



Д.А. Эйдинов  
канд. физ.-мат. наук  
ООО «Рок Флоу Динамикс»<sup>1</sup>  
директор пр развитию  
dmitry.eydinov@rfdyn.com

# tNavigator – гидродинамический симулятор нового поколения

1. ООО «Рок Флоу Динамикс». RFD, 117418, Россия, Москва, Нахимовский пр–т, 47

*Программный комплекс для гидродинамического моделирования tNavigator позволяет в полной мере задействовать имеющиеся вычислительные ресурсы и существенно сократить время расчетов за счет применения современных алгоритмов решения систем уравнений многофазной фильтрации в пористых средах*

**Ключевые слова:** гидродинамическая модель; гидродинамический симулятор; рабочая станция; высокопроизводительные кластеры; интегрированное моделирование

**К** В настоящий момент при построении гидродинамических моделей (ГДМ) месторождений специалисты вынуждены прибегать к использованию процедуры укрупнения сетки. При этом параметры ремасштабирования выбираются, исходя из временных рамок и ограниченных вычислительных мощностей. Низкая детальность фильтрационной модели в совокупности с ошибками апскейлинга приводят к тому, что загрубленная модель непригодна для планирования бурения и геолого-технологических мероприятий (ГТМ), а только служит для решения общих задач расчета материального баланса.

В то же время современные подходы к ГДМ позволяют снять подобные ограничения и производить расчеты непосредственно на геологической сетке. Такой подход не только позволит повысить детальность моделей, но и существенно упростит взаимодействие геоло-

гов и специалистов по гидродинамике в рамках проектов по созданию моделей месторождений.

В настоящее время наблюдается непрерывный рост производительности микропроцессоров за счет увеличения количества ядер. Кроме того, стоимость высокопроизводительной вычислительной техники неуклонно снижается, и программно-аппаратные решения, которые еще пару лет назад были исключительно дорогостоящими, сегодня становятся доступными даже для небольших сервисных компаний. С учетом доступности многопроцессорной вычислительной техники появляется потребность оснащения рабочих мест программным обеспечением, позволяющим полностью задействовать имеющиеся вычислительные ресурсы за счет распараллеливания расчета ГДМ. При этом подавляющее большинство ГД-симуляторов не использует и половины того потенциала, который предоставляет современная техника.



Рис. 1.  
Пользователи iNavigator в России и мире

Программный комплекс для ГДМ *tNavigator*, разработанный ООО «Рок Флоу Динамикс», позволяет в полной мере задействовать имеющиеся вычислительные ресурсы и существенно сократить время расчетов за счет применения современных алгоритмов решения систем уравнений многофазной фильтрации в пористых средах.

*tNavigator* является современным программным комплексом для решения задач ГДМ. Он позволяет работать с моделями черной нефти, композиционными моделями, а также моделировать эффекты термического воздействия на пласт. Ключевыми преимуществами продукта являются высокая производительность расчета на современной многоядерной/многопроцессорной технике, удобный графический интерфейс, позволяющий интерактивно управлять моделью по ходу расчета, поддержка любых форматов данных ГДМ, а также ряд уникальных инструментов для моделирования геолого-технических мероприятий, в том числе с учетом неопределенности. Еще одним важным преимуществом является гибкая лицензионная политика и существенно более низкая цена лицензий по сравнению с западными симуляторами.

Российская компания «Рок Флоу Динамикс» – производитель программного обеспечения для моделирования месторождений УВС – основана в начале 2005 г. Ключевое направление ее деятельности – разработка программного комплекса *tNavigator*, предназначенного для решения задач моделирования пласта.

В 2010 г., когда функционал *tNavigator* стал достаточным для применения в отделах моделирования крупных компаний, были подписаны первые корпоративные лицензионные соглашения с компаниями «ТНК-ВР» и «Газпромнефть». В том же году «Рок Флоу Динамикс» заключила соглашение о сотрудничестве с корпорацией *Intel*. Причиной, по которой в *Intel* обратили внимание на разработку компании, была уникальная возможность *tNavigator* масштабировать время на расчет ГДМ на современных суперкомпьютерах, существенно превосходящая возможности всех прочих пакетов ГДМ, доступных на рынке. По условиям соглашения *Intel* стал технологическим партнером, а также миноритарным акционером «Рок Флоу Динамикс». Сотрудничество с *Intel* позволяет команде разработчиков *tNavigator* быть в курсе новейших разработок в области высокопроизводительных вычислений и учитывать всю специфику новых вычислительных платформ при развитии программы.

