

## ПРЕ- И ПОСТПРОЦЕССИНГ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Д. А. Завьялов, А. А. Захарова

Институт кибернетики Национального исследовательского  
Томского политехнического университета, 634034, Томск, Россия

УДК 622.276.1

Показана актуальность автоматизации операций пре- и постпроцессинга геологического и гидродинамического моделирования месторождений нефти и газа, представлено программное обеспечение GMLayering (определение исходного разбиения геологической модели на слои с учетом геофизических свойств по скважинам на этапе препроцессинга геологической модели), AdaptIt (автоматизация процессов адаптации гидродинамических моделей) и RePort (генерация текстовой, табличной и графической отчетности по показателям геологических и гидродинамических моделей месторождений нефти и газа).

**Ключевые слова:** 3D-моделирование, месторождение, нефть, геологическая модель, гидродинамическая модель, адаптация, прогноз.

The article shows the need of automating of pre-and post-processing of geological and fluid modeling of oil and gas fields, provides the software GMLayering (determining the initial partition of the geological model into layers based on geophysical properties of the wells during the preprocessing of the geological model), AdaptIt (automating of fluid models' adaptation) and RePort (generating of text, tables and graphics of indices of geological and fluid models of oil and gas fields).

**Key words:** 3D modeling, oilfield, oil, geological model, fluid model, adaptation, prediction.

В соответствии с лицензионным соглашением недропользователь обязан разрабатывать месторождение согласно проектным решениям, реализуемым с применением технологий 3D-моделирования месторождений нефти и газа. Существуют различные типы проектов разработки месторождений, но все они предполагают построение цифровых 3D-моделей для составления оптимального прогноза на разработку месторождений углеводородного сырья, минимизации экономических и экологических рисков и достижения максимальной отдачи пласта [1].

На основных стадиях моделирования месторождения применяются специализированные программные комплексы, однако наиболее важными этапами выполнения проектов разработки месторождений нефти и газа являются этапы пре- и постпроцессинга основных стадий проекта.

Препроцессинг представляет собой предварительную обработку данных, проверку наличия ошибок в них и подготовку их для использования на следующей стадии проекта. Постпроцессинг – обработка результатов каждой стадии проекта – включает операции по подготовке и форматированию данных, составлению регламентных таблиц, оформлению основ для графических

приложений, проведению экспертизы полученных цифровых моделей, а также анализ результатов и оперативный прогноз.

В общем случае процесс моделирования месторождений нефти и газа можно представить в виде последовательности пяти основных стадий (рис. 1):

1. Работа с исходными данными.
2. Геологическое моделирование. На данной стадии строится трехмерная статическая модель пласта и на ее основе вычисляются запасы углеводородов.
3. Гидродинамическое моделирование. Построение трехмерной динамической модели пласта на основе геологической. Гидродинамическая модель в динамике показывает изменение свойств пласта и объемов запасов, темпы отборов углеводородов по скважинам в процессе разработки месторождения.
4. Создание прогнозных вариантов разработки месторождения и различных вариантов расстановки скважин, симуляция работы месторождения. Данная стадия является наиболее затратной по времени и вычислительным ресурсам.
5. Экономический анализ прогнозных вариантов. Расчет экономических показателей эффективности разработки месторождения по нескольким прогнозным вариантам, определение наиболее эффективного варианта разработки.

Все задачи, решаемые на этапах пре- и постпроцессинга основных стадий моделирования месторождений нефти и газа, можно разделить на следующие группы:

- визуализация и визуальный анализ (построение графиков, карт, разрезов и схем расстановки скважин);
- математический, статистический анализ (загрубление геологической модели, выявление математических зависимостей, разбиение геологической модели на слои, построение  $j$ -функции, подсчет запасов);
- обработка данных (генерация прогнозных вариантов, построение регламентных таблиц, генерация файлов для гидродинамической модели);
- оперативный прогноз;
- экспертиза;
- адаптация.

