

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ НЕФТЕГАЗОВОГО СЕРВИСА

А.М. Криштофик<sup>1</sup>, В.Ф. Заднепровский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск;

<sup>2</sup>Институт программных систем РАН, Переславль-Залесский

*Рассматриваются вопросы использования суперкомпьютерных технологий в нефтегазовой отрасли развитых стран, необходимость и направления их применения в Союзном государстве.*

### Введение

В последние годы зарубежные государственные и негосударственные организации уделяют много внимания развитию высокопроизводительных вычислительных технологий в интересах решения актуальных задач нефтегазового сервиса. Применение суперкомпьютеров позволяет использовать высокоэффективные алгоритмы обработки сейсмических данных и построения глубинных сейсмических изображений. Насколько актуальна данная тематика, показывает тот факт, что начиная с 2007 года в Rice University (Хьюстон, США) дважды в год проводится семинар по высокопроизводительным вычислениям в нефтяной и газовой отрасли. Кроме того, в последние годы в рамках ведущих международных геофизических конференций SEG и EAGE организуются секции или семинары, посвященные высокопроизводительным вычислениям.

Наиболее амбициозные задачи ставятся и решаются в рамках консорциумов, объединяющих усилия ведущих специалистов в области геофизических методов исследований и вычислений. Финансируют такие проекты как правительственные организации, так и нефтяные и компьютерные корпорации.

### 1. Мировые тенденции использования высокопроизводительных вычислений в нефтегазовом сервисе

Известны ставшие уже классическими две существенно отличающиеся модели инновационного развития нефтегазовых отраслей Норвегии и Великобритании, которые сложились при освоении одной и той же зоны добычи углеводородного сырья - Северной нефтяной провинции Баренцева моря:

1. *Английская модель*, когда в нефтяной комплекс страны вошли ведущие компании мира со своими технологиями, а за ними - шлейф сервисных и наукоемких компаний.

2. *Норвежская модель*, когда имело место целенаправленное, подконтрольное государству формирование условий для становления национальных наукоемких сервисных компаний и системы научно-технологических центров. Результатом такой политики стала постепенно сложившаяся одна из лучших в мире высокотехнологичная национальная нефтегазовая отрасль.

Нефтегазовый сервис в США осуществляется в основном американскими компаниями, среди которых лидируют «Schlumberger», «Halliburton», «Baker Hughes» и «Weatherford». За более чем 60-летний период своего существования они выросли до крупнейших в мире транснациональных компаний с годовым оборотом 15-20 млрд долл. Структура бизнеса американских компаний диверсифицирована и охватывает

многие виды сервиса. Освоение мирового рынка происходило в тесном альянсе с американскими нефтегазовыми корпорациями, но в отличие от них процесс национализации нефтегазовых отраслей, наблюдающийся во многих нефтегазодобывающих странах мира, не привел к ослаблению позиций американского сервиса в этих странах, так как для создания собственного сервиса последние не обладают соответствующим научно-техническим потенциалом. В настоящее время подразделения американских компаний работают практически во всех странах мира, осуществляющих работы в сфере нефтегазовой отрасли. Мировое лидерство обеспечивается за счет значительных вложений в НИОКР (только «Schlumberger» на эти цели затрачивает более 350 млн долл. в год), использования высокотехнологичных машиностроительных и приборостроительных мощностей, привлечения талантливых специалистов со всего мира, эффективного менеджмента и агрессивного маркетинга. Компании нефтегазового сервиса играют существенную роль в решении проблем американского оборонно-промышленного комплекса. В концентрированном виде это лидерство находит свое воплощение в создании сервисной техники и технологий, прежде всего, для освоения ресурсов нефти и газа на шельфе.

Государственная политика Китая по реформированию, защите интересов китайского нефтегазового сервиса и повышению его конкурентоспособности разрабатывается и реализуется корпорацией «China National Petroleum Corporation». При вступлении Китая в ВТО руководству страны необходимо было решить две задачи:

- защитить отечественный сервисный рынок от его поглощения иностранными компаниями;
- обеспечить достойное место китайским компаниям на мировом рынке нефтегазового сервиса.

