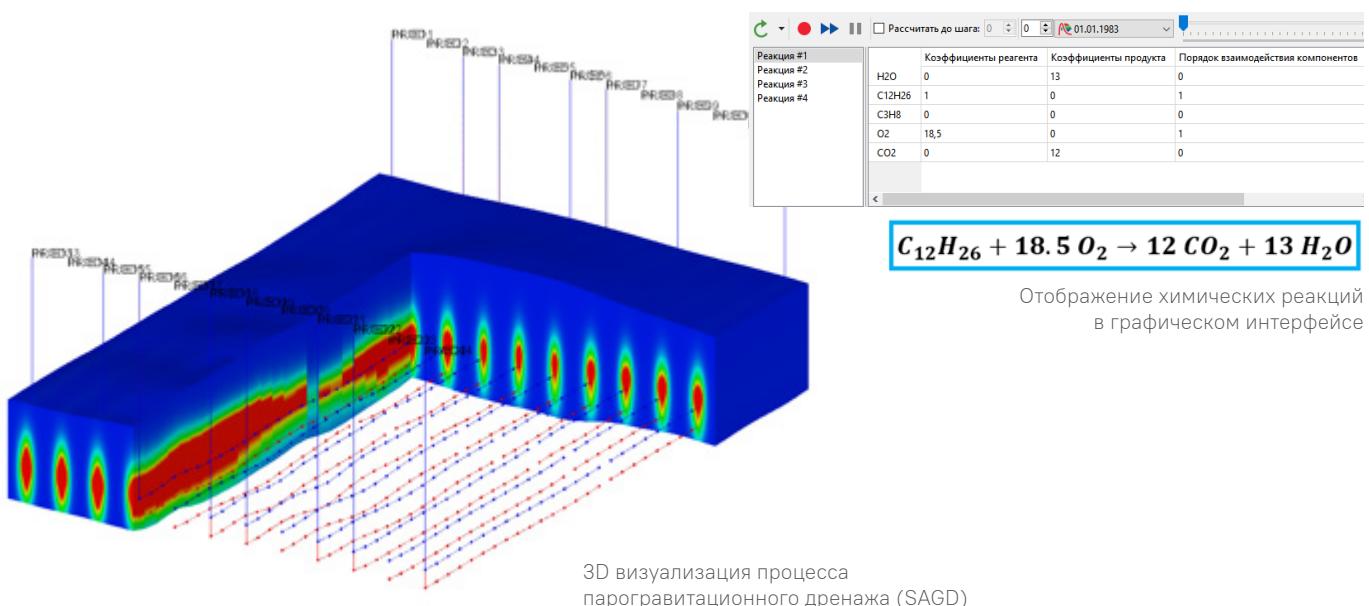


## Термическая модель

Модуль предназначен для моделирования различных тепловых процессов. Поддерживаются стандартные форматы входных данных, используемые в отрасли. Модуль может использоваться как с графическим интерфейсом, так и как консольная версия на рабочей станции или на кластере.

### Ключевая функциональность:

- К-значения для углеводородных компонентов из таблиц или по корреляциям.
- Четыре фазы: нефть (углеводородные компоненты), газ (углеводородные компоненты, вода), вода, твёрдая фаза. Фазовые переходы: парообразование, конденсация, испарение, растворение, горение.
- Поддержка твёрдой фазы и химических реакций для процессов внутрипластового горения.
- Пористость как функция от температуры и давления.
- Плотность и вязкость компонентов флюида как функция от температуры и давления.
- Энталпия углеводородных компонентов и породы как функция от температуры.
- Масштабирование ОФП, зависящее от состава и температуры.
- Аналитические, полуаналитические и численные аквиферы.
- Аналитическая модель теплообмена с окружающей средой.
- Теплопроводность в зависимости от свойств подвижных фаз, твёрдой фазы и породы.
- Нагреватели. Закачка пара, закачка смесей.
- Двойная пористость и двойная проницаемость.
- Закачка пара, а также многокомпонентных и многофазных смесей, WAG.
- Технология разработки тяжёлой нефти (SAGD).
- Расчёт на CPU+GPU и кластерах для ускорения расчёта.
- Объединение моделей (reservoir coupling).

