

tNavigator™

Параллельный интерактивный
гидродинамический симулятор

НЕПРЕВЗОЙДЕННАЯ СКОРОСТЬ РАСЧЕТА!

tNavigator™ — универсальный симулятор для построения и адаптации полномасштабных моделей, а также решения локальных задач разработки в условиях промысла

Высокая скорость расчета

- Ускорение в 10–16 раз на современных рабочих станциях
- Одна лицензия на компьютер вне зависимости от числа процессоров и ядер
- Кластеры: революционная гибридная технология расчета. Ускорение параллельного расчета: от 100 до 1300 и более раз, еще недавно считавшееся недостижимым.

Все основные опции гидродинамической модели:

- Неявная схема расчета.
- Геометрия угловой точки, несоседние соединения, локальное измельчение сетки, разломы и др.
- Опция расчета нескольких залежей (multireservoir).
- Различные режимы контроля скважин (по устьевому давлению, депрессии; различные виды группового контроля с любым числом уровней и узлов).
- Задание разных регионов свойств породы, PVT, равновесия.
- Масштабирование концевых точек кривых ОФП.
- Вертикальные, наклонные, горизонтальные, разветвленные скважины.
- Сегментная и усредненная модели плотности в стволе скважины.
- Аквиферы (Фетковича, Картера-Трейси, постоянного потока, постоянного давления, численный).
- Модели двойной пористости и проницаемости.
- Температурная опция.
- Моделирование трассеров и закачки химических веществ.
- Поверхностное оборудование, компрессоры, штуцеры, таблицы VFP.
- Динамический скинфактор для газа, формула притока GPP.
- Загрузка LAS файлов, траекторий, сравнение с динамическим профилем скважины.

Новые технологии

- Модель скважин с ГПП.
- Блок оптимизации заводнения.

- Полностью автоматическое разрезание моделей на сектора и «сборка» в автоматическом режиме.
- Специальный алгоритм загрузки моделей с большим числом неактивных блоков.
- Интерактивное моделирование трассеров с возможностью имитации эффекта от закачки химических веществ.
- Автоматизированная адаптация и анализ чувствительности.
- Первая интегрированная схема динамического и геомеханического расчетов.

Полностью интерактивное моделирование

- Подготовка модели, анализ в процессе расчета, обработка результатов — все с помощью одного интуитивно понятного многоплатформенного интерфейса.
- Просмотр карт, кубов, показателей добычи в ходе расчета.
- Добавление скважин, перезапуск расчета, создание прогнозной модели в интерактивном режиме.
- Дополнительная аналитика во время расчета: трехмерные трубки тока, графики эффективности заводнения, секторные диаграммы и др.

Прямая поддержка распространенных форматов данных

- Модели в формате E100, Tempest MORE, IMEX конвертируются автоматически прямо во время загрузки.
- Результаты расчета можно сохранить в формате E100.

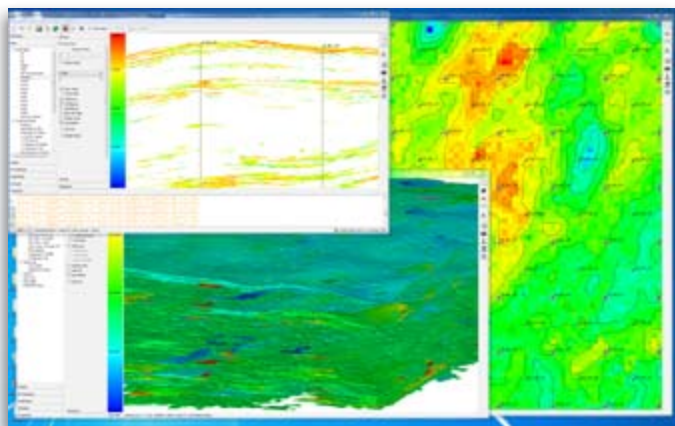
Базовые опции геологического моделирования

- Загрузка и визуализация данных каротажа.
- Гибкий формат загрузки данных по скважинам.
- Арифметика на сетке.
- Интерполяция свойств пласта в межскважинное пространство.
- Детерминистический и стохастический подходы.
- Кригинг. Метод последовательных приближений.
- Сетки Вороного.