Актуальность пре- и постпроцессинга определяют следующие критерии:

- автоматизация: вследствие итеративности и многовариантности процесса моделирования, а также больших объемов обрабатываемых данных любая задача пре- либо постпроцессинга сложнореализуема "вручную";
- оперативная оценка – возможность на основе результатов каждой стадии проекта прогнозировать наиболее вероятные результаты следующей стадии либо ограничивать их определенными рамками;
- оптимизация: операции пре- и постпроцессинга снижают риск возникновения ошибок во входных данных в процессе моделирования, а выполнение предварительных экспресс-оценок сужает круг возможных решений, тем самым уменьшая количество итераций каждой стадии проекта, а значит, и время выполнения проекта в целом;
- экспертиза цифровых моделей – возможность еще до проверки специальной комиссией оценить правильность построения моделей, корректность полученных результатов, выявить и

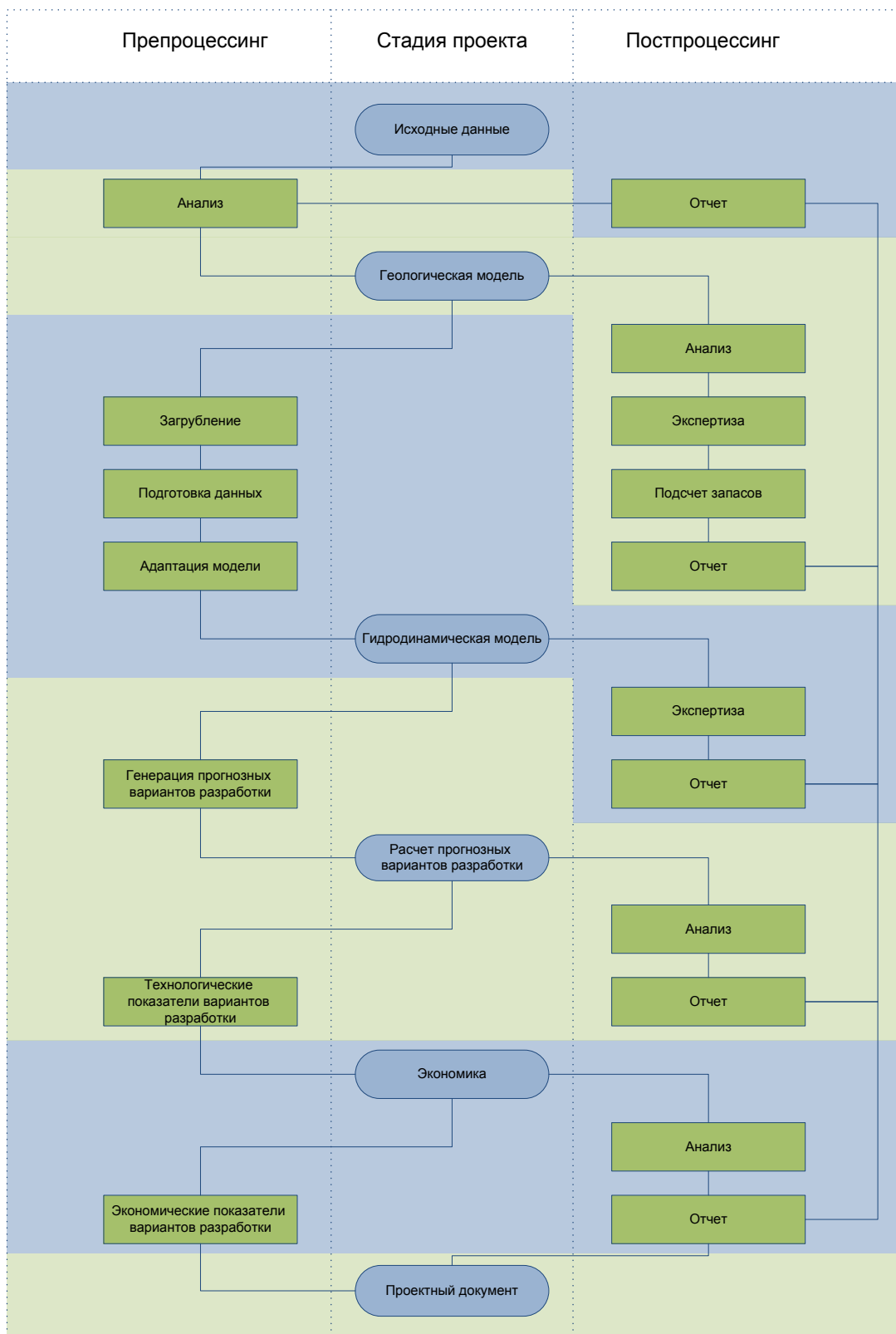


Рис. 1. Схема стадий пре- и постоброцессинга геологических и гидродинамических моделей месторождений нефти и газа