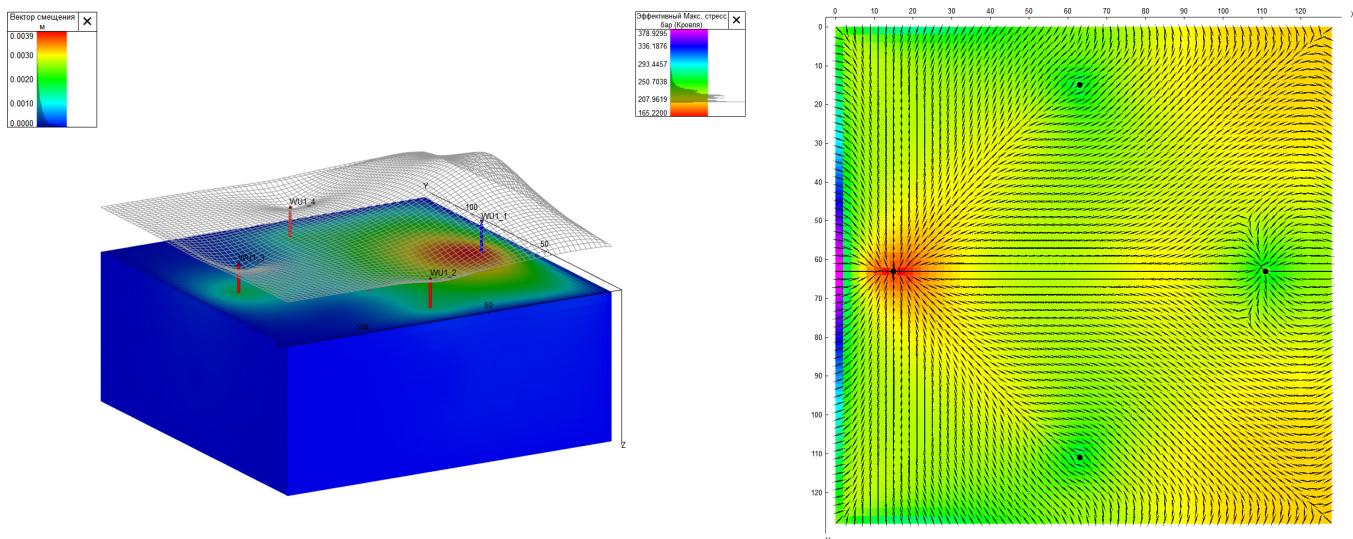


## Геомеханическое моделирование

В тНавигатор используется общая система уравнений, описывающая фильтрационные процессы в пласте и геомеханические эффекты на единой сетке.

### Ключевая функциональность:

- Единая сетка для гидродинамического и геомеханического моделирования: центры блоков для гидродинамики, углы блоков для геомеханики.
- Параллельное численное решение совместной системы: геомеханика на CPU ядрах, гидродинамика на CPU и GPU ядрах.
- Поддержка всех типов моделей (чёрная нефть, композиционная, термическая).
- Модель позволяет учитывать геомеханические параметры (модуль Юнга, коэффициенты Пуассона) в зависимости от давления и температуры, учитывать константы Био, а также задавать граничные и начальные условия для напряжений и деформаций. Диагностика рассчитанных параметров геомеханической модели.
- Моделирование геомеханических эффектов при помощи таблиц гистерезисного уплотнения породы.
- Критерии прочности Мора–Кулона, Бартона–Бандиса и Гриффитса для анализа напряжений и предсказания потенциального разрушения породы. Вероятные направления трещин.
- Учет влияния пластических деформаций с использованием линейной изотропной модели пластичности, задание тензора пластических деформаций как функция от параметров ГДМ.