СИМУЛЯТОР ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ЗАДАЧ

tNavigator — уникальный инструмент, позволяющий инженерам-разработчикам и геологам интерактивно управлять гидродинамической моделью через интерфейс. Специалисты на промыслах могут оптимизировать заводнение участков разработки, оптимизировать план бурения и геолого-технических мероприятий без использования ключевых слов.

- Инструменты секторного моделирования
- 2D и 3D трубки тока
- Модуль оптимизации заводнения
- Модель скважин с ГРП
- Горизонтальные скважины с множественными ГРП
- Модель ОПЗ
- Модель заколонных перетоков
- Автоматическое создание прогнозной модели
- Проводка горизонтальных стволов
- Полимерное заводнение
- Закачка ПАВ



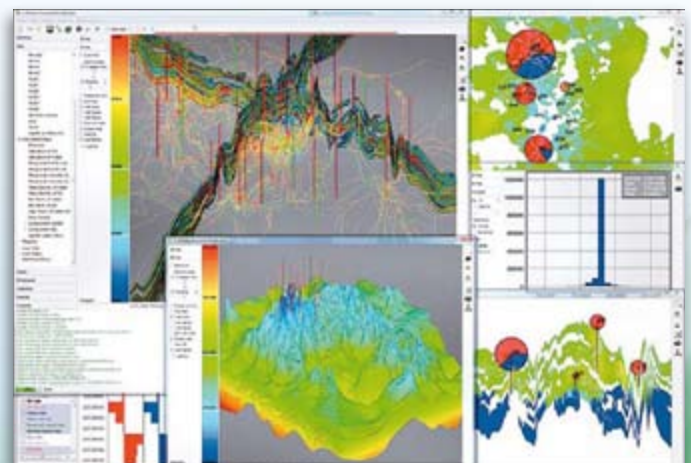
Минимальные сроки обучения

Внедрено на добывающих предприятиях

Процент успешных мероприятий существенно увеличился!

Интерактивное управление моделью в ходе расчета

- Инструменты визуализации полностью совмещены с расчетным блоком симулятора.
- Запуск, остановка и перезапуск с любого временного шага по щелчку клавиши мыши.
- Визуализация свойств пласта и динамики в 2D и 3D, гистограммы, разрезы и т. п.
- Редактирование кубов непосредственно в графическом интерфейсе.
- Секторные диаграммы для визуализации данных добычи, давлений, качества адаптации.
- Графики данных по скважинам, группам, интервалам перфорации, блокам, профили притока по глубине — все доступно в ходе расчета.
- Система очередей для расчета множества моделей с возможностью сравнения результатов.
- Инструменты анализа заводнения: 2D и 3D трубки тока, рассчитанные на каждом шаге по градиенту давления; матрица дренирования; график эффективности закачки и т. п.
- Интерактивное управление трассерами.
- Блок аналитики для адаптации модели.
- Гибкая арифметика для визуализации пользовательских карт.
- Визуализация каротажных данных и сравнение с профилями притока в скважины; карта корреляции данных каротажа и модельных данных.
- Анализ чувствительности и инструменты автоадаптации.



Не нужно ждать окончания расчета!

tNavigator™ — самый быстрый симулятор в отрасли!