За последние годы практически все крупные российские компании стали применять *tNavigator* для работы с ГДМ своих месторождений. Поддержка любых форматов данных моделей позволяет осуществить переход с западных симуляторов на *tNavigator* без дополнительных затрат на конвертацию данных.

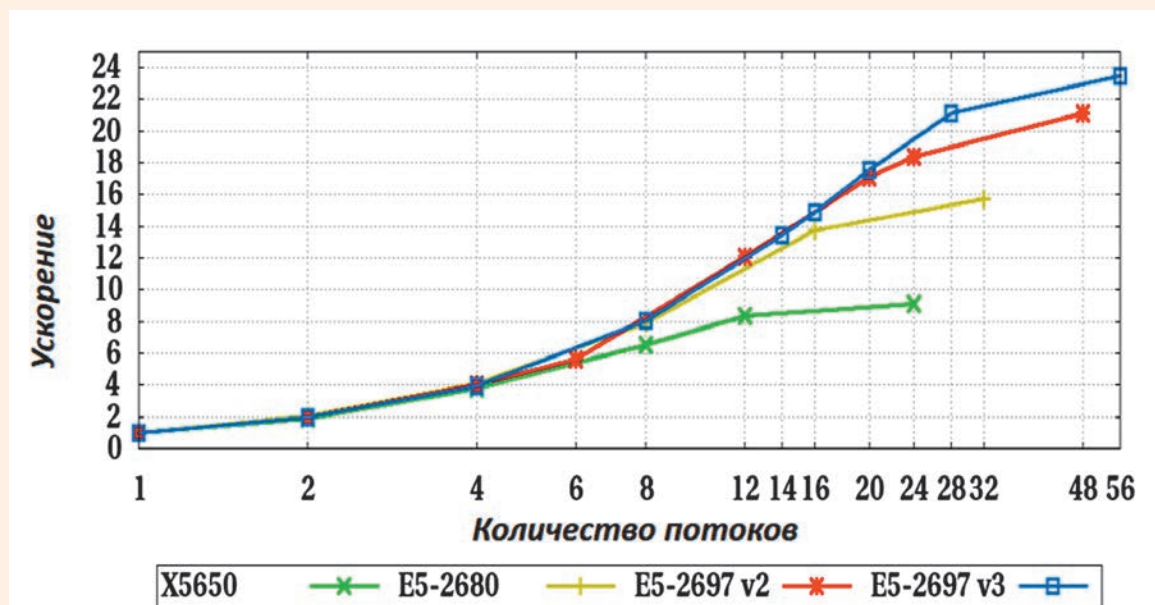
«Рок Флоу Динамикс» достигла существенных успехов и на международном рынке. Пользователями *tNavigator* стали многие компании во всех частях света, их поддержка осуществляется из дочерних офисов в Великобритании, Малайзии и США. В настоящее время пользователями *tNavigator* являются более 600 инженеров из 70 компаний в 15 странах мира. Сейчас, в условиях низких цен на нефть международные компании активно ищут варианты снижения расходов за счет применения более экономичных и эффективных программных средств, в т.ч. ГД-симуляторов, которые составляют заметную часть в бюджетах на программное обеспечение.

Центр разработки программного обеспечения находится в Москве, и насчитывает более 50 высококвалифицированных специалистов в области разработки месторождений, физики, математики и программирования. «Рок Флоу Динамикс» является участником инновационного фонда «Сколково» и считается одной из самых успешных российских инновационных компаний в сообществе.