С этой целью при вступлении в ВТО был согласован семилетний срок действия ограничительных квот в доступе иностранным сервисным компаниям на китайский рынок. За этот период нефтегазовый комплекс был коренным образом реформирован. Мелкие разрозненные предприятия нефтегазового сервиса были укрупнены и включены в состав нефтегазовых корпораций и компаний: Petro China, SINOPEC, «China National Offshore Oil Corporation». Наиболее мощно китайский сервис представлен в «China National Petroleum Corporation». Здесь сосредоточены две группы сервисных компаний, одна из которых обеспечивает потребности внутреннего рынка, другая ориентирована только на обслуживание мирового рынка. Китай не поддавался на соблазн «освобождения нефтяных компаний от непрофильных активов». Для обеспечения конкурентоспособности сервиса государство и нефтегазовые компании вложили значительные средства и продолжают финансировать подготовку кадров, НИОКР, приобретение лучших образцов западной и российской техники и технологий с последующим освоением производства аналогов высокотехнологичными предприятиями, в том числе оборонного комплекса. Китайские нефтегазовые компании в тендерах на услуги всегда отдают предпочтение национальному сервису. Исключения составляют разовые работы иностранных компаний с новейшими технологиями, которыми Китай пока не владеет.

Так, в Китае было обеспечено решение первой задачи, что позволило ограничить долю присутствия иностранного сервиса на китайском рынке на уровне 2-3 %. Особо следует отметить успехи Китая в развитии техники и технологии освоения шельфа. Морские сейсмические, каротажные, буровые компании, входящие в состав «China National Offshore Oil Corporation» (CNOOC), оснащены самой современной техникой и технологией и не только полностью обеспечивают свои национальные потребности, но и вышли на мировой рынок. Стартовые позиции в освоении Китаем

морской техники и технологии нефтегазового сервиса были реализованы американскими компаниями, а дальнейшее развитие обеспечивается собственным научно-производственным комплексом CNOOC. К решению наиболее сложных проблем привлекается Академия китайского военно-морского флота.

Что касается второй задачи, то в настоящее время китайский нефтегазовый сервис успешно конкурирует с американскими сервисными компаниями на суше и море более чем в 25 странах мира, в том числе Казахстане, Туркмении, Узбекистане, арабских странах, Африке, Центральной и Южной Америке, странах Азиатско-Тихоокеанского экономического пространства. Интересен опыт Китая по созданию непосредственно в США китайских компаний по разработке, производству и последующей поставке на родину наиболее высокотехнологичных образцов аппаратуры и оборудования для нефтегазового сервиса. В России китайский сервис представлен сейсмической компанией «Bureau of Geophysical Prospecting», начавшей проведение сейсморазведки в Западной Сибири.

Таким образом:

- рынки нефтегазового сервиса США и Китая контролируются в основном их отечественными компаниями;
- государственная власть США и Китая обеспечивает защиту и поддержку интересов своих сервисных компаний на внутреннем и мировом рынках;
- мировой рынок нефтегазового сервиса в основном контролируется американскими компаниями.

## **2. Необходимость использования суперкомпьютерных технологий отечественными нефтегазовыми предприятиями**

Реально в настоящее время в нефтегазовом секторе России и Беларуси реализуется сценарий, который больше соответствует английской модели развития нефтегазового сектора:

- «национальные ресурсы + иностранный капитал + иностранные технологии»;**
- «национальные ресурсы + национальный капитал + иностранные технологии».**

Так, например, в Государственном производственном объединении «Белоруснефть» для обеспечения эффективного комплексирования традиционных методов и подходов в поисках, разведке и разработке нефтяных месторождений в основной блок прикладного программного обеспечения вычислительного комплекса входят разработки компаний «Schlumberger», «Paradigm Geophysical». Проектирование сейсморазведочных работ 2D, 3D ведется на современных аппаратных комплексах импортного производства с использованием последних версий программного обеспечения Mesa, полевые сейсморазведочные работы 2D, 3D проводятся с использованием телеметрических комплексов SN388, 408UL и 428XL. Аналогичная картина характерна и для группы «ЛУКОЙЛ», где в качестве программного обеспечения используются продукты Landmark, Paradigm, Roxar, Schlumberger, а в качестве аппаратной платформы - серверы для поддержки мультипроцессорных приложений SUN, SGI. Эти примеры очень красочно характеризуют модель использования технологий иностранного производства и ее зависимость от производителей этих технологий. Сегодня на нашем рынке присутствуют и реально конкурируют такие мощные компании, как «Haliburton-Landmark», «Roxar», «Schlumberger», «CGG, ESRI», «Fugro Jason» и др.