контролировать границы изменения значений основных параметров; также экспертиза моделей чрезвычайно важна для внутреннего контроля текущего состояния проекта;

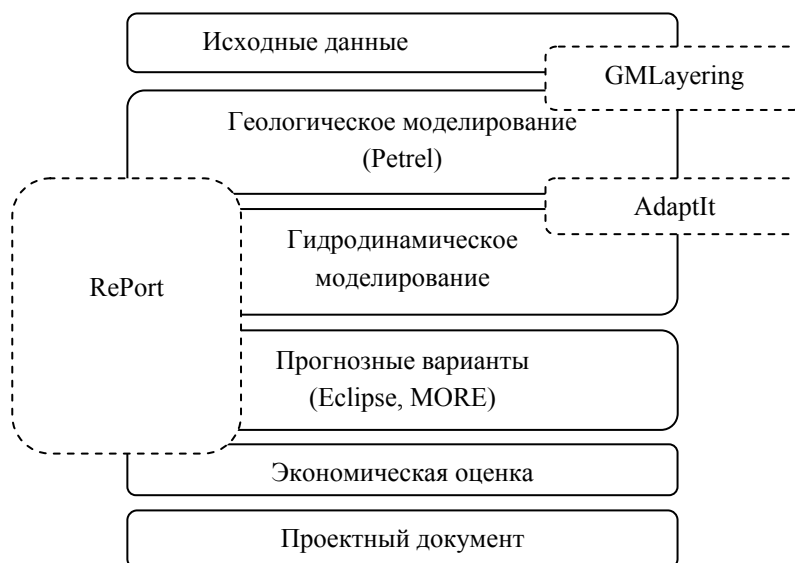


Рис. 2. Место программных модулей в технологической цепочке проекта

– адаптация – возможность актуализировать геологическую модель месторождения на основе технологических показателей и данных о добыче флюидов.

Для выполнения геологического и гидродинамического моделирования месторождений существует специализированное программное обеспечение таких крупных компаний, как Landmark, Roxar, Schlumberger и TimeZYX, которое позволяет частично решать и задачи пре- и постпроцессинга.

Использование крупных программных комплексов позволяет минимизировать риск несоответствия входных данных, отслеживать изменения как входных данных, так и самих моделей, синхронизировать работу нескольких специалистов, сопровождать проект на всех стадиях его разработки (<http://www.lgc.ru/>, <http://www.roxar.ru/>, <http://www.slb.ru/>).

Использование единой базы данных проектов также сводит к минимуму риск возникновения ошибок и уменьшает время выполнения проекта.

Многие программные средства для пре- и постпроцессинга моделей, как и для самого процесса моделирования, создаются небольшими компаниями или группами, включающими программистов. Однако они не могут в полной мере удовлетворить потребности разработчиков трехмерных цифровых геологических и гидродинамических моделей месторождений. В основном это обусловлено спецификой работы организаций, занимающихся сопровождением разработки нефтегазовых месторождений.

Таким образом, даже в крупных компаниях, которые могут приобрести многомиллионные лицензии на специализированные программные пакеты, всегда создаются программы и утилиты узкого назначения для внутреннего пользования. Такие утилиты призваны выполнять специфические, но сложнореализуемые "вручную" задачи.

В лаборатории 3D-моделирования Института кибернетики Томского политехнического университета разрабатывается модульный программный комплекс, который должен охватить все этапы пре- и постпроцессинга геологических и гидродинамических моделей [2]. Часть модулей комплекса находится в эксплуатации, остальные – на стадии разработки или тестирования. На рис. 2 представлено место модулей GMLayering, AdaptIt и RePort в технологической цепочке моделирования месторождения.