#### **Высокопроизводительные вычисления для задач проектирования разработки**

На каких вычислительных мощностях производить расчеты ГДМ месторождений? Достаточно ли для выполнения работ мощных рабочих станций? Если нет – стоит ли покупать или арендовать кластер? Как обеспечить безопасность своих данных? На эти и многие другие вопросы требуется ответить сотрудникам нефтяных компаний.

Наиболее простым и экономичным решением для рабочего места модельера является мощная **рабочая станция**. Количество вычислительных ядер в процессорах увеличивается с каждым годом, повышая возможности простых персональных компьютеров. При грамотной реализации программного обеспечения время расчета ГДМ сокращается пропорционально количеству вычислительных ядер. Лицензионная политика *tNavigator* не подразумевает дополнительной платы за использование многоядерных процессоров рабочей станции, одна лицензия программного пакета позволяет задействовать все имеющи-



**Рис. 2.** Ускорение расчетов моделей на двухпроцессорных рабочих станциях последних 4 поколений (2011–2014) по сравнению со временем расчета на одном ядре. Количество потоков в рабочей станции приведено с учетом технологии Hyperthreading

еся вычислительные ресурсы. Таким образом, для ускорения расчетов в несколько раз зачастую достаточно обновить рабочий компьютер. Стоимость мощной рабочей станции колеблется в диапазоне \$10–15 тыс., при этом закупки дополнительных лицензий не требуется – *tNavigator* просто будет использовать большее количество ядер.

На **рис. 2** показаны типичные графики ускорения расчетов моделей в *tNavigator* на топовых двухпроцессорных рабочих станциях 4 последних лет – за это время производительность рабочих станций увеличилась в 3 раза. Типичный показатель ускорения, который можно было получить на самой мощной двухпроцессорной рабочей станции 4 года назад, – около 8, сегодня на 28-ядерной рабочей станции можно ожидать показателя ускорения в 22–24 раза. Эта тенденция, безусловно, должна сохраниться в ближайшие несколько лет. В настоящий момент доступны рабочие станции с 36 вычислительными ядрами (например HP Z840). До конца 2015 г. будут выпущены новые модели с 40 и более ядрами. Однако, несмотря на растущие возможности рабочих станций, их не всегда бывает достаточно для решения задачи. Средний размер ГДМ неуклонно увеличивается из года в год, не взирая на нескончаемые дискуссии о целесообразности применения больших моделей. Для больших моделей один расчет на персональном компьютере может занимать от нескольких часов до нескольких суток и даже

недель в случаях моделей со сложной физикой, например, термических моделей. В этих случаях компаниям уже необходимо использовать **высокопроизводительные кластеры**, иначе нет возможности получить результаты моделирования за время, отведенное на принятие решений.

В настоящее время кластерные системы становятся более демократичными: снижается потребляемая мощность и требования к системе охлаждения, также неуклонно снижается стоимость вычислительной техники. К примеру, современный кластер со 160 ядрами обойдется компании в сумму, эквивалентную примерно \$100 тыс. Потребляемая мощность такой системы будет в пределах 3,5 кВт (для сравнения: электрический чайник или мощный утюг потребляют примерно 2–2,5 кВт). Такая машина не требовательна к инфраструктуре, не требует специального охлаждения, и может быть установлена в любом помещении с кондиционером. Подобный кластер с установленным на нем *tNavigator* позволит рассчитывать модели размером до 200 млн активных блоков и получать показатели ускорения в 80–100 раз. Многие пользователи *tNavigator*, имеющие дело с большими и сложными моделями, проводят расчеты на кластерных системах.

Альтернативой собственной кластерной системе может стать аренда машинного времени кластера другой компании или образовательного учреждения. Организация такого