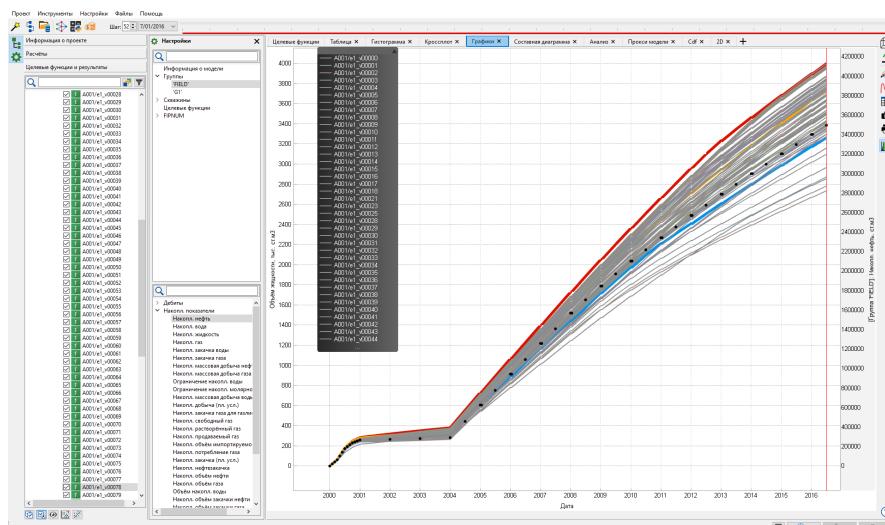


## Автоматизированная адаптация и анализ неопределённостей

Модуль позволяет настраивать модель на историю разработки в автоматизированном режиме, проводить анализ неопределённостей и оптимизацию. Модуль содержит графический интерфейс для контроля процесса расчёта на кластере или рабочей станции и анализа результатов.

### Ключевая функциональность:

- Дизайн экспериментов: Латинский гиперкуб, Перебор по сетке, Торнадо, Плэкетт-Берман, Монте- Карло, Бокс-Бенкен, Пользовательский.
- Оптимационные алгоритмы: Дифференциальная эволюция, Метод роя частиц, Симплекс-метод (Нелдер-Мид), Метод поверхностей отклика (Прокси-модели), Искусственный Интеллект, Ансамбль, Внешние алгоритмы (Python).
- Поддержка многоокритериальной оптимизации для алгоритмов Дифференциальная эволюция и Метод роя частиц.
- Дискретное косинусное преобразование Фурье (DCT алгоритм).
- Произвольные целевые функции, учёт RFT/MDT, оптимизация по чистой приведённой стоимости NPV, UDQ, пользовательские функции, заданные через скрипты Python.
- Графики, таблицы, гистограммы, кроссплоты для сравнения вариантов модели.
- Аналитика: диаграмма Парето, корреляция Пирсона и Спирмена, диаграмма Торнадо, многоточечное шкалирование MDS, кластеризация, таблица коэффициентов R2.
- Квантили P10, P50, P90 и другие.
- Создание и работа с Прокси-моделями (квадратичная аппроксимация и нейронные сети).
- Оптимизация на прогнозе, подбор оптимального положения и траектории скважин.
- Поддержка workflow в виде скриптов Python для интеграции с Дизайнером Геологии и Моделей для проведения полного цикла адаптации и анализа неопределённостей для переменных из workflow.
- Модуль интегрирован с очередью задач.
- Расчёт на рабочей станции или на кластере. Управление мышью очередью задач на кластере и удалённый графический интерфейс.



## Интеграция

При комбинации модулей Дизайнера Геологии, Дизайнера Моделей, расчётного модуля (чёрная нефть, композиционная модель или термическая модель), PVT Дизайнера, Дизайнера Скважин, Автоматизированной адаптации в едином графическом интерфейсе может быть осуществлено построение геологической модели с нуля, построена и рассчитана гидродинамическая модель, выполнены анализ результатов, автоматизированная адаптация, анализ неопределённостей и оптимизация.

## Интегрированное моделирование

Модуль Автоматизированной адаптации обеспечивает комплексный анализ чувствительности результатов моделирования при изменении статических и динамических параметров, заданных в граfe построения модели (workflow). Workflow может включать пошаговое построение структурной модели в Дизайнере Геологии, за которым следует подтягивание сейсмических горизонтов к маркерам, создание сетки, пересштабирование (upscaling), интерполяция свойств методом SGS и инициализация гидродинамической модели со статическими и динамическими переменными для анализа неопределённости.