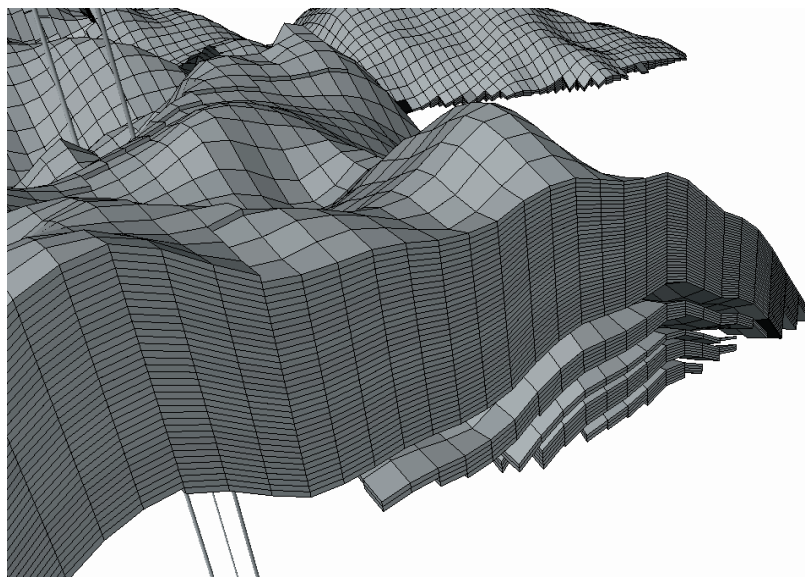


Рис. 3. Фрагмент геологической модели месторождения

Геологическая модель месторождения представляет собой трехмерный грид (рис. 3), в каждой ячейке которого задаются значения параметров модели. На одном из этапов построения геологической модели необходимо определить количество слоев, т. е. размерность модели по вертикали. Количество слоев геологической модели задается как максимальное число значений геофизических свойств скважины в интервале пласта либо выбирается меньшим по сравнению с этим числом, но, как правило, не обосновывается. В обоих случаях модель получается недостаточно достоверной. Это обусловлено тем, что для разных скважин количество интервалов, на которых определяются геофизические параметры, различно и может варьироваться, а количество слоев задается постоянным по всей геологической модели. Так как число слоев в модели отличается от количества интервалов значений геофизических параметров для скважин, эти значения осредняются с помощью различных алгоритмов [3]. Погрешность такого осреднения может быть достаточно большой. Задача разработки GMLayering сводится к минимизации этой погрешности, а следовательно, к получению максимально достоверной геологической модели.

Программное обеспечение GMLayering предназначено для определения исходного разбиения геологической модели на слои с учетом геофизических свойств скважин на этапе препроцессинга геологической модели.

Принцип работы GMLayering представлен на рис. 4. Программа анализирует возможность объединения интервалов геофизики как в отдельно взятых скважинах (рис. 4,а), так и во всех имеющихся скважинах (рис. 4,б).

В GMLayering реализуются алгоритмы подбора оптимального и минимального количества слоев геологической модели путем определения корреляции интервалов значений геофизических параметров скважины между собой, а также между различными скважинами.

При моделировании действующего месторождения необходимо учесть историю его разработки, чтобы модель максимально соответствовала текущему состоянию пласта. Для этого в гидродинамическую модель вводятся фактические данные о добыче на имеющихся на месторождении скважинах, а параметры модели изменяются до тех пор, пока модельные технологические показатели скважин не приблизятся к фактическим с определенной погрешностью.

