

ся в атрибут фишки, которая заносится во входную позицию перехода  $C_7$ . Переход  $C_7$  выполняет операцию адресации фишки к требуемой компоненте модели. Во время работы представленной структуры «один ко многим» возможно возникновение двух конфликтных режимов работы:

- во время выполнения обработки запроса в АСМ поступает еще одна или несколько фишек на обслуживание (при поступлении фишек функционал «обслуживания» был задействован);

- одновременно поступают на обслуживание две и более фишек в АСМ (при поступлении фишек функционал «обслуживания» находился в состоянии ожидания).

В дальнейших исследованиях планируется для решения данной проблемы организовать работу АСМ по распределенному временному типу, использовать систему приоритетов обслуживания фишек и обеспечить доступ поступивших на обслуживание фишек в резервную АСМ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цапко Г.П., Цапко С.Г., Тараканов Д.В. Е-сетевой метод информационно-логического проектирования компьютерных тренажеров. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2005. – 228 с.
2. Горбатов В.А., Смирнов М.И., Хлытчиев И.С. Логическое управление распределенными системами / под ред. В.А. Горбатова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 288 с.
3. Цапко С.Г., Цапко И.В. Параллелизм функционирования логически разделенных подсистем сложной системы при Е-сетевом моделировании // Известия Томского политехнического университета – 2007. – Т. 311. – № 5. – С. 47–50.
4. Конфликт сложных систем: моделирование и управление / под ред. А.А. Пунтуса. – М: Изд-во МАИ, 1995. – 118 с.

Поступила 24.02.2010 г.

УДК 519.71

## КРИТЕРИИ И СРЕДСТВА РАЗВИТИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В.З. Ямпольский, А.А. Захарова

Томский политехнический университет

E-mail: zaa@tpu.ru

*Обсуждаются результаты анализа применимости и эффективности программных систем ведущих зарубежных и отечественных производителей, культивируемых на рынке информационных технологий для моделирования нефтегазовых месторождений. Сформулированы критерии оценки базовых программных систем, которыми следует руководствоваться при обосновании выбора. Дано формализованное описание сложных процессов геологического и гидродинамического моделирования нефтегазовых месторождений с использованием цифровых 3D-моделей и поддерживающих их программных систем.*

#### Ключевые слова:

*3D-геологические и 3D-гидродинамические модели, месторождения нефти и газа, алгоритмическое и программное обеспечение, обработка данных, информационные технологии.*

#### Key words:

*3D-geology and 3D-hydrogeology models, oil and gas field, algorithmic and program software, data processing, information technology.*

Трехмерное цифровое моделирование с применением современных информационных систем и технологий является неотъемлемой частью процессов разведки и эксплуатации месторождений углеводородного сырья. Необходимость их использования для обоснования решений регламентируется нормативными и законодательными документами как в России, так и в большинстве стран мира.

Неоднородности строения залежей, а также значительная широта фациального состава коллекторов и сложный нерегулярный характер структуры порового пространства обуславливают ограниченность и недостаточную точность сведений о пласте и флюидах, полученных в результате геологических и геофизических исследований. Таким

образом, полноценное исследование пластов невозможно без математического моделирования, проводимого на основе цифровых трехмерных многопараметрических моделей объектов разработки с применением современных программных средств.

Процесс моделирования месторождений нефти и газа предполагает последовательную интерпретацию сейсмической, геофизической, петрофизической, промысловой информации, построение трехмерных цифровых геологической и гидродинамической моделей, моделирование фильтрационных процессов в пласте, прогнозирование процесса разработки, а также выполнение технико-экономических расчетов по результатам моделирования.