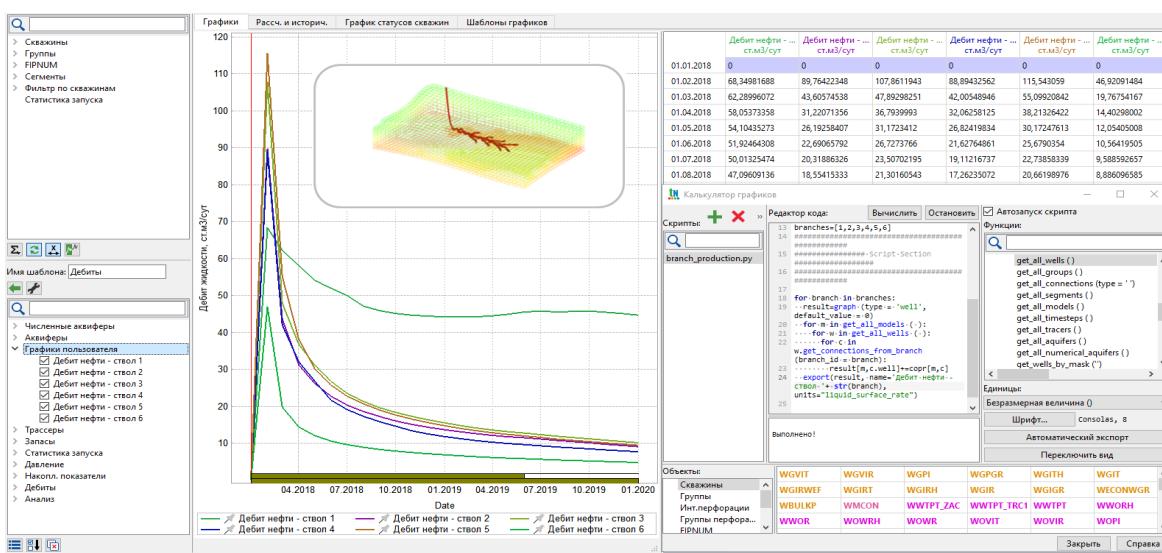
## Графический интерфейс

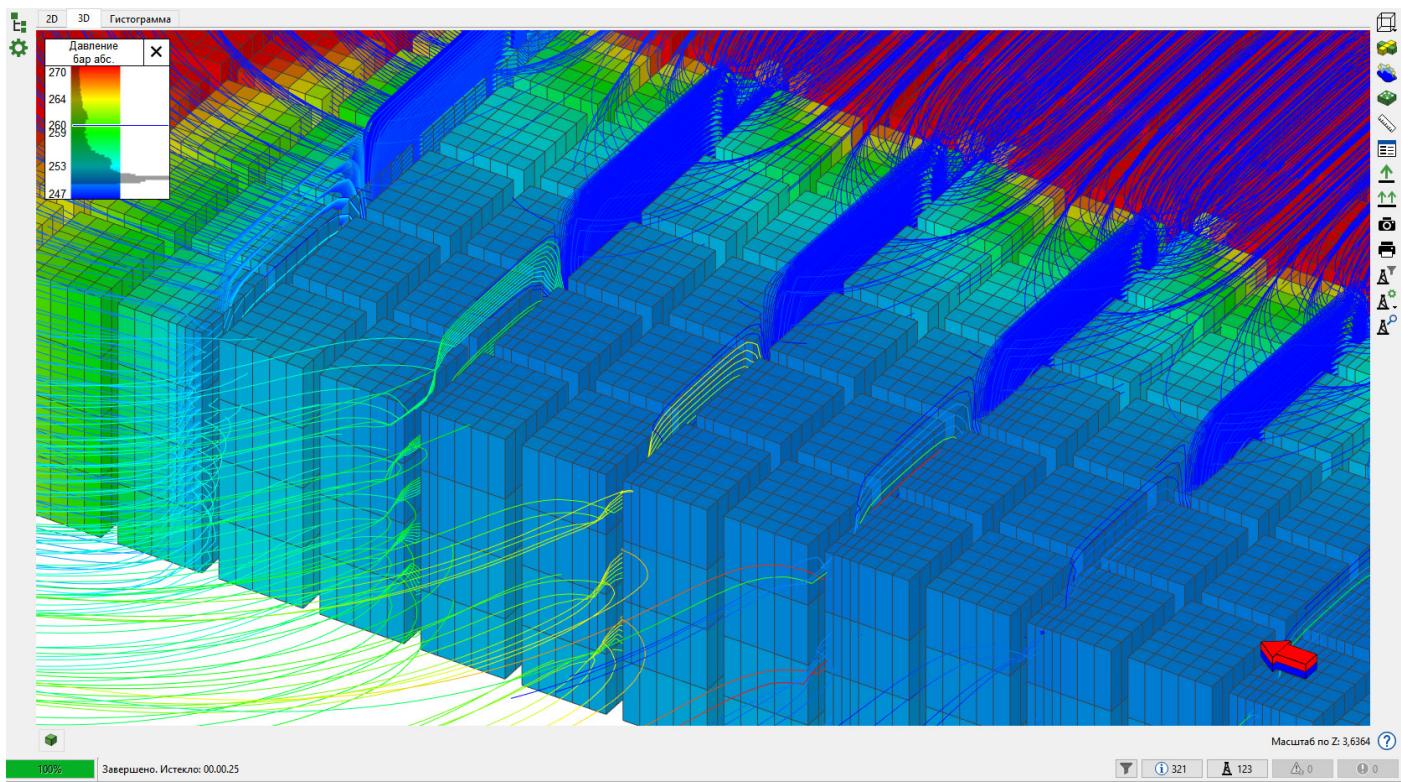
В тНавигатор пользователю доступен мониторинг расчёта модели и анализ результатов в едином графическом интерфейсе.