При таком сценарии деятельность организаций этого сектора экономики сводится к «продвижению» иностранных коммерческих перспективных разработок в научно-техническую сферу.

Развивается незначительный по объему реализации комплекс информационных, правовых, организационных услуг. При этом происходит незначительное увеличение объема заказов предприятиям смежных отраслей промышленности Союзного государства, прежде всего машиностроения и информатизации.

Совершенно очевидно, что такой вариант развития в целом не может способствовать формированию сильной инновационной экономики, поскольку, по существу, не оказывает должного мультипликативного влияния на смежные отрасли экономики.

Для Союзного государства крайне актуальным является переход к иной модели развития, сходной с «норвежской», в основе которой лежит формула

**«национальные ресурсы, технологии, оборудование, сервис и специалисты +  
+ иностранный капитал».**

Этот переход может произойти только в результате активного государственного вмешательства, при условии проведения разумной и эффективной государственной научно-технической политики.

Государство может и должно играть значимую роль в обеспечении глобальной энергетической безопасности, опираясь не только на ресурсную составляющую, но и на свой высокий интеллектуально-технологический потенциал, воплощенный в сервисе и нефтегазовом оборудовании.

С полноценным развитием сервиса связаны также вопросы перевода экономики на высокие технологии, обеспечивающие решение задач энергоэффективности, ресурсосбережения, энергетической безопасности и, в конечном итоге, реализацию внешнеполитических и экономических целей государства.

Поэтому крайне важно создать условия для ускоренного развития высокотехнологичной отрасли нефтегазового сервиса на базе применения наилучших отечественных разработок в области информационных технологий и высокопроизводительных аппаратных решений, создания новых научных коллективов и научно-производственных кооперационных связей, развития достигнутых позиций в части суперкомпьютерных технологий.

Любое иное развитие событий приведет к прямым финансовым потерям, к неэффективному использованию существующих, по состоянию на сегодняшний день, ресурсов (научного потенциала, отлаженных кооперационных связей) и созданных научно-технических заделов.

При площадных сейсморазведочных работах, особенно на акваториях, объем полученных данных может достигать 1 Терабайта на каждые 200 кв. км (современные широкоазимутальные наблюдения с длиной записи до 16 с и шагом дискретизации 1 мс). Площадь наблюдений может составлять до 4000 кв. км. Таким образом, общий объем данных может превышать 20 Терабайт.

Применение для таких данных высокоэффективных алгоритмов обработки и построения глубинных изображений на современных зарубежных вычислительных системах требует нескольких месяцев непрерывной работы. В качестве примера можно привести следующие цифры: применение одной из геофизических компаний процедуры подавления кратных волн по методу 3D SRME к данным на площади 200 кв. км потребовало два месяца расчетов на суперкомпьютере с 1000 процессорных ядер.

Основной объем вычислений со столь большими объемами данных приходится на этап обработки. Однако задачи сейсмической инверсии и сейсмического моделирования, часто относимые на этап интерпретации, также могут использовать сравнимые объемы данных. Гидродинамическое моделирование, применяемое в процессе разработки месторождения, требует недель и месяцев расчетов.

Применение суперкомпьютеров масштаба СКИФ позволяет использовать такие алгоритмы, применение которых на обычных компьютерах лишено всякого практического смысла ввиду очень большого объема вычислений. В качестве примеров можно привести процедуру подавления многократных отражений методом 3D SRME или процедуру глубинной миграции до суммирования в обратном времени.

