



ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

RN-КИМ

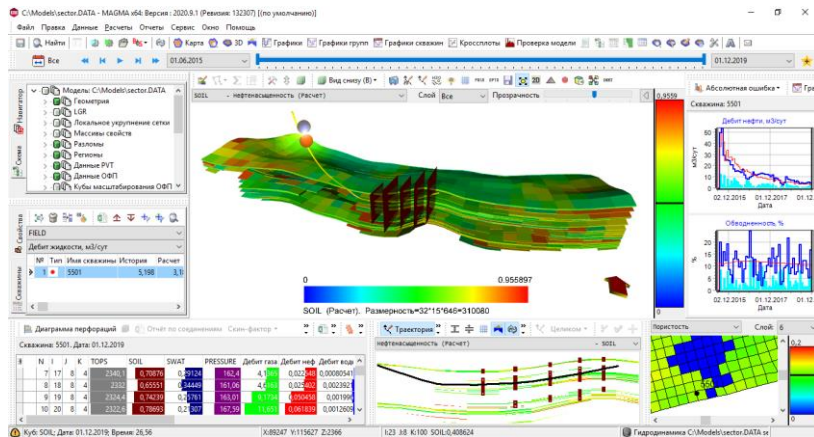
ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ



Гидродинамическое моделирование

Описание

Гидродинамический симулятор RN-KIM — комплексное высокопроизводительное решение для трехмерного цифрового моделирования процессов разработки всех типов месторождений



ГЛАВНОЕ ОКНО ПРИЛОЖЕНИЯ



600+
пользователей



1500+
моделей ежегодно

Преимущества

- Пройдена экспертиза ГКЗ, тесты SPE
- Высоточная модель расчета трещин ГРП
- Совместимость форматов с ПО Eclipse, Tempest More, tNavigator
- Интеграция с ПО для моделирования системы пласт-скважина-поверхность IPM Suite от компании Petroleum Experts
- Полностью неявная дискретизация по времени (Full Implicit)
- Эффективный линейный решатель (CPR + AMG, CPR + AIPS)
- Ускорение до 24-х раз на 32-х узла кластера

Планы развития до 2023 года

- Развитие композиционных версий (сочетание с опцией Network, версия для кластерных систем)
- Учет вторичной трещиноватости сетками REVI
- Учет геомеханики совместно с ПО РН-ГРИД и РН-СИГМА
- Комплексирование с результатами ПГИ и ГДИС

Сравнение РН–КИМ с аналогами

Ключевая функциональность	РН–КИМ	Eclipse Office	Tempest More	tNavigator
1, 2-х и 3-х фазная фильтрация Black–Oil	Все сочетания фаз, включая VaporOil и WetGas	Все сочетания фаз, включая VaporOil	Все сочетания фаз, включая VaporOil и WetGas	Кроме однофазной модели с водой
Композиционная модель пласта	N–компонентное равновесие нефть–газ Изотермическая постановка	E300 – изотермическая постановка E500 – термальная постановка	N–компонентное равновесие вода–нефть–газ Изотермическая и термическая постановки	N–компонентное равновесие вода–нефть–газ Изотермическая и термическая постановки
Интегрированное моделирование	Опция Network Расчет Black–Oil upstream совместно с ПО IPM Suite/Petex	Опция Network Расчет upstream совместно с ПО IPM Suite/Petex	Опция Network Расчет upstream совместно с ПО METTE/Roxar	Опция Network Расчет upstream совместно с ПО IPM Suite/Petex и полностью неявно
Термальная опция	Нет	E500 – термальная постановка	Есть	Есть
Трещины ГРП	Метод источников имеет большую прогнозную точность чем у аналогов Метод измельчения, в том числе вторичная трещиноватость	Только совместно с Petrel – через экспорт виртуальных перфораций	Метод источников	Метод источников Метод измельчения, в том числе вторичная трещиноватость
Двойная пористость/проницаемость	Есть	Есть	Есть	Есть
Многоствольные многосегментные скважины с УКП	Есть	Есть	Нет	Есть
МУН	Полимеры Соли ПАВ Нанополимеры (BrightWater)	Полимеры Соли ПАВ Щелочи ASP–заводнение	Полимеры Соли	Полимеры Соли ПАВ Нанополимеры (BrightWater) Щелочи Растворители ASP–заводнение
Учет геомеханических эффектов	ROCKTAB	ROCKTAB	Нет	Единая геомеханическая модель
Химические реакции, внутрипластовое горение	Нет	Есть в E300/E500	Нет	Нет
Параллельные расчеты на графических ускорителях	NVIDIA CUDA	Нет	Нет	NVIDIA CUDA
Параллельные расчеты на кластерных системах	OpenMP, MPI	MPI	MPI	OpenMP, MPI
Автоадаптация и многовариантные расчеты	Совместно с РН–ГЕОСИМ – настройка модели на историю разработки при помощи модификации геологической основы	Совместно с Petrel – анализ геологической неопределенности	Совместно с Enable – Big–Loop WorkFlow (анализ геологической неопределенности)	Настройка модели на историю разработки при помощи модификации геологической основы
Учет нелинейных эффектов для низкопроницаемых коллекторов	Учет отклонения от закона Дарси	Учет отклонения от закона Дарси	Нет	Учет отклонения от закона Дарси

Промышленное применение РН-КИМ



Технологии моделирования процессов нефтедобычи

- Горизонтальные скважины с МГРП
- Многосегментные скважины с УКП
- Водогазовое воздействие
- Смешивающееся вытеснение
- Полимерное заводнение
- Закачка полимеров по технологии BrightWater
- Трассерные исследования