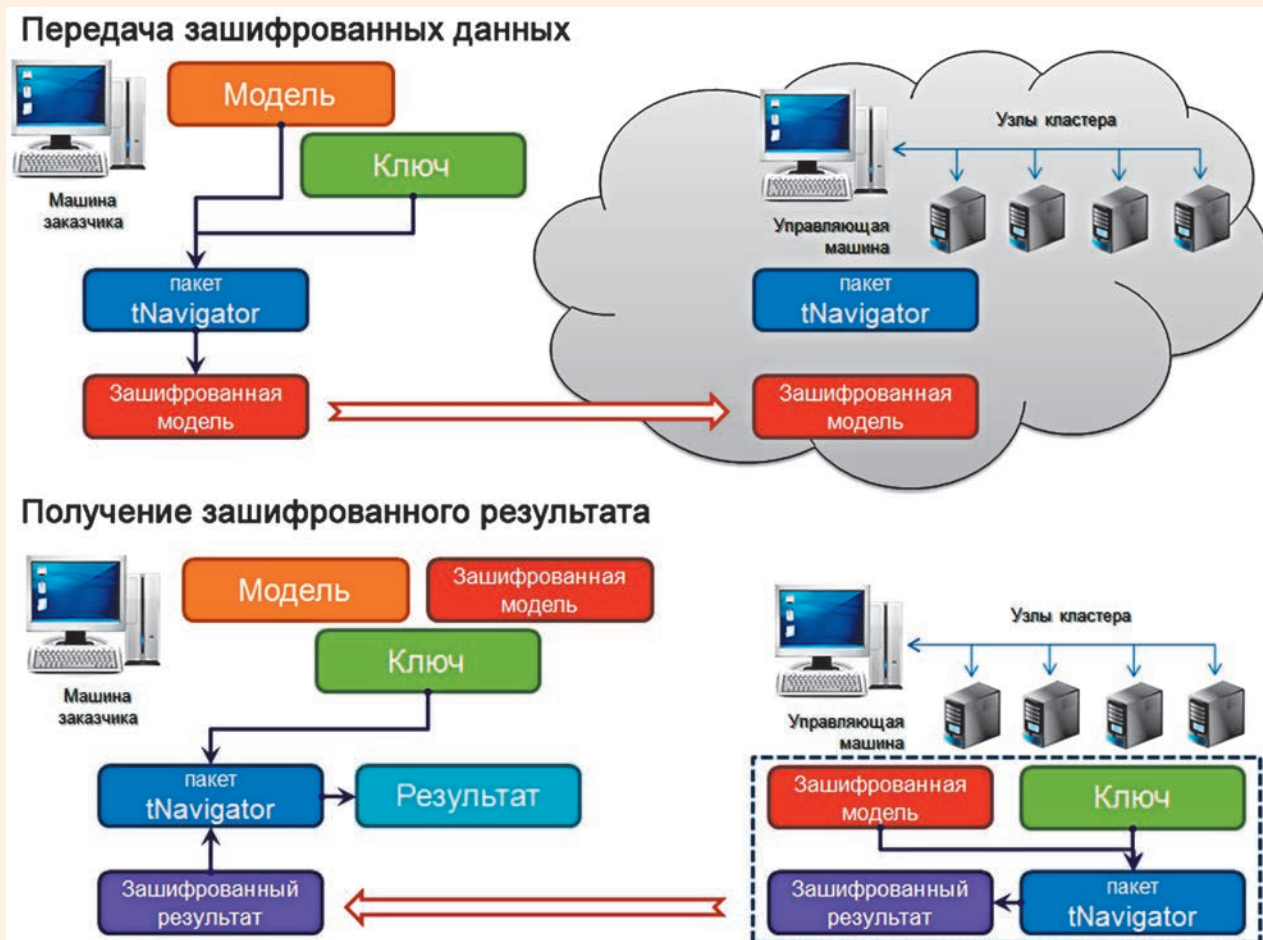


Рис. 3.  
Схема облачного расчета модели

подхода требует специальных средств защиты данных, т.к. данные по разработке месторождения, запасам нефти и газа являются конфиденциальными, и утечка информации недопустима. В связи с этим перед передачей данных для вычислений необходимо зашифровать их специальным образом, а затем шифровать получаемые в результате расчетов выходные данные. Только в этом случае нефтяная компания будет иметь возможность безопасных «облачных вычислений».

В качестве пилотного проекта был проведен расчет реального месторождения нефти и газа на кластере МГУ «Ломоносов» [1]. Использовалось программное обеспечение – параллельный ГД-симулятор *tNavigator*, разработанный специально для многоядерных расчетов. При подготовке к расчету данные были зашифрованы.