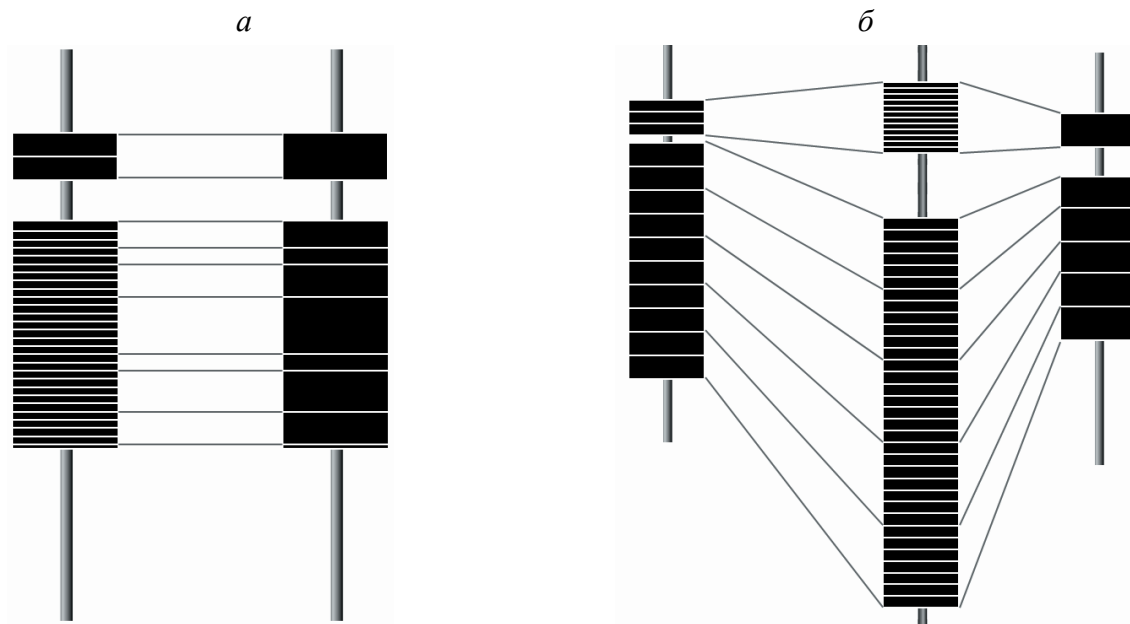


Рис. 4. Принцип работы GMLayering:  
*а* – для отдельных скважин; *б* – для всех скважин

Существует большое количество различных подходов к адаптации моделей месторождений. Как правило, процесс адаптации выполняется разработчиком "вручную", т. е. адаптируется каждая скважина в отдельности. Однако на крупных месторождениях имеются сотни таких скважин. Для ускорения процессов пересчета большие модели разбиваются на отдельные секторы, каждый из которых адаптируется отдельно. После адаптации все секторы "соединяются". Длительность выполнения расчета модели имеет большое значение, так как модель в процессе адаптации пересчитывается многократно.

Ряд трудностей возникают еще до начала процесса адаптации модели и обусловлены тем, что фактические данные о работе месторождения, как правило, поступают в больших объемах и в неструктурированном виде. Эти данные необходимо загрузить в модель и тщательно проверить. Некоторые показатели рассчитываются на основе фактических данных, и даже небольшая погрешность за десять лет истории разработки возрастает на несколько порядков. Подобные расхождения недопустимы, поэтому после загрузки данных происходит расчет модели. В случае отсутствия расхождений накопленных показателей (суммарных показателей на последнем модельном шаге) можно утверждать, что текущие показатели на каждом расчетном шаге загружены верно.

Адаптация модели осуществляется по нескольким параметрам: добыче нефти, воды и жидкости, закачке рабочего агента, забойному давлению скважин и пластовому давлению. При этом модельные показатели могут отличаться от фактических в пределах определенной погрешности. Обычно предел погрешности составляет 10 %, однако заказчиком могут быть установлены и более жесткие границы.

Данные о добыче флюидов и закачке не должны существенно отличаться от фактических на протяжении всей истории разработки. Еще одним требованием, предъявляемым к качеству адаптации модели, является контроль накопленных показателей с определенным интервалом (на конец года, квартала).