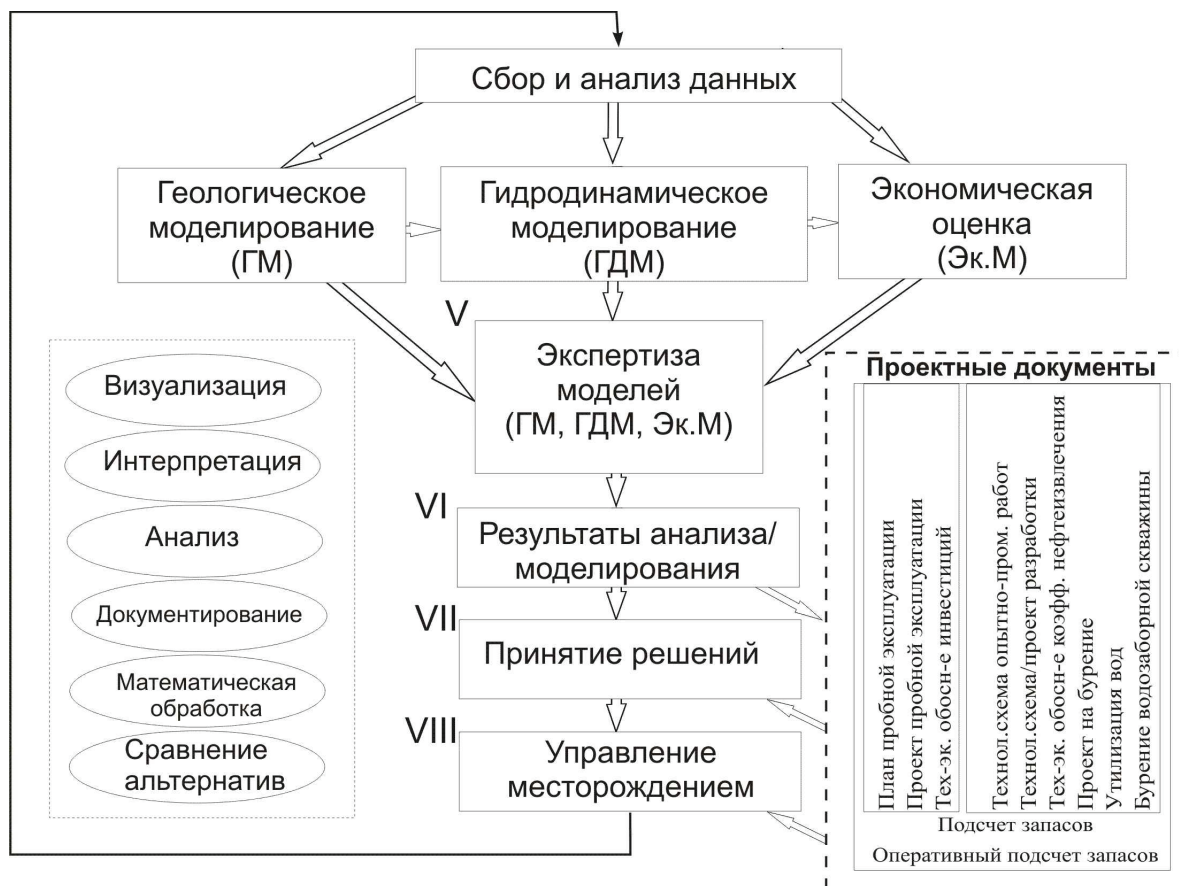


Рис. 1. Функциональная схема технологии моделирования месторождений нефти и газа

Обобщенная функциональная схема технологии моделирования месторождений нефти и газа приведена на рис. 1.

Моделирование процесса добычи нефти выполняется не только при проектировании разработки месторождений, но широко используется при мониторинге. Моделирование может осуществляться с помощью разнообразного по функциональным и стоимостным характеристикам программного обеспечения (ПО), выбор которого остается за проектно-технологическими институтами или нефтегазовыми компаниями.

В качестве зарубежного ПО применяют разработки: Schlumberger (GeoQuest и т. д.), Smedvig Technologies, Roxar Software Solutions, Western Atlas, Landmark Graphics (GeoGraphix, и т. д.), Paradigm Geophysical, CogniSeis, CGG Petrosystems, PGS Tigris, Seismic Microtechnology, GeoMatic, Quick look, Tigris, Western Atlas и некоторых других [1].