Графический интерфейс тНавигатор является общим для всех расчётных модулей и графических модулей. Графический интерфейс может использоваться независимо для просмотра результатов расчётов, полученных тНавигатор и сторонними ПО (в виде бинарных файлов), или интегрироваться с расчётным модулем для интерактивного запуска расчёта модели и мониторинга результатов расчёта на выбранных временных шагах. Распределение начальных и рассчитанных свойств сетки может быть представлено на 2D, 3D, сечениях, разрезах по скважинам, гистограммах. Рассчитанные и исторические данные по добыче могут показываться в виде графиков, кроссплотов, таблиц, секторных диаграмм и профилей вдоль траекторий скважин. Данные ГИС, траектории могут быть загружены для сравнения с динамическими профилями притока и давления. На каждом шаге, рассчитанное давление в ячейках сетки используется для трассировки 2D и 3D линий тока. На 2D могут быть отображены изолинии, а также наложены загруженные пользовательские контуры.

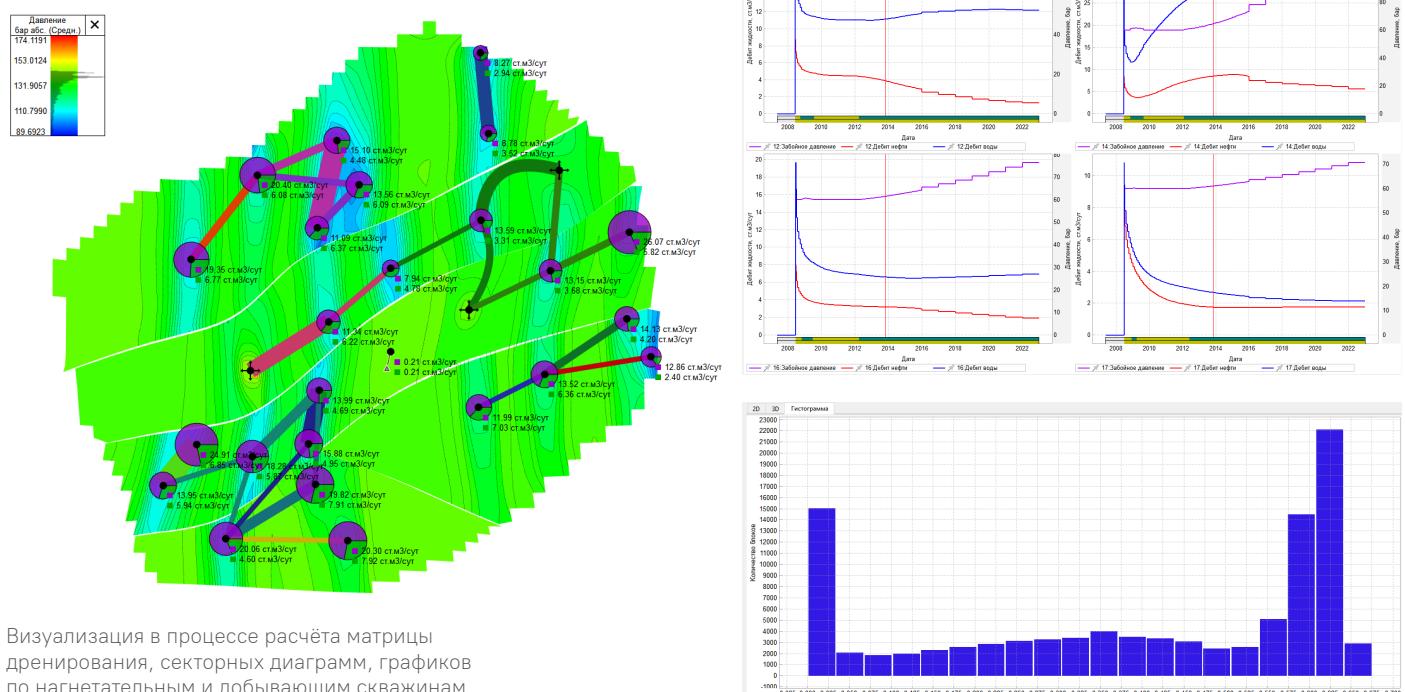
### Ключевая функциональность:

- Управление мышью запуском и остановкой расчёта, рестарты.
- Визуализация свойств в 2D и 3D и графиков в процессе расчёта.
- Результаты расчёта представляются в виде таблиц, графиков, секторных диаграмм, кроссплотов, гистограмм, профилей скважин, отчётов различных стандартов.
- Калькулятор графиков для построения произвольных графиков с помощью скриптов Python.
- Анализ заводнения: интерактивная закачка трассеров, линии тока, таблицы и графики дренирования.
- Секторное моделирование: автоматическое разрезание и сборка модели.
- Арифметика пользователя: создание произвольных карт и фильтров для анализа данных.
- Дополнительная опция удалённого графического интерфейса для управления расчётом на кластере.



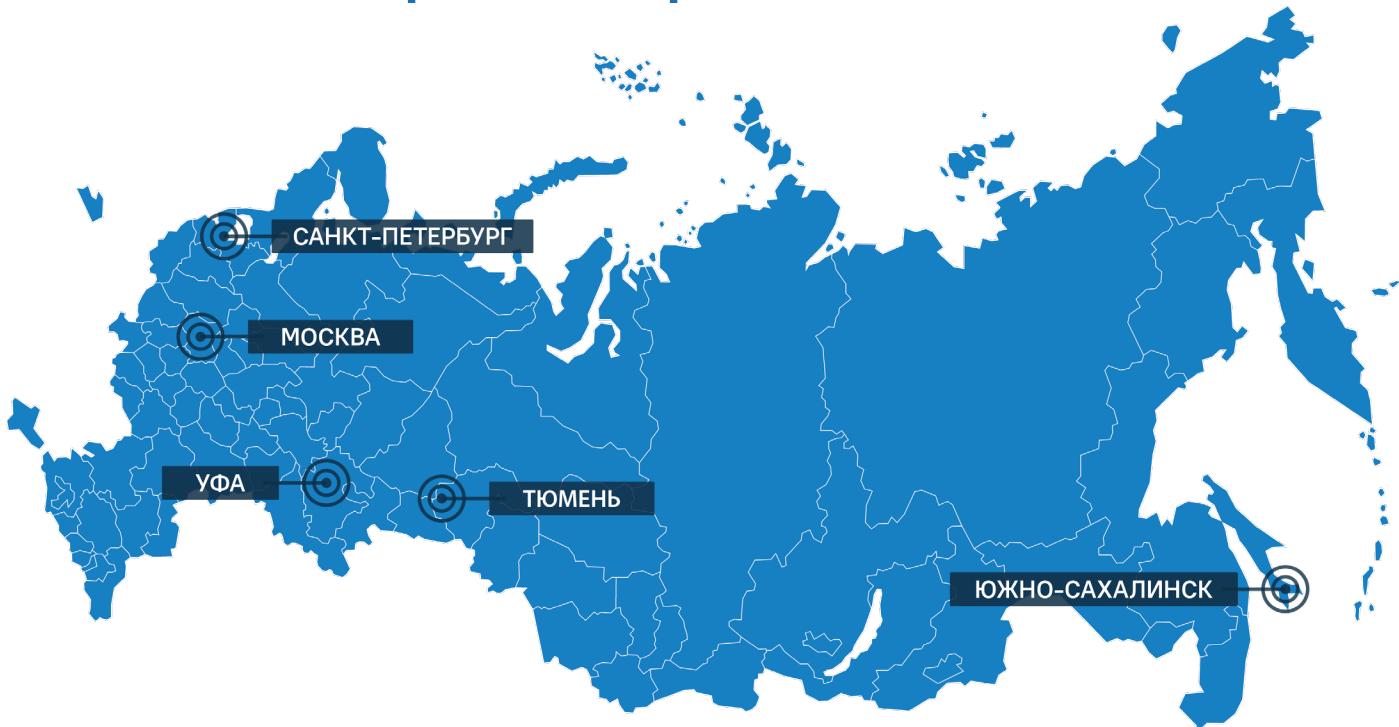


# Моделирование многостадийного ГРП с 3D линиями тока для сланцевого месторождения



Визуализация в процессе расчёта матрицы дренирования, секторных диаграмм, графиков по нагнетательным и добывающим скважинам, гистограммы распределения по блокам насыщенности нефтью