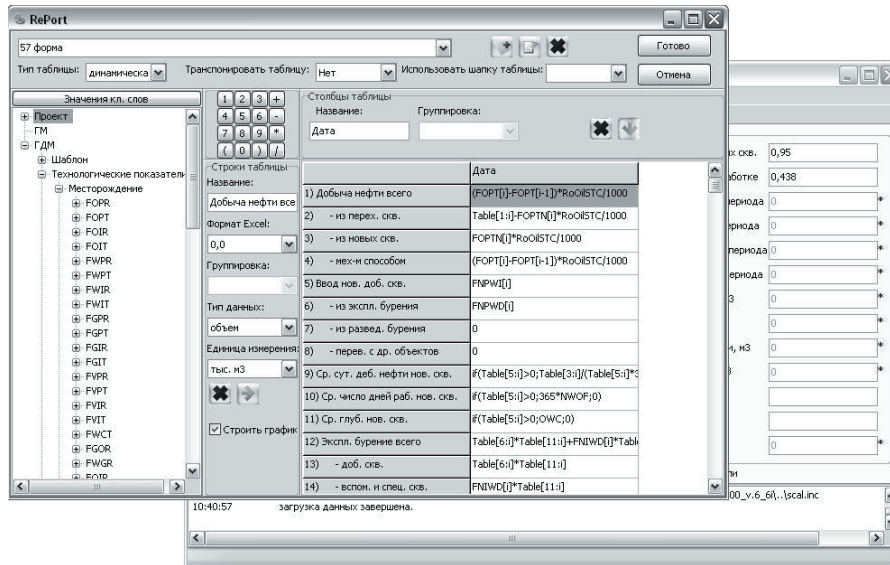


Рис. 5. Интерфейс конструктора отчетности RePort

Так как при моделировании свойств пласта в основе геологической модели лежат геофизические данные не по всем имеющимся скважинам, то фактические данные о добыче флюидов являются дополнительной информацией для уточнения и корректировки модели.

Ниже указаны основные стадии адаптации:

- 1) обработка, загрузка в модель и проверка фактических данных;
- 2) анализ состояния модели;
- 3) адаптация закачки рабочего агента;
- 4) адаптация пластового давления;
- 5) адаптация добычи воды и нефти;
- 6) адаптация забойного давления скважин;
- 7) экспертиза качества проведенной адаптации модели.

Для адаптации гидродинамических моделей месторождений применяются различные методы: изменение свойства проницаемости в районе проблемных скважин, изменение коэффициента дефекта призабойной зоны скважин, изменение коэффициентов проводимости скважин либо отдельных соединений скважин, ввод либо удаление непроницаемых пропластков, изменение критических нефте- и водонасыщенностей, изменение вида относительных фазовых проницаемостей, изменение перфораций скважин, ввод заколонных циркуляций из искусственного водоносного горизонта. Для автоматизации указанных методов адаптации используется программное обеспечение AdaptIt, позволяющее значительно ускорить процесс адаптации месторождения.

Программное обеспечение RePort предназначено для автоматической генерации текстовой, табличной и графической отчетности по показателям геологических и гидродинамических моделей месторождений нефти и газа (рис. 5).

Для получения регламентированных российским законодательством таблиц по геологической модели из программного комплекса Petrel Schlumberger загружаются грид и свойства модели. Отчетность по показателям гидродинамической модели строится на основе технологических показателей прогнозных вариантов разработки месторождения.

Особенностью RePort является наличие конструктора отчетности, с помощью которого путем несложных операций с использованием технологических показателей, а также свойств проекта составляются пользовательские шаблоны отчетов. При этом алгоритмы расчета показателей задаются пользователем на встроенном языке формул.

Программное обеспечение RePort предоставляет следующие возможности:

- обработка результатов геологического и гидродинамического моделирования;
- автоматическая генерация различных видов регламентных таблиц;
- автоматическая генерация текстовой и графической отчетности;
- конструктор отчетности;
- экспорт таблиц в форматах MS Excel и MS Word.

В работе рассмотрены этапы пре- и постпроцессинга основных стадий 3D-моделирования месторождений нефти и газа, их составляющие и роль в проектировании разработки месторождений. Также показаны их актуальность и необходимость автоматизации. Представлены решения, которые могут быть использованы для автоматизации процессов разбиения геологических моделей на слои, адаптации гидродинамических моделей и формирования отчетности.

#### Список литературы

1. ЗАХАРОВА А. А. Алгоритмическое и программное обеспечение геоинформационной системы для решения гидрогеологических задач: Дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2002. 21 с.
2. ИВАНОВ М. А. Алгоритмы и программы для автоматизации 3D-гидродинамического моделирования месторождений нефти и газа: Дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2010. 24 с.
3. ИВАНОВ М. А., ЗАХАРОВА А. А. Оптимизация процесса цифрового 3D-моделирования месторождений нефти и газа // Изв. ТПУ. 2008. Т. 312, № 5. С. 119–125.

*Завьялов Дмитрий Алексеевич – программист Института кибернетики  
Томского политехнического университета; тел. (382-2)42-06-98; e-mail: zda@tpu.ru;  
Захарова Алена Александровна – д-р техн. наук, зав. кафедрой,  
зав. лабораторией Института кибернетики  
Томского политехнического университета; тел. (382-2)42-06-98; e-mail: zaa@tpu.ru*

Дата поступления – 09.11.11