Анализ данных об использовании программных продуктов показал, что наиболее распространенным в России является ПО следующих зарубежных компаний:

- Schlumberger Information Solutions (США);
- Landmark Graphics Corporation (США);
- Roxar Software Solutions (Норвегия).

Программное обеспечение перечисленных компаний будем именовать далее базовыми для формирования технологии моделирования нефтегазовых месторождений. Схема базовых программных средств, применяемых на различных этапах моделирования приведена на рис. 2.

Из отечественных разработок следует отметить ПО следующих организаций: ОАО «ЦГЭ», ОАО «Пангея», ООО «Геоинформационные технологии и системы», РГУ нефти и газа им. Губкина, МГУ им. Ломоносова, ИПМ им. Келдыша, ВЕНСИС, ООО «ПетроАльянс», ЗАО «Тюменский институт нефти и газа», ИМП имени Келдыша, ООО «СургутНИПИнефть», ЗАО «УфаНИПИнефть», ООО «ГЕОТЕК», ЗАО «Сталкер», НПО АНЧАР и др.

На базе отечественных разработок создан программный комплекс «ТРАСТ», получивший дальнейшее развитие в рамках ПО «TimeZYX». Этот комплекс предназначен для геолого-технологического моделирования залежей углеводородов. Он обеспечивает решение широкого круга задач нефтегазовой отрасли и нацелен на замещение зарубежных программных средств.

Следует отметить, что несомненными лидерами с наибольшим опытом разработки и внедрения программных средств для моделирования месторождений нефти и газа являются такие всемирно

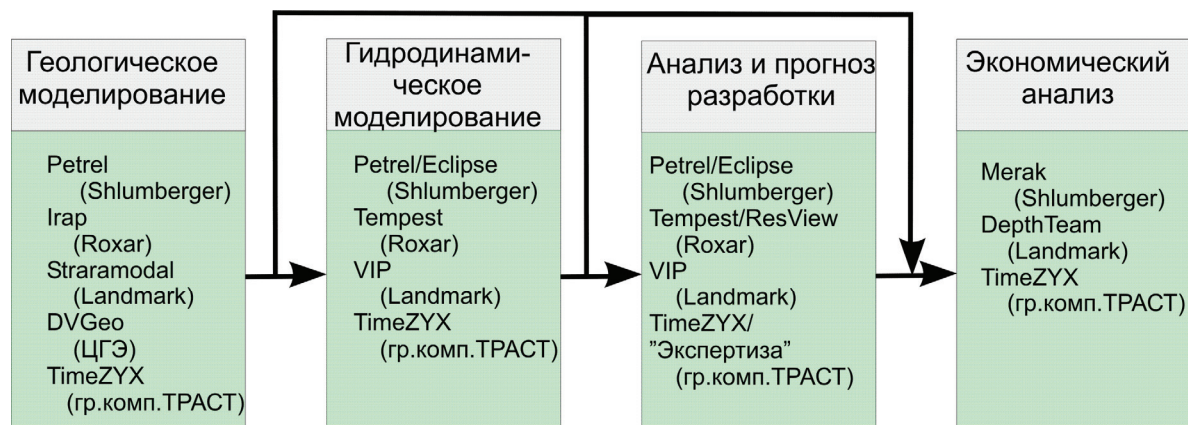


Рис. 2. Схема базовых программных средств

известные компании, как Schlumberger, Landmark Graphics и Roxar Software Solutions. Эта тройка производителей ПО для моделирования нефтегазовых месторождений завоевала основную долю мирового рынка. Их партнерами являются ряд крупнейших фирм, работающих на рынке программного и аппаратного обеспечения: Sun Microsystems, IBM, Intel, Hewlett Packard и др. Так, например, в качестве стратегического партнера компании Landmark выступает фирма Accenture, которая занимает ведущее положение в разработке революционных ИТ-решений в сфере E&P (Engineering&Production). Использование технологий Linux корпорации IBM позволило компании Landmark существенно повысить производительность вычислений и сэкономить на этом огромные ресурсы.