Организация безопасных облачных вычислений может быть выполнена следующим образом (рис. 3). Модель месторождения шифруется на машине заказчика, которая должна быть физически и логически защи-

щена. Далее зашифрованная модель пересылается для расчета на кластере, где в очередь на исполнение ставится консольная версия симулятора. При запуске симулятор проверяет, что модель помечена зашифрованной. Далее происходит соединение с машиной заказчика и аутентификация: симулятор получает ключевую информацию, необходимую для расшифровки модели на лету. После этого проводится расчет месторождения, файлы с результатами шифруются по мере получения, отсылаются и дешифруются уже на компьютере заказчика.

Благодаря такому подходу нефтяная компания может рассчитывать на безопасность своих данных и воспользоваться главным преимуществом расчета на кластере – скоростью.

Для выполнения пилотного проекта была задействована следующая часть кластера «Ломоносов» в МГУ: 512 узлов, 4096 ядер, процессоры *Xeon X5570*, объединенные соединениями *Infiniband QDR 40Gb/s*.

Рассчитывалась модель месторождения: 20 млн активных блоков, три фазы, 39 скважин. График показывает достигнутое ускорение **в 1328 раз!** (рис. 4 – ускорение на 4096 ядрах по сравнению со временем расчета на



Рис. 4.  
График ускорения *tNavigator* при расчете на кластере «Ломоносов»

одном ядре), также – что нет «насыщения» при увеличении числа расчетных ядер.

**Разработка инструментов для решения практических задач разработки месторождений в условиях промысла**

Рост расходов на разработку месторождений заставляет добывающие компании тратить все больше времени и ресурсов на тщательное планирование добычи, оценку и минимизацию геологических и технологических рисков, а также затрат на обустройство. Для построения оптимальных вариантов добычи и поиска путей снижения затрат и рисков на всех этапах разработки месторождения применяются разнообразные методы численного моделирования. Одним из важнейших инструментов технологической цепочки при планировании разработки является ГДМ месторождения. Она должна максимально правдоподобно отражать поведение месторождения на протяжении всего цикла его разработки, позволяя проводить разнообразные эксперименты по сравнению и подбору оптимальных схем и технологических режимов. Сегодня трехмерная ГДМ месторождения является единственным надежным способом планирования разработки. Поэтому повышение качества таких моделей является одним из ключевых направлений модернизации нефтегазовой отрасли.

Несмотря на это, во многих случаях добывающие предприятия не применяют пакеты ГДМ для принятия оперативных решений на промысле. Для планирования ГТМ специ-

алисты-разработчики используют двумерные карты распределения запасов, основываясь большей частью на накопленном опыте и знании специфики имеющегося фонда скважин. При этом ГДМ, созданные в рамках построения проектов разработки отделами моделирования, фактически остаются невостребованными.

Причина такого «разрыва» в технологической цепочке заключается в том, что стандартные программные средства, применяемые модельерами, имеют ряд существенных недостатков в применении к промышленным задачам. Во-первых, работа с такими пакетами требует от пользователя специальных навыков, включающих детальное знание форматов данных, умение пользоваться дополнительными пакетами визуализации и внешними приложениями для подготовки входной информации. Во-вторых, принятие оперативных решений в жестких временных рамках часто не позволяет проводить достаточное количество расчетов, каждый из которых может занимать несколько часов и даже дней. Кроме того, распространенные пакеты моделирования не имеют в арсенале стандартных средств для моделирования ГТМ. Специалисты по моделированию обычно используют различные профессиональные трюки для имитации этих эффектов. Все эти факторы существенно осложняют внедрение программных решений для ГДМ в добывающих компаниях. Поэтому в большинстве случаев такие задачи, как планирование ГТМ, проектирование системы поддержания пластового давления,

подбор оптимальных кандидатов для бурения решаются специалистами субъективно без детального изучения с помощью трехмерной модели.