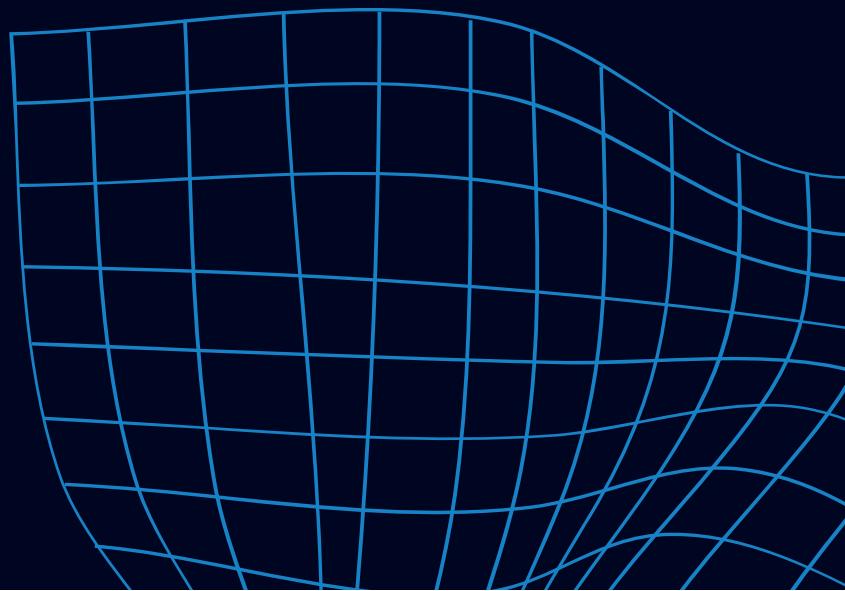
## Открыто 5 офисов в России



**RFD**

<b>Россия</b>	Москва Тюмень Санкт-Петербург Уфа Южно-Сахалинск
<b>Казахстан</b>	Нур-Султан

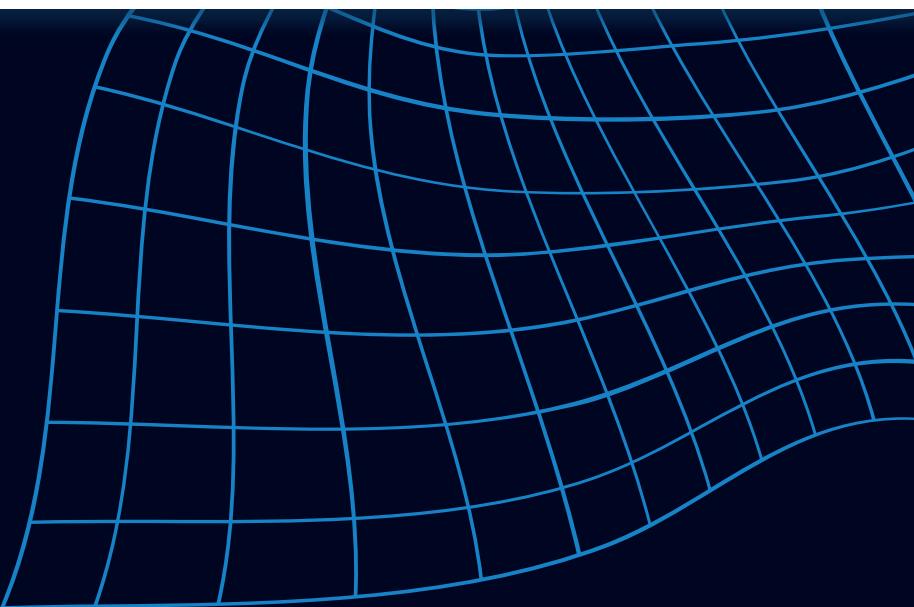




# тNAVIGATOR

🌐 [www.rfdyn.ru](http://www.rfdyn.ru)

✉ [tNavigator@rfdyn.ru](mailto:tNavigator@rfdyn.ru)



**РФД**

Российский Фонд Доступа к информации