Развитие технологий для поиска, разведки и разработки месторождений нефти и газа сопровождается «информационным взрывом»: количество данных, описывающих строение недр, растет экспоненциально. От двухмерных представлений нефтегазовых объектов в виде карт и разрезов осуществлен переход к трехмерным математическим компьютерным моделям, а изучение процессов фильтрации в пластах добавило четвертое измерение - время.

Огромное количество информации, хранящейся в нефтегазодобывающих организациях, научно-исследовательских институтах, помимо плюсов имеет и серьезный недостаток: чем больше данных, тем сложнее их увязать и проанализировать, особенно в условиях жесткой конкуренции. Поэтому одной из важнейших задач является разработка информационных технологий создания многоуровневой системы хранения и комплексного анализа геолого-геофизических данных на базе адаптации и специализации технологий и программно-аппаратных средств суперкомпьютеров семейства «СКИФ».

### **3. Направления использования суперкомпьютерных технологий**

Задачу поиска и разведки нефтегазовых месторождений решают геолого-геофизические сервисные компании, услугами которых пользуются предприятия нефтяной и газовой промышленности. Разведка нефтегазовых месторождений - трудоемкий процесс, связанный с обработкой гигантских объемов информации. Именно поэтому геофизика является одной из приоритетных областей применения суперкомпьютерных систем.

Геофизики выполняют заказы нефтегазовых компаний на проведение разведки, доразведки или разработки месторождения и выдают рекомендации по проведению бурения в определенном месте. Для нефтегазовых компаний точность таких рекомендаций крайне важна, так как затраты на проведение геологической разведки очень высоки, но быстро окупаются во время бурения. Как показывает практика, на каждый рубль, вложенный в разведку месторождения по трехмерной технологии, нефтегазовая компания получает 5-7 руб. экономии во время бурения. Понятно, какие потери понесут нефтегазовые компании, если получат от геологов погрешности в прогнозе. С другой стороны, предъявляются жесткие требования к срокам выработки таких рекомендаций на определенной территории, поскольку существует сильная конкуренция между сервисными геофизическими компаниями. Необходимость обработки огромных объемов информации, высокие требования к точности и скорости выработки прогноза - все это определяет необходимость применения для данных задач вычислительных средств максимальной мощности и предельной надежности.

Повышение эффективности проведения комплекса поисково-разведочных работ в нефтегазовой отрасли связано с разработкой и применением перспективных высокопроизводительных программно-аппаратных средств и информационных технологий и включает следующие основные составляющие:

- обработка и интерпретация сейсморазведочных данных 2D- и 3В-съемок, в том числе по районам со сложными сейсмогеологическими условиями;
- региональная и локальная оценка перспектив нефтегазоносности осадочного

чехла и кристаллического фундамента, включая численный прогноз промышленной нефтегазоносное™ локальных поисковых объектов с использованием оригинальной методики;

- трехмерное геологическое моделирование месторождений нефти и газа;
- формирование баз геолого-геофизических и промысловых данных.

Задачи сейсморазведки делятся на два основных класса: двумерная (2D) и трехмерная (3D) разведка. В первом случае датчики располагаются по отдельным линиям - разрезам и исследования проводятся в глубину и вдоль разреза. Трехмерная разведка предполагает распределение датчиков по поверхности исследуемой площади и позволяет получить трехмерную модель расположения ископаемых внутри земли. Этот вариант обеспечивает получение более точной и полной информации о месторождении, но требует гигантских вычислительных ресурсов для обработки данных. До недавнего времени эта задача была просто не решаема в полном объеме, и только появление суперкомпьютеров позволило проводить подобные исследования с высоким уровнем точности в приемлемые сроки, что обеспечивает компаниям, применяющим суперкомпьютерные технологии, значительное преимущество перед своими конкурентами.

Суперкомпьютерные ресурсы также весьма востребованы и на стадии разработки нефтегазовых месторождений.