Программный комплекс *tNavigator* позволяет осуществлять принципиально новый подход к построению и использованию ГДМ. Основная идея заключается в создании универсального инструмента для моделирования добычи, который сможет массово применяться специалистами по разработке месторождений как в отделах моделирования, так и в отделах разработки или планирования ГТМ в добывающих предприятиях.

Уникальность подхода заключается, прежде всего, в технологии управления расчетом модели. Совмещение расчетного блока и визуализатора в одном программном приложении дает возможность управлять моделью в режиме реального времени. С помощью графического интерфейса специалист может интерактивно вносить любые изменения в схему разработки месторождения и мгновенно видеть эффект от сделанных изменений на графиках добычи. Например, для введения дополнительной скважины или перевода добывающей скважины в режим закачки требуется всего лишь нажать клавишу мыши. Такая схема работы не требует дополнительных специальных навыков, связанных с внутренним наполнением программы, или умения обращаться с данными в определенном формате. Опыт внедрений на промыслах показывает, что при нулевом опыте работы с ГД-симуляторами пакет может быть освоен специалистом по разработке за 2 дня.

Еще одним принципиальным нововведением является набор инструментов для моделирования ГТМ и оптимизации системы поддержания пластового давления. Ряд инновационных идей в совокупности с современной архитектурой пакета позволил создателям *tNavigator* внедрить технологии реалистичного моделирования гидроразрыва пласта, обработки призабойной зоны, методов увеличения нефтеотдачи и других мероприятий. Кроме того, в программе предусмотрен широкий набор аналитических инструментов для оптимизации заводнения. В распоряжении пользователей – интерфейс для построения линий тока, графиков и матриц эффективности закачки. Эти модули специально предназначаются для решения спектра задач, стоящих перед разработчиками на промысле.

Внедрение *tNavigator* позволяет устранить несоответствие в технологическом процессе, существующее между модельерами и разработчиками, и по-новому взглянуть на процесс

моделирования разработки. Трехмерные модели, построенные в отделах моделирования, и адаптированные по истории, могут быть использованы разработчиками без каких-либо изменений для планирования мероприятий и подбора оптимальных режимов. Причем, могут применяться как полномасштабные, так и более мелкие секторные модели, эффективные для среднесрочного прогноза.

Примером массового внедрения симулятора на промысле может служить проект, реализованный в АНК «Башнефть», где энтузиазм руководства и специалистов на местах позволил изменить сложившуюся ситуацию и внести коррективы в подход к разработке месторождений. Использование *tNavigator* в добывающих предприятиях обеспечивает более тесное взаимодействие между различными подразделениями компаний, что позволяет существенно улучшить качество моделей и приводит к повышению эффективности разработки. Высококвалифицированные модельеры из институтов и сервисных компаний выполняют весь объем работ по построению, адаптации и сопровождению моделей, а разработчики в добывающих предприятиях используют модели для принятия решений о разработке месторождений. На секторных моделях проводится учет неопределенности и оптимизация параметров таких мероприятий как подбор режимов работы добывающих и нагнетательных скважин, уточнение схемы разбуривания объекта, направление и схема проводки горизонтальных стволов, схемы реализации МУН, выбор локализации запасов, обладающих минимальными рисками при бурении. Такой подход позволяет оценивать риски, обусловленные геолого-физическими неопределенностями, принимать оптимальные решения, что в свою очередь позволяет повысить рентабельность проектов. Имеющиеся данные о дополнительной добыче от реализованных мероприятий позволяют говорить о целесообразности применения такого подхода, а также сопряженных с этим затрат на работы по моделированию.

### **Развитие функционала tNavigator**

Наряду с ГД-симулятором компания «Рок Флоу Динамикс» занимается активной разработкой программного обеспечения для решения смежных задач. В настоящий момент в рамках программного комплекса *tNavigator* реализованы инструменты для решения задач автоматизированной адаптации, оценки неопределенности и анализа рисков, ведется работа над пакетом геологического моделиро-

вания, а также инструментов для решения задач интегрированного моделирования пласт-система сбора.