Проектирование разработки

**Создание
3D-
гидродинамических
моделей**

**Анализ
выработки
запасов**

**Анализ
базовой
добычи**

**Анализ
системы
ППД**

**Анализ
фонда
скважин**

**Обоснование
системы
разработки**

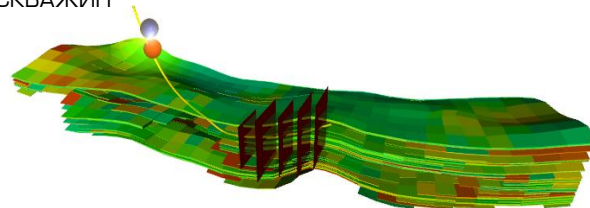
**Рейтинг
бурения
скважин**

**Подбор и
анализ ГТМ**

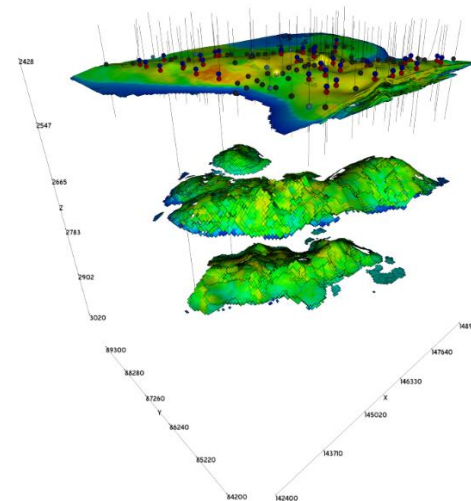
**Расчет
уровней
добычи**

**Подготовка
ПТД**

ОТ ДЕТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ СКВАЖИН



К ПОЛНОМАСШТАБНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ЦЕЛОМ

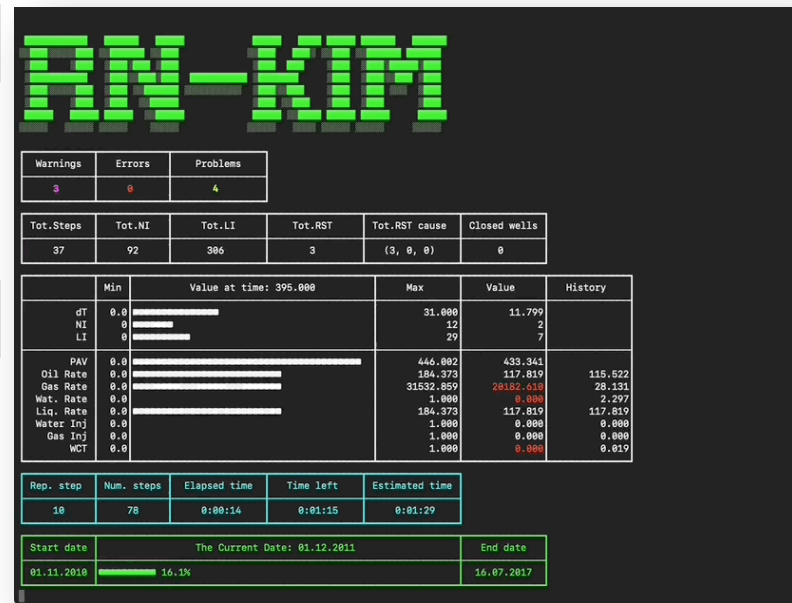


Модели фильтрации

- Одно-, двух- и трех-фазная фильтрация Black–Oil, включая VaporOil и WetGas
- Изотермическая композиционная версия
- Модель двойной пористости/проницаемости

Модели пласта и скважин

- Геометрия угловой точки и блочно–центрированная
- Разломы, несоседние соединения, локальное измельчение и укрупнение сетки
- Водоносные пласты, опция граничных условий FLUX
- Гистерезис ОФП и капиллярных сил, зависимость пористости и проницаемости пласта от давления
- Рассолонение коллектора, зависимость ОФП от закачиваемых примесей
- Трехпараметрическая модель скважины с учетом перетоков по стволу (crossflow)
- Моделирование притока к трещине ГРП бесконечной и конечной проводимости



ЛОГИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

Матрица функциональности РН-КИМ

Сочетание опций РН–КИМ между собой	Трассеры	Полимеры	Соли	ПАВ	Смешивающееся вытеснение (black oil)	Двойные среды	Многосегментные скважины	Опция NETWORK	Пользовательские вектора (UDQ)	Гистерезис ОФП и капиллярных сил	Жирный газ	Локальное укрупнение сетки (Coarsen)	Расчеты на графических ускорителях (GPU)	Опция разрезания моделей (FLUX)	Локальное измельчение сетки (LGR)	Рестарты вычислений	API на Python	Композиционная версия	Кластерная версия	Интеграция с IPM PETEX	Закачка ПАВ по технологии Bright Water	Рассолонение коллектора	Моделирование ГРП и зоны SRV с помощью автоLGR	Групповой контроль с приоритетами
Полимеры																								
Соли																								
ПАВ																								
Смешивающееся вытеснение (black oil)																								
Двойные среды																								
Многосегментные скважины																								
Опция NETWORK																								
Пользовательские вектора (UDQ)																								
Гистерезис ОФП и капиллярных сил																								
Жирный газ																								
Локальное укрупнение сетки (Coarsen)																								
Расчеты на графических ускорителях (GPU)																								
Опция разрезания моделей (FLUX)																								
Локальное измельчение сетки (LGR)																								
Рестарты вычислений																								
API на Python																								
Композиционная версия																								
Кластерная версия																								
Интеграция с IPM PETEX																								
Закачка ПАВ по технологии Bright Water																								
Рассолонение коллектора																								
Моделирование ГРП и зоны SRV с помощью автоLGR																								
Групповой контроль с приоритетами																								