Перечисленные выше ведущие компании-разработчики программных средств имеют большие успехи в организации и управлении производством, поскольку образованы они путем слияния и реорганизации ряда других фирм, наследуя их решения, инфраструктуру и опыт. Иллюстрацией этому может служить компания Roxar Software Solutions, которая была организована в 1999 г. в результате слияния Multi-Fluid ASA и Smedvig Technologies AS. Эта компания демонстрирует сегодня стремительные темпы развития бизнеса.

Среди клиентов Schlumberger, Landmark, Roxar можно отметить такие нефтяные гиганты, как Statoil, Hydro, BP, TotalFinaElf, Philips, Halliburton, PGS, Shell, ChevronTexaco, WinterShal, Conoco, Upocal, OXY, Apache и др. В ряде ведущих нефтяных компаний России, таких как «Роснефть», «ЛУКОЙЛ», «ТНК-ВР», «Башнефть», «Татнефть», «Сибнефть», также широко используются упомянутые выше программные системы, как на этапах проектирования, так и при мониторинге и управлении процессом разработки месторождений.

При этом следует отметить, что предлагаемыми ведущими компаниями совокупности модулей и систем представляют собой технологически и функционально взаимозаменяемые линейки программных средств для комплекса работ по геологи-

ческому и гидродинамическому моделированию с последующими экономическими расчетами и информационным обеспечением процесса бурения.

Анализ структуры, состава и опыта применения культивируемого на рынке ПО для трехмерного моделирования процессов добычи нефти показывает, что успех внедрения и широкого применения программных средств иностранных компаний обусловлен рядом факторов. В их числе:

- интегрированный характер ПО, охватывающего весь цикл проектирования (от обработки сейсмической информации до моделирования месторождений углеводородного сырья и прогнозирования оценки экономических рисков при разработке);
- наличие «сервисных» центров, обеспечивающих информационную и техническую поддержку пользователей ПО;
- наличие центров обучения с последующей сертификацией пользователей;
- большой опыт внедрений и апробации в ряде наиболее известных компаний;
- партнерство с производственными, проектными и научными организациями (совместные разработки, проекты, НИР и т. п.), в том числе с ведущими производителями системных программных и аппаратных средств и т. д.;
- иммунитет к финансовой нестабильности на рынке ПО в силу того, что сферы деятельности компаний глобальны (от разработки оборудования для бурения скважин до владения акциями ведущих нефтяных компаний мира).

Технологические линейки ПО Schlumberger, Landmark, Roxar обладают рядом несомненных достоинств:

- позволяют охватывать весь цикл проектирования управления (от мониторинга до сопровождения процесса разработки месторождений);
- обеспечивают использование клиент-серверных технологий и единых баз данных;
- гарантируют надежность работы ПО и сервисное обслуживание на высоком уровне.



К недостаткам зарубежного базового программного обеспечения для моделирования месторождений нефти и газа в российских компаниях и проектных институтах следует отнести:

- преимущественно англоязычный, не всегда удобный, пользовательский интерфейс, что создает дополнительную сложность для пользователей;
- документооборот, не ориентированный на регламент, предусмотренный российским законодательством;
- сложность модифицирования базового ПО (включения дополнительных расчетных модулей, новых авторских алгоритмов и программ);
- высокую стоимость.

Представленный обзор программных средств показал, что рынок ПО в области моделирования и сопровождения разведки и разработки месторождений нефти и газа весьма насыщен. При выборе тех или иных систем и технологий необходимо руководствоваться определенными критериями, которые бы позволили объективно осуществить выбор.