Детальное геолого-гидродинамическое моделирование позволяет оперативно управлять текущими запасами, группируя их на ранних стадиях разработки в соответствии с оптимальными для их извлечения технологиями, осуществлять оперативное, экономически обоснованное управление разработкой, проектировать оптимальные с точки зрения прибыльности и снижения затрат на добычу нефти системы разработки. Область применения результатов геолого-гидродинамического моделирования обширна и разнообразна. На основе моделирования при разведке и разработке месторождений решаются следующие задачи:

- прогноз распространения коллектора, оптимизация заложения разведочных и эксплуатационных скважин, минимизация риска бурения пустых скважин;
- дифференцированный подсчет запасов по типам коллекторов;
- уточнение параметров пластов и флюидов и положения литологических и тектонических экранов;
- проектирование систем разработки. Возможность многовариантных расчетов, определение и визуальное представление остаточных запасов на конец периода разработки позволяют обосновать оптимальный вариант добычи и обеспечить полноту выработки трудноизвлекаемых запасов;
- выбор оптимального варианта, что обеспечивает высокую экономическую эффективность разработки объектов;
- возможность оценки эффективности работы каждой скважины в течение всего периода эксплуатации, регулирование на этой основе выработки запасов и снижение обводненности, выбор оптимальной стратегии доразработки на поздних стадиях;
- оценка трудноизвлекаемых запасов и выбор соответствующей технологии их добычи;
- управление добывающим предприятием, стратегия развития на перспективу.

Практика создания и использования геолого-гидродинамических моделей для проектирования и мониторинга разработки нефтяных и газовых месторождений стремительно развивается, особенно в последнее десятилетие. Активное использование моделей приводит к быстрому увеличению их количества, появляется возможность выбора, что, в свою очередь, требует более строгой оценки геолого-гидродинамического моделирования, систематизации и учета моделей, проведения их экспертизы. Все это

обуславливает существенное увеличение вычислительных ресурсов.

Одновременно темпы развития информационных технологий требуют постоянной координации усилий и обеспечения преемственности научных и производственных программ.

Решение задач моделирования нефтегазового месторождения, создание новых производственных технологий добычи нефти и газа, технологий рационального природо- и недропользования предъявляют самые высокие требования к научной стороне разработок.

По сути, в мировом нефтегазовом секторе давно создан и активно развивается высокотехнологичный информационно-технологический блок, базирующийся на самых последних достижениях фундаментальной и прикладной науки.

Решение такого комплекса задач на современном уровне использования информационно-вычислительных технологий позволит значительной части промышленности, и прежде всего отечественному специальному приборостроению и машиностроению, перейти на обслуживание потребностей нефтегазового сектора на принципиально новом качественном уровне. В основе этого перехода должны быть не просто меры государственной поддержки предприятий для расширения производства или укрепления их финансового положения. Государственная поддержка должна быть направлена на обеспечение качественного продвижения и применения эффективных наукоемких информационно-вычислительных технологий, которые позволят значительно снизить издержки в поиске, разведке и разработке углеводородного сырья, создать устойчивый мультипликативный эффект высокотехнологичного развития в смежных отраслях, продуктивно решать задачи энергоэффективности и ресурсосбережения в Союзном государстве.

## **Заключение**

Нефтегазовый сервис, обеспечивая воспроизводство минерально-сырьевой базы углеводородного сырья, разведку новых месторождений, реализацию рациональной разработки месторождений, является ключевым элементом в обеспечении энергетической и технологической безопасности стран-участниц Союзного государства. Нефтегазовый сервис способствует решению приоритетных задач модернизации экономики в части повышения энергоэффективности и обеспечения энергосбережения.

Достичь существенного технологического прогресса в нефтегазовой отрасли возможно путем целенаправленного применения новых информационных технологий в нефтегазовом сервисе, которые обеспечат:

- повышение эффективности работ по разведке нефтегазовых месторождений;
- повышение продуктивности действующих скважин;
- рациональное и эффективное использование ресурсного потенциала месторождений;
- выполнение операций по добыче нефти и газа с надлежащей степенью экологической безопасности.

Необходимость обработки огромных объемов информации, высокие требования к точности и скорости выработки прогноза - все это определяет необходимость применения для данных задач высокопроизводительных вычислительных средств (суперкомпьютеров) максимальной мощности и предельной надежности.