Доступно
 В работе
 Возможность реализации при наличии производственной потребности

Интегрированное рабочее место инженера-гидродинамика

Входные данные

Создание гидродинамической модели (ГДМ)

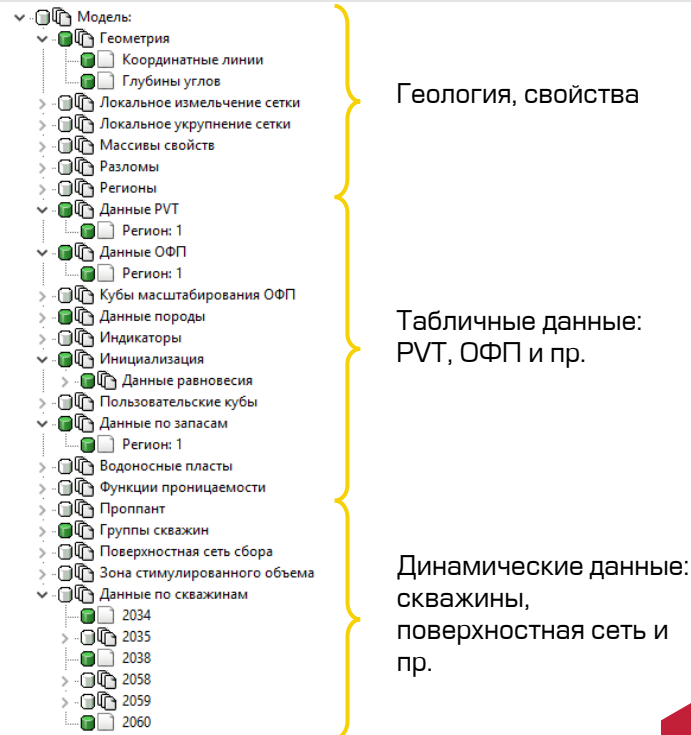
- Импорт геологической модели формата коммерческих геологических пакетов Petrel, IRAP-RMS, RN-ГЕОСИМ



- Импорт табличных данных (PVT, ОФП и пр.), принятых в отрасли форматов
- Импорт скважинных данных: траекторий, перфораций, МЭР, технологических режимов в форматах *.csv, *.txt, *.ev, *.vol
- Конвертация ГДМ из форматов симуляторов-аналогов (ПО Eclipse, tNavigator, Tempest More) в формат RN-КИМ



