

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровикова О.И., Загорюлько Ю.А. Организация порталов знаний на основе онтологий // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Труды Междунар. семинара «Диалог'2002». – Протвино, 2002. – Т. 2. – С. 76–82.
2. Тихомиров И.А. Распознавание интерфейсов Интернет-ресурсов на основе использования неоднородных семантических сетей // Труды 9-й национальной конф. по искусственному интеллекту «КИИ'2004». – М.: Физматлит, 2004. – Т. 1. – С. 179–185.
3. Хорошевский В.Ф. Управление знаниями и обработка ЕЯ-текстов // Труды 9-й национальной конф. по искусственному интеллекту «КИИ'2004». – М.: Физматлит, 2004. – Т. 2. – С. 565–572.
4. Сидорова Е.А. Технология разработки тематических словарей на основе сочетания лингвистических и статистических методов // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Труды Междунар. конф. «Диалог'2005». – М.: Наука, 2005. – С. 443–449.
5. Загорюлько Ю.А., Кононенко И.С., Сидорова Е.А. Семантический подход к анализу документов на основе онтологии предметной области // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Труды Междунар. конф. «Диалог'2006». – М.: Изд-во РГГУ, 2006. – С. 468–473.
6. Боровикова О.И., Загорюлько Ю.А., Загорюлько Г.Б., Кононенко И.С. Подход к построению портала знаний по компьютерной лингвистике // Системный анализ и информационные технологии: Труды II Междунар. конф. – Обнинск, 2007. – Т. 1. – С. 126–129.

Поступила 05.03.2007 г.

Ключевые слова:

Онтологическая информация, Интернет-ресурсы, портал научных знаний, предметный словарь, онтология предметной области, поиск ресурсов, оценка релевантности, индексирование и классификация.

УДК 688.518:622.276

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЦИФРОВОГО 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

А.А. Захарова, М.А. Иванов

Институт «Кибернетический центр» ТПУ
E-mail: alen@cc.tpu.edu.ru, IvanovMA@tpu.ru

Предложена схема оптимизации процесса цифрового 3D-моделирования месторождений нефти и газа. Это позволяет сократить сроки проектирования разработки нефтегазовых месторождений, повысить качество и надежность создаваемых моделей. Разработанные программные средства автоматизируют различные этапы процесса моделирования и применяются при решении практических задач. Данные средства были опробованы при проектировании разработки ряда месторождений Томской области, а также при подготовке специалистов в области проектирования разработки нефтегазовых месторождений.

Сегодня нефтегазодобыча является одной из наиболее наукоемких и высокотехнологичных областей производства. Поэтому в ней в полной мере востребованы современные информационные технологии (ИТ), при помощи которых создаются цифровые трехмерные модели месторождений нефти и газа с целью оценки запасов и состояния разработки, а также прогнозирования технологических показателей для выбора наиболее оптимальной стратегии выработки залежей углеводородного сырья. Стремительное развитие компьютерных технологий позволяет использовать высокопроизводительные вычислительные машины совместно с разработанными программными технологиями для сбора, хранения, расчета, представления и анализа различного рода данных, относящихся к процессу трехмерного моделирования месторождений. Совокупность современных вычислительных систем и специализированных программных комплексов (ПК) – это необходимый инструмент для любой нефтегазодобывающей компании. Поэтому применение и развитие ИТ при моделировании состояния разработки месторождений весьма актуально [1].

В процессе создания трехмерных моделей месторождений нефти и газа можно выделить три основных этапа:

1. Геологическое (Г) моделирование.
2. Гидродинамическое (ГД) моделирование.
3. Анализ результатов моделирования с целью принятия решений по управлению проектированием и разработкой месторождений нефти и газа.

На рис. 1, в качестве примера, приведена схема процесса моделирования с применением программного обеспечения (ПО) компании Schlumberger.