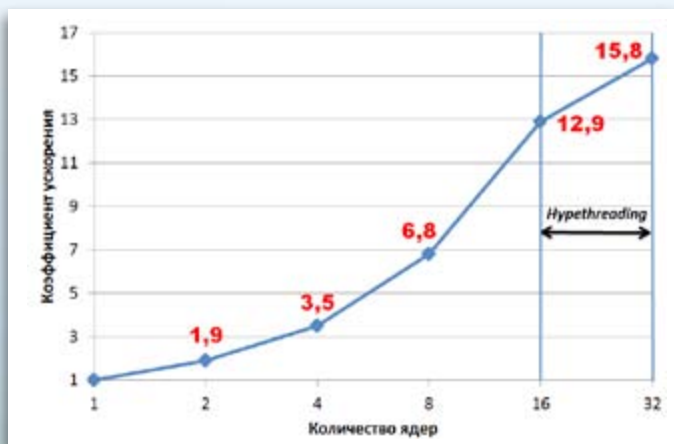
В настоящее время производительность микропроцессоров постоянно растет, за счет увеличения количества ядер. При этом стоимость высокопроизводительной вычислительной техники неуклонно снижается. По сути современная рабочая станция является настоящим суперкомпьютером, способным в разы повысить производительность расчетов гидродинамических моделей. Для этого программное обеспечение должно соответствовать современной архитектуре ЭВМ. Мы знаем, как заставить симулятор распределять вычислительную нагрузку оптимальным образом. Именно поэтому tNavigator просчитывает модели гораздо быстрее любых коммерческих симуляторов.

Рабочие станции

При работе с многоядерными рабочими станциями наилучшие результаты показывают алгоритмы прямого распараллеливания на основе многопоточных технологий. Эта технология требует минимальных вычислительных затрат на обмен данными и оптимальным образом загружает большое количество ядер.

tNavigator эффективно использует возможности современных машин: процессоры с быстрой кэш-памятью, неоднородный доступ к памяти (NUMA), технологию Hyperthreading, создающую дополнительные «виртуальные» ядра в системе. Все компоненты tNavigator полностью параллельны (не только линейный солвер). Распараллеливание на общей памяти происходит на уровне матрицы, а не на уровне сетки. Таким образом достигается гораздо более равномерная балансировка.

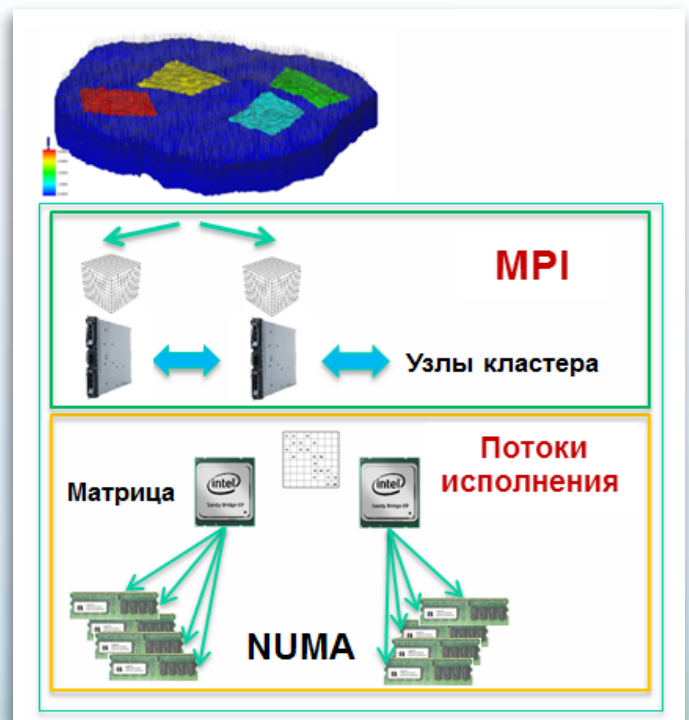
На рисунке показан типичный рост коэффициента ускорения с увеличением количества ядер. При использовании 32 потоков (16 ядер + Hyperthreading) достигается ускорение близкое к 16. В данном случае время расчета исходной модели уменьшено с 20 часов до 1 часа 16 минут.



Гибридные технологии для современных кластеров

В течение последних нескольких лет архитектура кластеров кардинально изменилась. Эти изменения можно считать наиболее значительными за последние 20 лет. Каждый расчетный узел кластера теперь по сути является многоядерным компьютером с неоднородным доступом к памяти. Если при разработке программного обеспечения не учитывать архитектуру системы, производительность падает в разы за счет неэффективного использования процессоров.