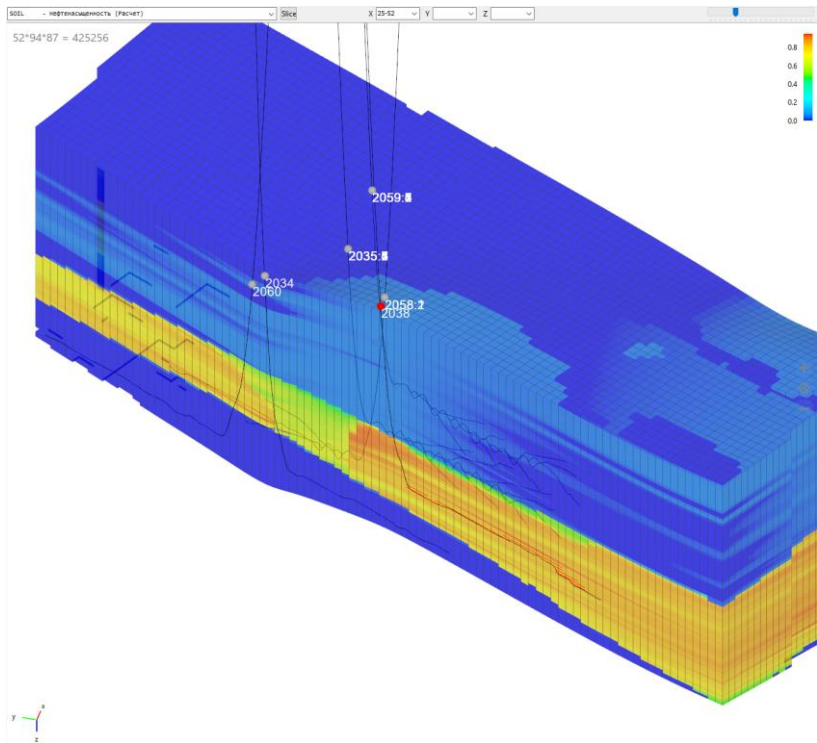
Дерево данных ГДМ



Интегрированное рабочее место инженера-гидродинамика

3D-визуализация

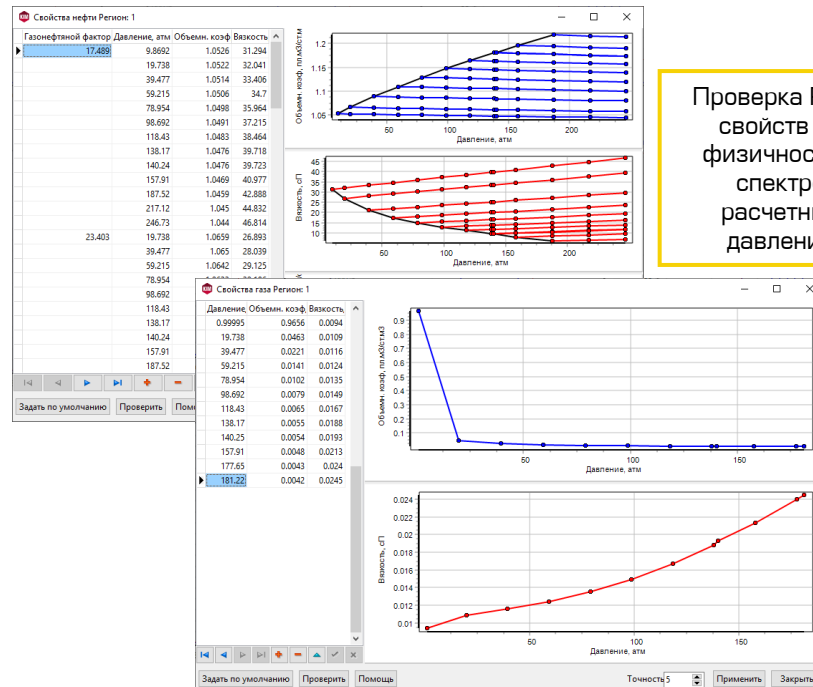
Визуализация и редактирование свойств



Доступные инструменты

- Редактирование кубов в ручном режиме с помощью кисти в 3D и в автоматическом режиме по заданному сценарию
- Построение 2D карт с возможностью экспорта в форматы *.irap, *.dat, *.grd
- Импорт и экспорт контуров формата *.txt, *.ctr, *.ctl, *.irap и др.
- Гибкие настройки визуализации элементов сцены 3D (сетки, скважин, трещин ГРП и пр.)
- Высокопроизводительное 3D, способное визуализировать ГДМ до 1 млрд. активных ячеек

Визуализация и редактирование PVT



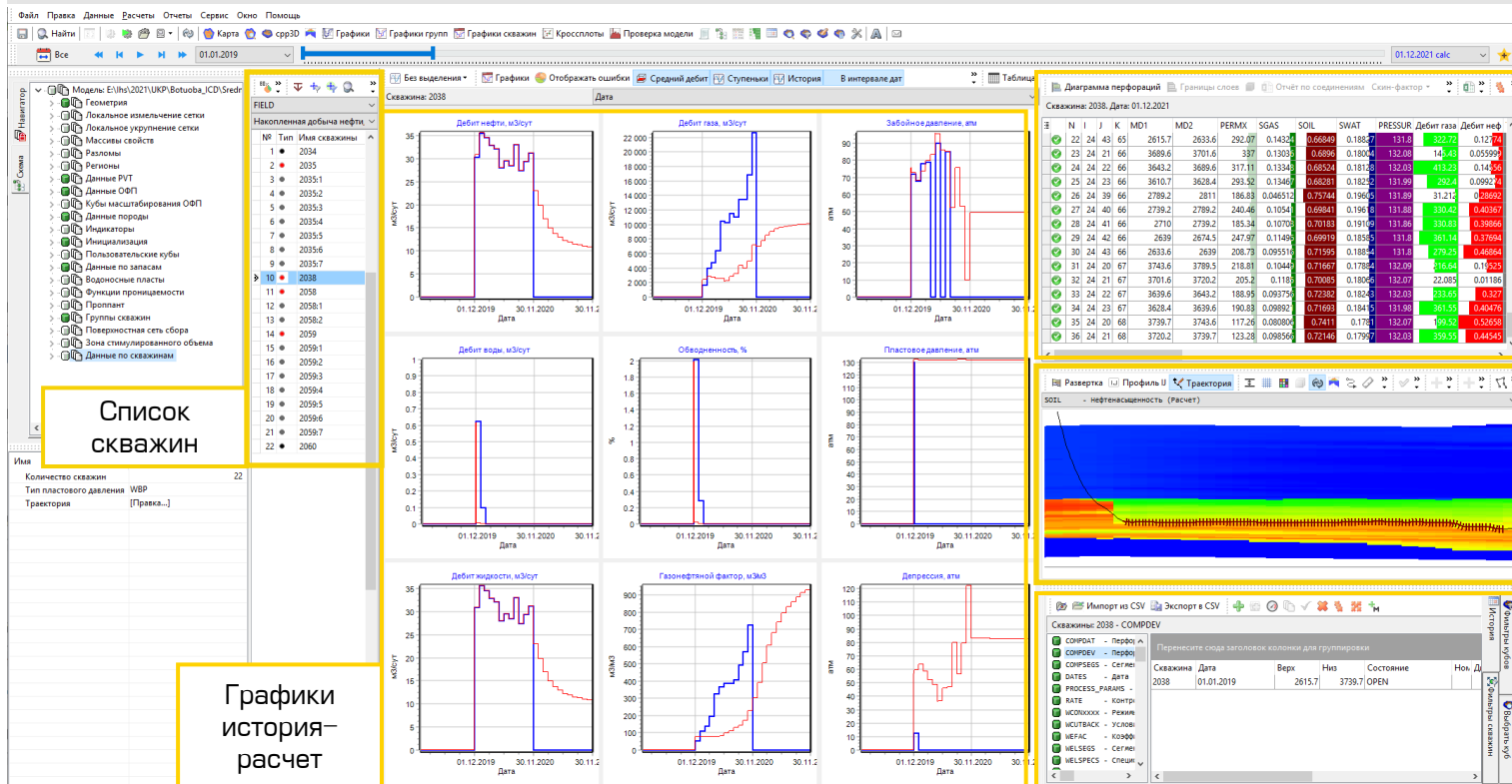
Проверка PVT-свойств на физичность в спектре расчетных давлений