В последней версии *tNavigator* 4.2, выпущенной около месяца назад, реализована возможность подготовки данных для ГДМ по исходной информации, полученной из стороннего программного обеспечения для геологического моделирования. Алгоритм работы выглядит следующим образом:

- в препроцессор *tNavigator* загружаются входные данные сетки в унифицированном формате *RESCUE*;


- в рамках рабочего процесса редактируются ФЕС (при необходимости также сетка), формируются данные по физико-химическим свойствам флюидов, секция данных по скважинам;

- создается ГДМ, готовая к расчету;

- осуществляется запуск и анализ результатов.

Модуль препроцессора также снабжен широким набором инструментов ГДМ. На-

пример, доступны функции для работы с кубами и картами, межскважинные корреляции, инструменты интерполяции ФЕС. Такая система позволяет оснастить рабочее место инженера-гидродинамика всеми необходимыми инструментами для работы с моделью. В ближайшей перспективе будет существенно расширен функционал для построения геологической модели «с нуля», что позволит также использовать программный комплекс *tNavigator* как полноценный пакет геолого-гидродинамического моделирования.

При этом и геологический, и гидродинамический модули будут реализованы в рамках одного приложения. Это позволит осуществлять работу по построению моделей пласта в интегрированном режиме, комплексно подходить к решению задач оценки неопределенности и анализа рисков, создавать постоянно действующие полномасштабные модели месторождений на единой сетке в рамках одного проекта. 

## Литература

1. Богачев К.Ю., Михалева М.Ю., Миргасимов А.Р., Попеленский Е.Ю. Моделирование месторождений нефти и газа на кластерах // *Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности* (Выпуск V). МГУ. 2014.

UDC 532.546.532.68.004.425.53

## *tNavigator* - hydrodynamic simulation of a new generation

D.A. Eidinov, PhD, director of development LLC "Rock Flow Dynamics"<sup>1</sup>, dmitry.eydinov@rfdyn.com

1. Rock Flow Dynamics. RFD, Nakhimovskiy Ave., 47, Moscow, 117418, Russia

**Abstract:** The rising costs of mining makes mining companies to spend more time and resources on careful planning of production, evaluation and minimization of geological and technological risks as well as costs for the resettlement. To construct the optimal variants of production and find ways to reduce costs and risks in all stages of development of the field used a variety of methods for the numerical simulation. One of the most important tools in the planning process chain development is a hydrodynamic model of the deposit, the most plausible reflects the behavior of the field throughout its development cycle, allowing to carry out a variety of experiments in comparison and selection of optimal solutions and technological conditions. Today, three-dimensional hydrodynamic model is the only reliable way of planning development. Improving the quality of such models is one of the key areas of modernization of the oil and gas industry. When A hydrodynamic model experts have to use the procedure of upscaling, selecting options Upscaling, based on the time frame and limited computing power. Low detail filtration model and upscaling errors lead to desensitization that model is not suitable for the planning of drilling and geological and technological activities. If there is an affordable high performance computing there is a need to equip jobs software to fully utilize the available computing resources by parallelizing the calculation of hydrodynamic model. Most hydrodynamic simulation does not use even half of the potential that modern technology provides. Program complex for hydrodynamic modeling *tNavigator* full use of existing computing resources significantly reduces the computation time by using modern algorithms for solving systems of equations of multiphase flow in porous media. *tNavigator* allows you to work with models a black oil, compositional model and simulate the effects of thermal stimulation. The main advantages – high efficiency based on modern multi-core / multi-processor technology, user-friendly graphical interface that allows you to interactively control the model in the course of the calculation, support for any hydrodynamic model data formats, as well as a number of unique tools for modeling of geological and technical measures, including taking into account the uncertainty.

**Keywords:** hydrodynamic model; hydrodynamic simulation; work station; HPC clusters; integrated modeling

## References

1. Bogachev K.Iu., Mikhaleva M.Iu., Mirgasimov A.R., Popelenskii E.Iu. Modelirovanie mestorozhdenii nefiti i gaza na klasterakh [Modeling of oil and gas fields on clusters]. *Superkomp'yuternye tekhnologii v nauke, obrazovanii i promyshlennosti*, vol. V. MGU. 2014.