В кластерной версии tNavigator предложен принципиально новый подход к параллельным расчетам (SPE 162090, 163090). Основная идея гибридного подхода в симуляторе состоит в том, чтобы на каждой из стадий использовать свой, подходящий именно для нее параллельный алгоритм.



- **Уровень кластера:** модель загружается на кластер, и ее сетка делится на области с одинаковым числом **активных** ячеек; каждый узел получает для расчета свою область.
- **Уровень узла:** распараллеливание между ядрами на уровне **матрицы**.
- В **солвере** интегрированы и MPI для распределенной памяти, и потоки исполнения для разделения нагрузки внутри узла.
- Число MPI процессов равняется числу **узлов**, а не числу **ядер**.

За счет этого алгоритма **tNavigator** преодолевает проблему плохой масштабируемости времени расчета гидродинамических моделей!

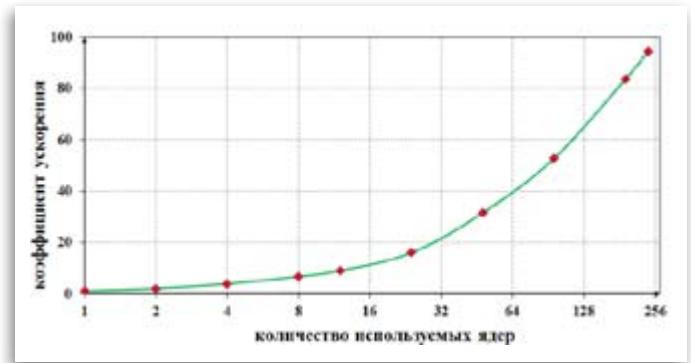
Результаты применения гибридного алгоритма

Тестирование гибридного алгоритма проводилось на кластере компании «РфД», из 20 узлов, 40 CPUs Xeon 5650, 240 ядер, 480 Gb DDR3 1333 MHz RAM, QDR 4x Infiniband (40 Gb/s). Это компактный кластер, который может быть размещен в небольшой серверной комнате.

Для тестирования **гибридной версии tNavigator** была использована трехфазная модель черной нефти одного из крупнейших месторождений мира. Она содержала почти 5 миллионов активных ячеек, более 14 000 скважин, и 43 года истории добычи.



Огромное количество скважин в модели обычно представляет большую сложность для параллельных расчетов. Но даже в этих условиях гибридный алгоритм показал превосходную масштабируемость без признаков насыщения.



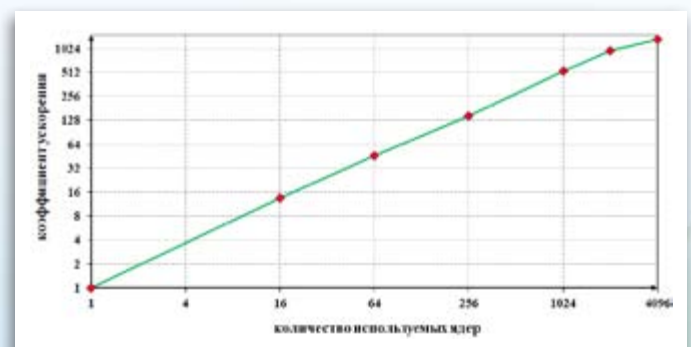
Полное время расчета этой модели составило **39 минут**, в то время как на одном ядре расчет длился **61 час**, таким образом **расчет ускорился в 94 раза!** Для более простых ГД моделей коэффициент ускорения на этом кластере достигал **120**.

Экстремальные задачи

Для изучения пределов возможностей алгоритма мы взяли более мощный кластер из 512 узлов. Каждый узел состоял из двух четырехядерных процессоров Intel® Xeon 5570 Nehalem, т.е. общее число ядер было равно 4096.

Для расчета на этом кластере была выбрана трехфазная модель реального месторождения с 39 скважинами и 10 годами истории добычи. Модель содержала 21,8 миллионов активных ячеек.

Время расчета модели сократилось с **2,5 недель** до **19 минут**. Коэффициент ускорения составил **1328!** Это с уверенностью можно назвать **мировым рекордом** ускорения среди коммерческих продуктов в данной области!