Автоматические
проверки качества
заданных кривых и
согласованности
концевых точек

Интегрированное рабочее место инженера-гидродинамика

Работа со скважинами

Интерактивная работа со скважинами



Данные по перфорациям

Профиль вдоль траектории

Редактор ключевых слов

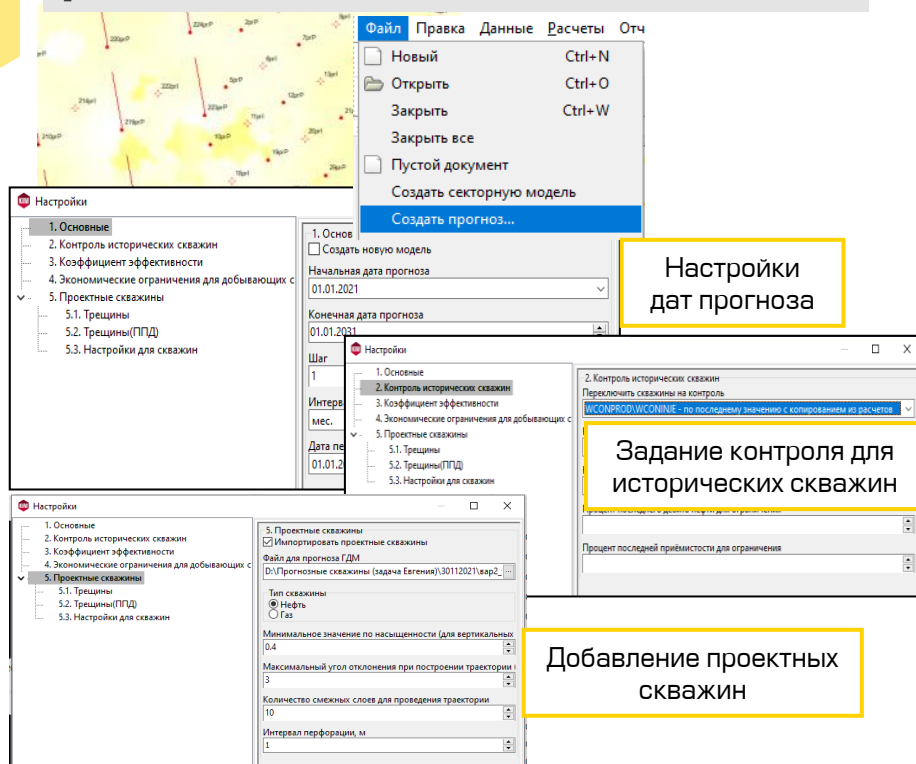
Графики история-расчет

Интегрированное рабочее место инженера-гидродинамика

Расчет прогнозных вариантов разработки

Инструмент создания прогнозных расчетов

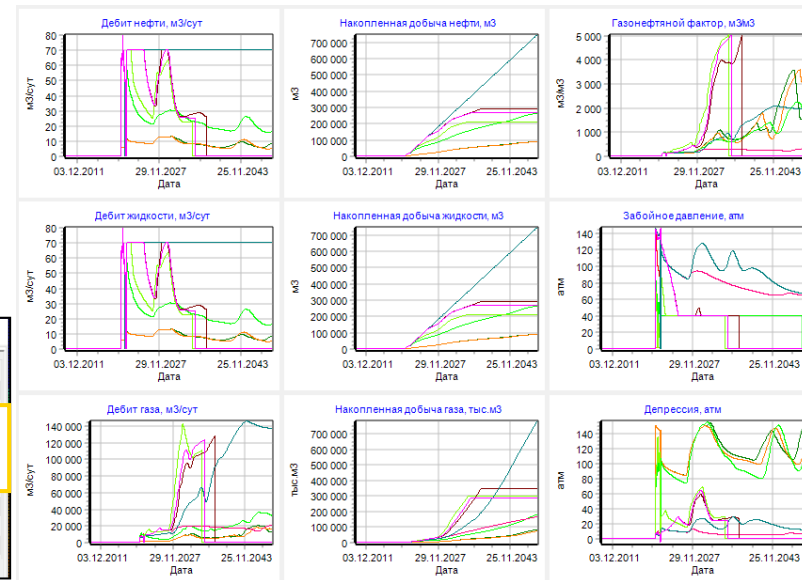
Сравнение полученных вариантов



Настройки дат прогноза

Задание контроля для исторических скважин

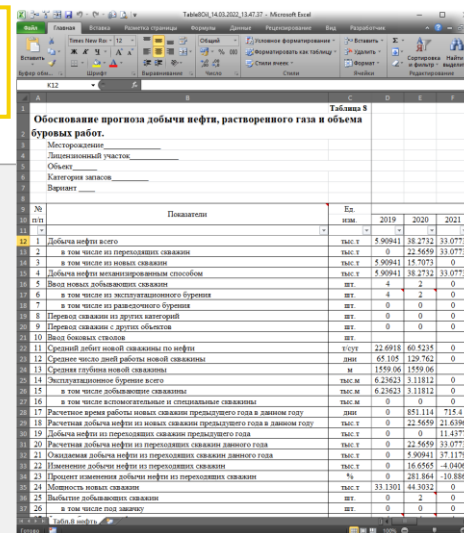
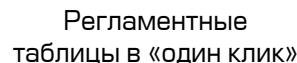
Добавление проектных скважин



Совместное отображение любого количества вариантов с
возможностью экспорта графиков в MS Excel