На основе анализа проблемы и опыта применения разнообразного зарубежного и отечественного ПО предлагается оценивать программные средства следующим набором критериев:

- надежностью функционирования ПО, подтвержденной опытом работы в ведущих российских компаниях;
- функциональной полнотой (обеспечением всего набора технологических потребностей пользователя);
- информационной и сервисной поддержкой фирмой производителем, включая подготовку пользователей;
- интеграцией с дружественным ПО (возможностью использования существующих лицензий ПО в технологическом процессе);
- возможностью импортно-экспортных операций;
- простотой пользовательского интерфейса;
- открытостью форматов данных с целью создания дополнительного программного кода или внедрения собственных программных средств;
- простотой и удобством администрирования ПО;
- возможностью выполнения параллельных вычислений;
- признанием контролирующими органами и комиссиями [2, 3].

Указанные выше критерии учитывают не только специфику работы крупных нефтегазовых компаний, их проектных отделов и институтов, но и малых компаний-недропользователей, число которых в последние годы в России возрастает.

*Высокая стоимость* и большие трудозатраты программных линеек базового ПО (рис. 2) создают серьезные препятствия их повсеместного использования в условиях соблюдения лицензионных прав, что делает актуальной разработку замещающих полностью или частично блоков и элементов рассмотренных технологических линеек. Кроме того, в силу очень *больших объемов разнородной информации* о таком сложном объекте, как месторождение, ее необходимо хранить в структурированном виде и эффективно администрировать. Поэтому формализация процесса описания геологических объектов, включая их трехмерные цифровые геологические и гидродинамические модели и проектно-технологические документы, не теряет своей актуальности. Несмотря на множество попыток описания базы данных месторождения на уровне компаний для управления конкретными промыслами, указанные решения являлись либо уникальными, либо для широкого применения, все еще пребывают в стадии становления. Ниже приводится предложенная версия формализованного описания процесса *геологического моделирования (GM)* [4].

На входе процесса имеем исходный набор геологической и/или технологической информации  $I_G$ , на выходе — множество описаний  $\{R_{Gi}\}$  (множество реализаций геологической модели) размерностью  $n$ .

Обозначим через  $F_G$  преобразование исходного описания в конечное:

$$I_G \xrightarrow{F_G} \{R_{Gi}\}.$$

Конечное описание  $R_{Gk} \in R_G$ , являющееся реализацией геологической модели становится основой для выполнения проекта.

Преобразование  $F_G$  представляет собой множество последовательно выполняемых процедур по обработке, визуализации и анализу данных с последующим расчетом множества реализаций геологической модели с помощью базового ПО. При этом разработчиком выполняется сбор исходных данных  $D_G$ , выбор из числа  $n$  реализаций удовлетворяющего решения  $R_{Gk}$  и создание непосредственно проектного документа  $P_T$  из множества проектных документов  $P$ .

Повышение эффективности моделирования может быть достигнуто посредством создания и использования дополнительного ПО и, таким образом, появления в моделях преобразования  $F_{ss}$ , описывающих работу библиотеки дополнительных функций на всех этапах моделирования. Так, в модели процесса GM предлагается применение дополнительных или замещающих преобразований при обработке исходного набора геолого-технологической информации, формировании реализаций  $R_G$ , выборе итоговой реализации и формировании проектного документа  $P_T$  (рис. 3).

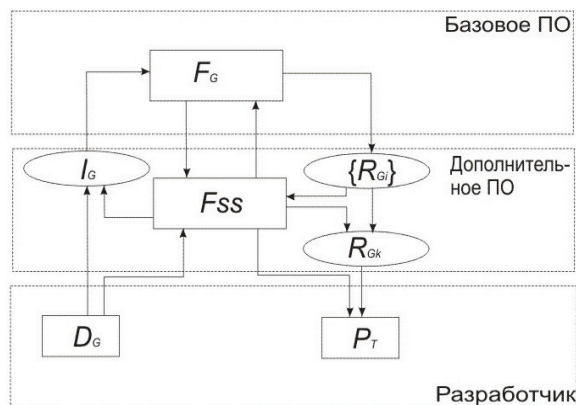


Рис. 3. Модель процесса геологического моделирования

На входе процесса *гидродинамического моделирования (GDM)* имеем исходный набор [4]: результаты геологического моделирования – выбранную реализацию  $R_{Gk}$  и комплекс геолого-технологической информации (по результатам бурения, исследований, эксплуатации скважин)  $I_{GD}$ , на выходе – множество описаний  $\{R_{GDi}\}$  (множество реализаций геологической модели) размерностью  $m$ .