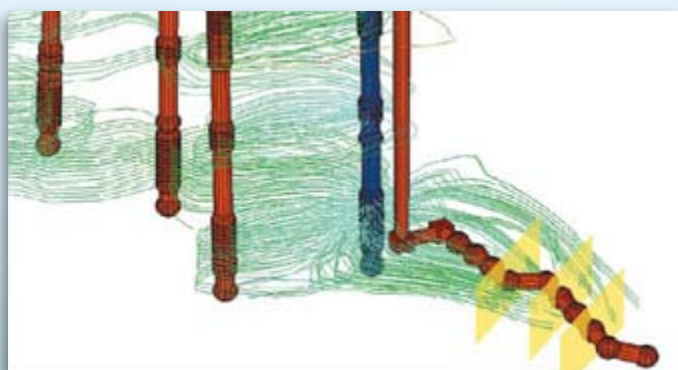
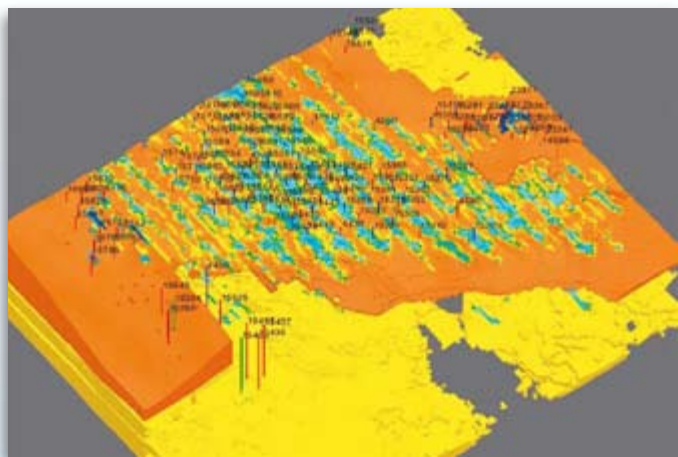
tNavigator™ — моделирование для промысла

tNavigator предлагает принципиально новый подход к использованию гидродинамических моделей. В симуляторе реализован ряд опций, позволяющих проводить оптимизацию заводнения, планировать бурение или проектировать варианты ГТМ. Знания сотен ключевых слов при этом не требуется. Поставьте задачу, и интерфейс все сделает за вас.

Моделирование скважин с ГРП

В tNavigator реализован новый метод моделирования скважин с ГРП. Трещина моделируется как часть скважины: для этого создается сеть «виртуальных» перфораций в ячейках сетки, через которые проходит трещина. Данный подход позволяет адекватно смоделировать приток в скважину с ГРП, а также влияние трещины на течение флюидов в пласте (SPE 138071). Пользователь также может задать геометрию трещины ГРП, скорость вымывания проппанта и зависимость проводимости проппанта от давления.

Технология была успешно опробована на гигантских месторождениях Западной Сибири с большим количеством проведённых ГРП. Метод может эффективно применяться как для вертикальных, так и для горизонтальных скважин с многостадийным ГРП (SPE 147021).



Оптимизация заводнения

Во время расчета на 2D и 3D картах могут быть построены линии тока. На базе линий тока симулятор производит анализ эффективности закачки, создает таблицы и графики влияния нагнетательных скважин на добывающие.



Скважина	Нагнет. скв.		Различные добывающие скважины		
	Жидкость, пласт.п/0	Нефть, ст.п/0	Скважина	Жидкость, пласт.п/0	Нефть, ст.п/0
19	136306	69613.1	Резервуар	48716.5	
			25	33248.6	29615.7
			30	17671.6	31274.6
			51	2988.09	1474.45
			53	950.706	778.875
21	131960	73023.8	Резервуар	19617.7	
			14	31087.4	26066.7
			44	37368.9	32203
24	80126.7	28009.8	Резервуар	25274.6	14754.1
			45	18783.9	
			35	18365.8	6523.01
			38	20298	13475.1
			40	9937.66	7636.46
			50	2061.38	1275.21

Реализована возможность интерактивно изменять систему ППД: закрывать скважины, изменять контроль добывающих и нагнетательных скважин, переводить под нагнетание, добавлять новые скважины и шаблоны скважин. После внесения изменений можно перезапустить модель, проанализировать изменения дебитов, эффективности нагнетания, распределения давления и обводненности; проверить наличие неэффективных нагнетательных скважин удобнее всего по соответствующему графику.