МИКА
РОСНЕФТЬ

Автоматизация построения отчетных форм для ГКЗ (регламентные таблицы, глава ПТД 4.2 «Гидродинамическая модель месторождения»)



Отчеты Сервис Окно Помощь

Добыча

Скважины

Запасы

Кубы и сетки

Таблица 8

Таблица 1

Таблица 5 нефть

Таблица Г

Кроссплоты

Отчёт по линиям тока

Паспорт модели

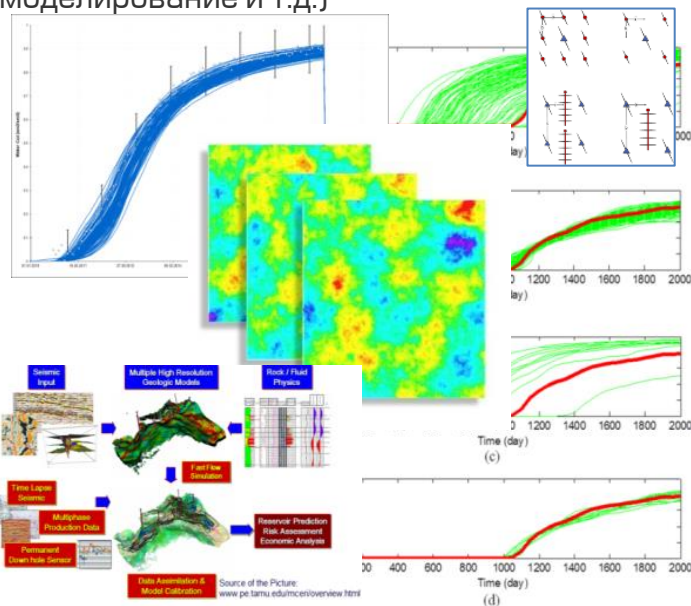
Отчёт ГДМ

Паспорт геолого-технологической модели

Автоадаптация и многовариантные расчеты

Многовариантное моделирование

- Инструменты постановки и решения множества оптимизационных задач моделирования ГДМ
- Все стандартные алгоритмы оптимизации (градиентные, эволюционные, прокси-моделирование и т.д.)



Расчёты и визуализация

- Локальный последовательный расчёт ГДМ и параллельный расчёт на вычислительном кластере
- Визуализация результатов многовариантных расчётов с помощью стандартных графиков
- Построение детальных отчётов по любому варианту и массовых отчётов по набору вариантов

Оптимизация систем разработки

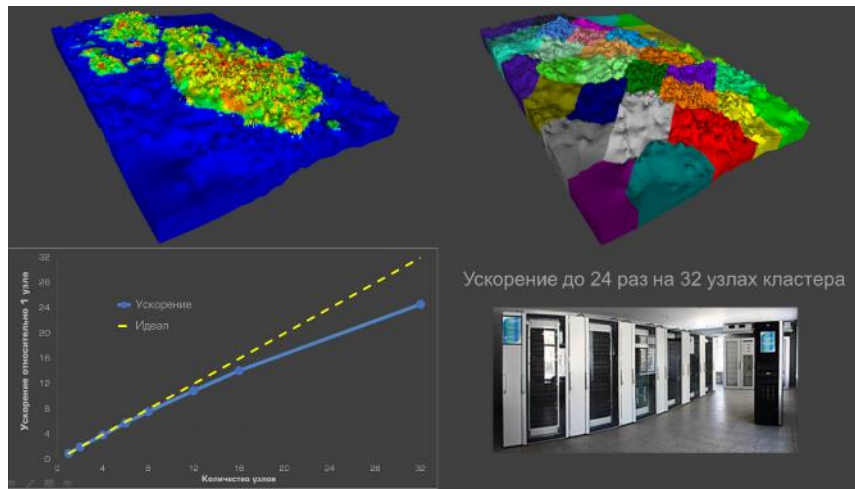
- Варьирование и оптимизация всех параметров площадных систем разработки: плотность сетки, длина ствола, длины трещины, направление трещины, забойные давления, т.д.
- Лёгкое создание собственных систем разработки
- Совместное варьирование экономических, технологических и геологических параметров
- Расчёт экономики по утвержденным и собственным моделям

Высокопроизводительные расчеты



Современные архитектуры

- Многопоточная версия (OpenMP)
- Кластерная версия (MPI)
- Версия для графических ускорителей NVIDIA CUDA



Кластерная версия

- Ускорение до 24-х раз на 32-х узла кластера
- Методы декомпозиции области моделирования с учетом активности ячеек, скважин и трещин ГРП: геометрический и графовый
- Возможность считать ГДМ более 100 млн. активных ячеек

Версия для графических ускорителей

- На GPU перенесен этап решения СЛАУ
- В среднем ускоряет расчет в 1,6 раза относительно CPU
- Различные предобуславливатели (CPR, AIPS)
- Протестировано на ускорителях линеек: Tesla, Quadro, GeForce

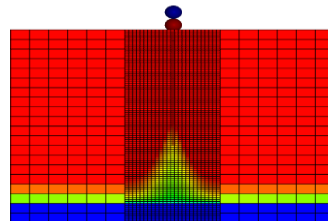
Моделирование нефтяных оторочек

Многосегментные скважины с устройствами контроля притока

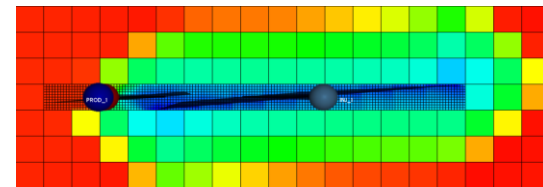
- Учет многоствольной топологии (вертикальные, горизонтальные и многозабойные скважины)
- Учет устройств контроля притока (УКП): штуцеры, докритические клапаны, лабиринтные УКП, спиральные УКП, автономные УКП, и др.
- Учет потерь давления по стволу скважины (встроенные модели однородного потока и скольжения «дрейф потока», интерполяция VFP)
- Интерактивное редактирование интервалов расстановки пакеров и количества УКП в секциях скважин