Обозначим через  $F_{GD}$  преобразование исходного описания для создания GDM в конечном:

$$I_{GD} \xrightarrow{F_{GD}} \{R_{GDi}\}.$$

Преобразование  $F_{GD}$  представляет собой множество последовательно выполняемых процедур по обработке, визуализации, анализу данных с последующим расчетом множества реализаций гидродинамической модели в среде специализированного базового ПО. При этом разработчиком выполняется сбор исходных данных  $D_{GM}$ , выбор из числа  $m$  реализаций удовлетворяющего решения  $R_{GDK}$ .

Обозначим через  $F_{POP}$  преобразование исходного описания в конечном:

$$R_{GDK} \xrightarrow{F_{POP}} \{POP_i\}.$$

Таким образом, описание  $R_{GDK} \in R_{GD}$ , являющееся реализацией гидродинамической модели, становится основой для формирования множества прогнозных решений  $POP$  посредством  $F_{POP}$ -преобразования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ямпольский В.З., Захарова А.А., Иванов М.А., Чернова О.С. Анализ программного обеспечения для трехмерного моделирования и оптимизации разработки месторождений нефти и газа // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 7. – С. 50–55.
2. Закревский К.Е., Майсюк Д.М., Сыртланов В.Р. Оценка качества 3D-моделей. – М.: ИПЦ «Маска», 2008. – 271 с.

Разработчик осуществляет выбор предпочтительных реализаций  $POP$ , из множества возможных  $POP$  и формирует проектный документ  $P_{TD}$  из множества проектных документов  $P$ .

В модели процесса GDM применение дополнительных или замещающих преобразований предлагается при обработке исходного набора геолого-технологической информации, формировании альтернативных реализаций  $R_{GD}$ , выборе предпочтительной реализации, формировании набора прогнозных реализаций и выборе итоговых прогнозных реализаций для проектного решения  $P_{TD}$ , создание которого также осуществляется с использованием библиотеки преобразований  $F_{SS}$  (рис. 4).

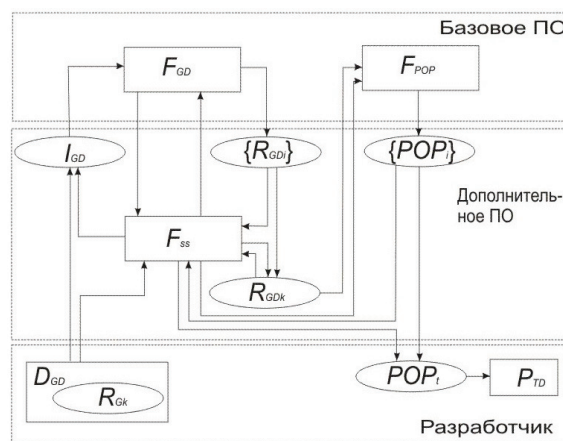


Рис. 4. Модель процесса гидродинамического моделирования

Приведенные обобщенные модели формализованного описания сложных процессов геологического и гидродинамического моделирования нефтегазовых месторождений, основанные на использовании базового ПО, иллюстрируют место и роль дополнительного и замещающего алгоритмического и программного обеспечения, созданного с участием авторов. Как показывает научный и практический опыт применения таких средств, они являются действенным средством снижения ресурсоемкости информационных технологий по основополагающим критериям цена и время.

3. Регламент по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. РД 153-39.0-047-00. – М., 2000. – 76 с.
4. Захарова А.А., Ямпольский В.З. Оптимизация технологии моделирования нефтегазовых месторождений на основе цифровых 3D геологических и гидродинамических моделей // Проблемы информатики. – 2009. – № 2. – С. 38–42.

Поступила 30.04.2010 г.