Реализована возможность интерактивного добавления трассеров, позволяющих визуально оценить движение фронта воды.

Секторное моделирование

tNavigator имеет уникальную опцию автоматического разрезания больших моделей на секторные модели. При адаптации и планировании мероприятий в каждый сектор могут вноситься локальные изменения, которые автоматически учитываются при «сборке» в большую модель. Наборы входных данных для секторных моделей содержат все данные исходной модели, которые относятся к этому сектору. При этом размерность маленьких моделей позволяет считать их гораздо быстрее, чем базовую.

Данная технология успешно используется для работы с целым рядом гигантских месторождений Западной Сибири (SPE 162090).

Оптимизация бурения

С помощью мышки можно задать траекторию скважины или бокового ствола, выбрать различные параметры скважины и перфораций, добавить ГПП, запустить несколько сценариев и сразу сравнить их с помощью графического интерфейса. Особенно удобно задавать сложные траектории скважин не только на 2D, 3D картах, но и на произвольных заданных пользователем вертикальных профилях.

Траектории скважин можно также подгружать другими способами, например, путем подгрузки дополнительных файлов с траекториями в различных форматах (GWTD, LAS, инклинометрия).

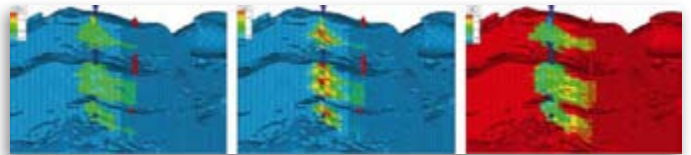
Также возможно создание схем разработки с помощью пользовательского модуля, позволяющего добавлять скважины по любому шаблону (например, 5-точечная, 7-точечная схема, и любой другой заданный).

Создание прогноза

Прогнозная модель может быть сгенерирована в автоматическом режиме. Симулятор позволяет производить динамический рестарт (перезапуск модели). Для этого достаточно перетянуть слайдер назад и нажать «пуск», при этом автоматически визуализируется изменение графиков расчета после перезапуска.

Моделирование закачки химических веществ

tNavigator позволяет моделировать эффект изменения свойств пласта при применении химических методов увеличения нефтеотдачи. Зависимости задаются с помощью специальных пользовательских таблиц на основе данных лабораторных исследований. Реализованы модели закачки полимеров и ПАВ. Технология успешно протестирована на реальных проектах закачки полимеров («Численное моделирование технологии BrightWater», Нефтяное хозяйство. 2012. № 2.)

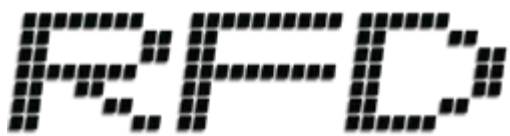


Также предложена модель закачки **пресной воды в засоленный коллектор**; в этом случае учитывается растворение пластовой соли и изменение свойств как воды, так и породы (SPE 162091). Опробовано на модели реального месторождения в Восточной Сибири.

Опции геологических пакетов

Визуализация данных из LAS файлов, динамические карты корреляций (каротажные диаграммы по скважинам можно анализировать совместно с профилями добычи). Трехмерная интерполяция карт (кригинг, последовательные Гауссовские приближения, метод наименьших квадратов).





 Rock Flow Dynamics

117418, Москва, Нахимовский пр-т, 47
+7 499 129-3500

1980 Post Oak Boulevard, Suite 2030, Houston, TX 77056, USA
+1 713 337-4450

Сайт: www.rfdyn.ru
Email: info-rfd@rfdyn.com