Детализация притока к скважине

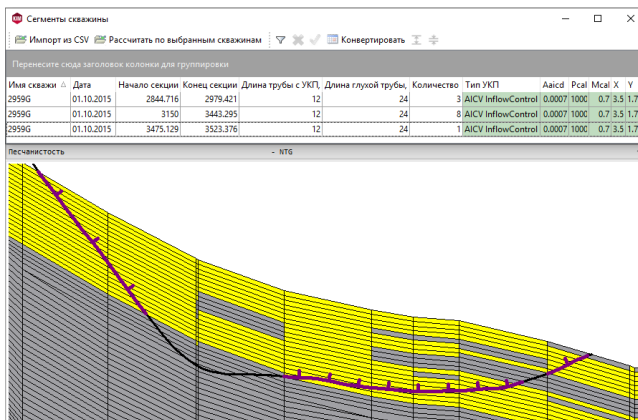
- Локальные измельчения и укрупнения сетки
- Автоматическое измельчение ячеек вокруг скважин с разной системой заканчивания для детализации притока к скважине и трещине ГРП



ГРАДИЕНТНАЯ ВОРОНКА



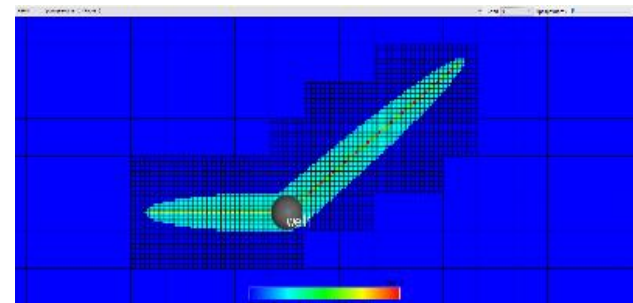
ПРОРЫВ ТРЕЩИНЫ АВТО-ГРП ОТ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ К ДОБЫВАЮЩЕЙ



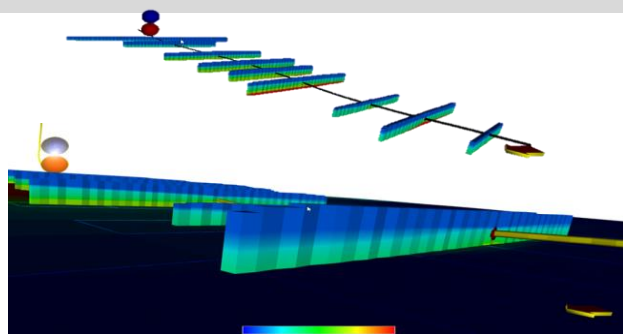
РАЗБИЕНИЕ НА СЕКЦИИ ВДОЛЬ ПРОФИЛЯ ТРАЕКТОРИИ СКВАЖИНЫ

Стимулированный объем (зона SRV)

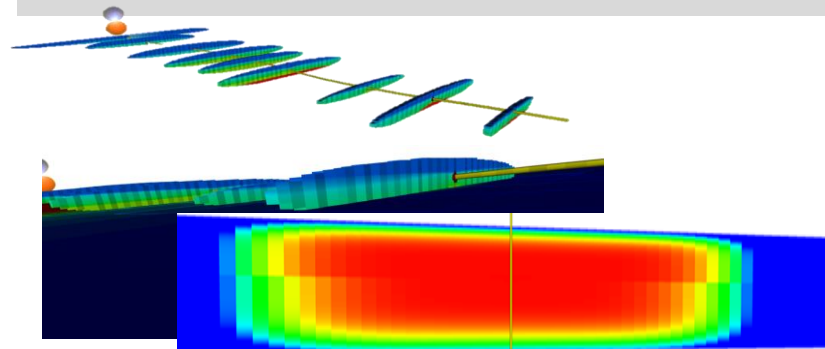
- Задание траектории трещины ГРП и точки привязки траектории трещины к траектории скважины
- Задание размеров и формы зоны SRV
- Задание параметров и типа измельчения (равномерное, логарифмическое)
- Изменение в ячейках трещины ГРП и зоны SRV таких свойств, как проницаемость, пористость, насыщенности, регионы уплотнения породы и пр.
- Интерактивное редактирование параметров трещин ГРП, заданных, в том числе, с помощью автоматического локального измельчения сетки



Прямоугольные трещины ГРП



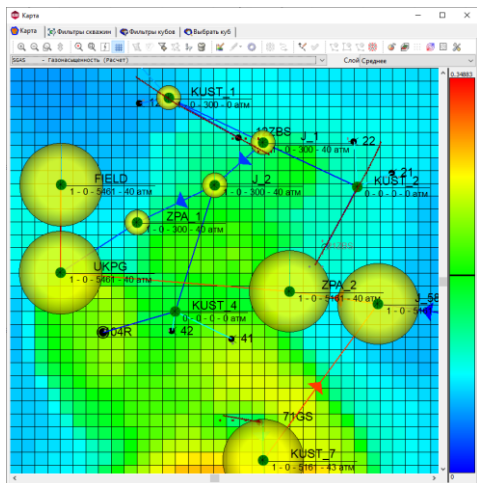
Овальные трещины ГРП



Интегрированное моделирование

Опция Network для моделирования поверхностной инфраструктуры

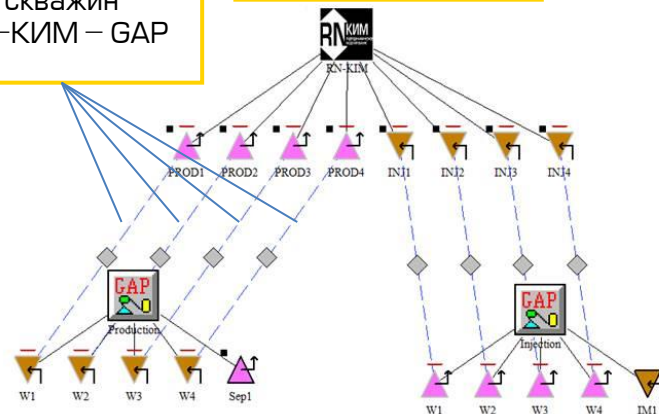
- Учет пропускной способности поверхностной инфраструктуры
- Моделирование компрессоров
- Моделирование нагнетательных сетей
- Учет эффекта передавливания скважин
- Визуализация структуры сети, потоков и давлений



Совместимость с IPM Suite от Petroleum Experts для мониторинга разработки

Попарные
соответствия
скважин
РН-КИМ – GAP

ГДМ формата
РН-КИМ



Проект **GAP**
добывающей сети

Проект **GAP**
газонагнетательной
сети

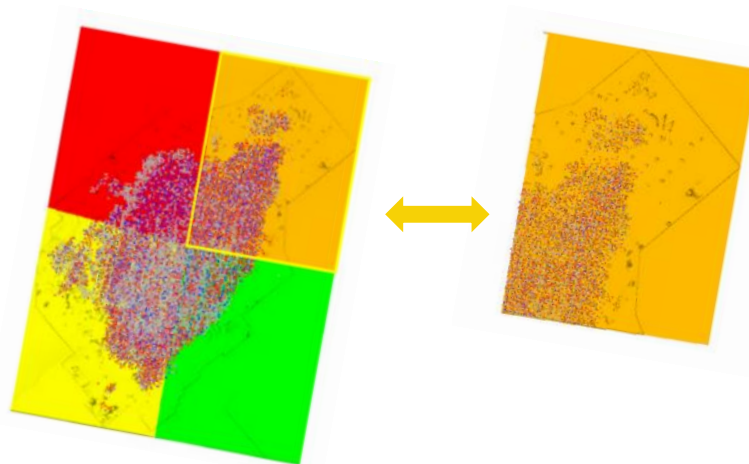
Работа с крупными месторождениями

Оптимизации без декомпозиции ГДМ

- Возможность работы с гигантскими ГДМ (вплоть до 1 млрд. ячеек и 10 000 скважин)
- Инициализация без запуска на расчет
- Онлайн просмотр графиков во время расчета
- Быстрые рестарты по «бегунку дат»
- Оптимизация расчета ГДМ с большим количеством трещин ГРП
- Инструменты для upscaling и downscaling ГДМ, а также добавления локальных измельчений и укрупнений сетки
- 3D-визуализация на графических ускорителях

Декомпозиция большой ГДМ с последующей обратной сшивкой

- Автоматическая корректировка секторов для выполнения всех условий разбиения
- Сохранение перетоков через границы секторов из большой ГДМ при расчете секторных ГДМ

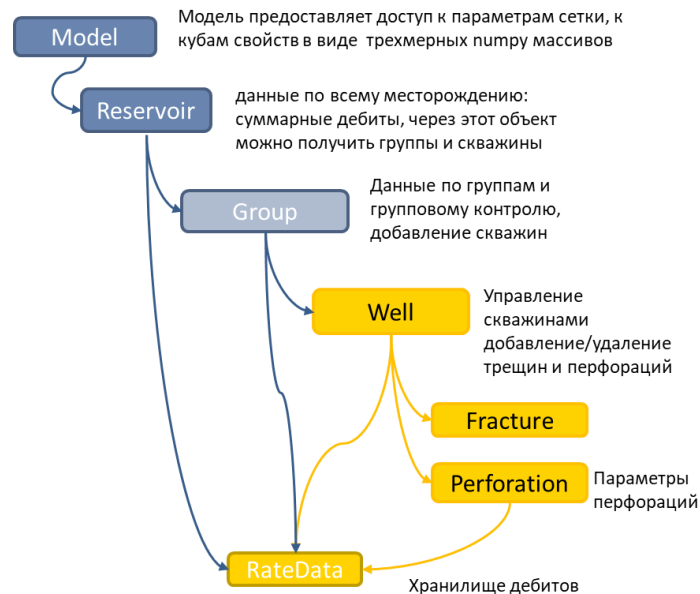


Python-API для расширения функциональности

Расширение функциональных возможностей средствами Python API

- Задание режимов работы скважин
- Перевод добывающих скважин под нагнетание
- Создание и рост трещин ГРП
- Создание трещины по условию
- Закрытие перфорации по условию
- Перевод скважины на другой пласт
- Компенсация добычи
- Модификация ОФП
- Зависимость свойств полимера от времени

Реализован доступ к внутреннему состоянию симулятора





По вопросам тестирования и приобретения

e-mail: commersoft@bnipi.rosneft.ru



<https://rn.digital/rnkim>

Правообладатель: [ПАО «НК «Роснефть»](#)
Разработчик: ООО «РН-БашНИПинефть»
soft@bnipi.rosneft.ru