Как видно из рис. 1, основными инструментами представленной компании при построении цифровых трехмерных моделей являются программные комплексы «Petrel» и «Eclipse» [2]. В процессе моделирования специалисту приходится обрабатывать, систематизировать и хранить большое количество входной и создаваемой в процессе работы информации. При этом средств управления и автоматизации данным процессом не предусмотрено в предложенной схеме, что существенно повышает временные затраты на проектирование разработки месторождений нефти

и газа. Таким образом, разработка дополнительных программных средств автоматизации ряда операций на отдельных этапах моделирования при создании цифровых моделей месторождений и на их основе проектной документации является важной задачей.

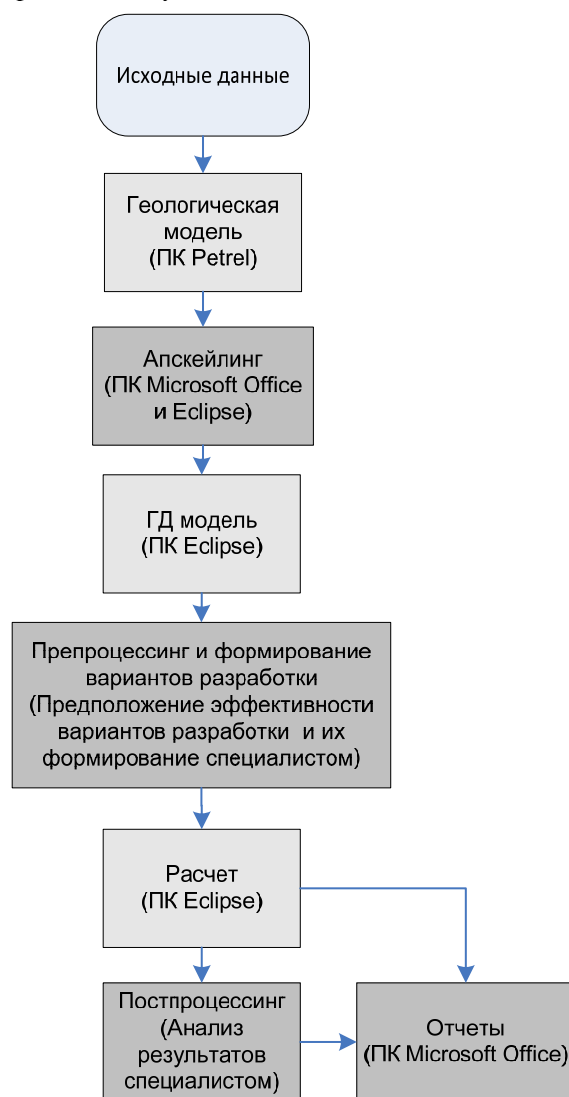


Рис. 1. Схема процесса моделирования с применением ПО компании Schlumberger

В рамках представленной выше технологии следует отметить актуальность создания следующих программных средств и модулей:

1. Разработка и реализация методов автоматической группировки вертикальных слоев во время ремасштабирования (загрубления исходной геологической модели) при переходе от геологической модели к гидродинамической.
2. Реализация автоматической генерации и размещения схем расстановки скважин при формировании прогнозных вариантов разработки.
3. Настройка автоматического отключения нагнетательных скважин с целью автоматизации настройки системы поддержания пластового давления (ППД).
4. Разработка средств для анализа (в том числе пространственного) и сравнения полученных вариантов.

Для повышения эффективности процесса моделирования и снижения временных затрат на разработку моделей, формирования прогнозных показателей и проектной документации, а именно, для автоматизации отдельных этапов работ в процессе моделирования представленная выше схема создания трехмерных цифровых моделей была расширена за счет разработки авторских программных средств и алгоритмов, рис. 2.

Разработанные программные средства состоят из следующих функциональных модулей:

1. ПО «J-function» автоматизирует расчет значений начальной водонасыщенности водонефтяного пласта. Используя данные капиллярометрии, а также значения поверхностных натяжений различных систем с учетом температуры и давления, данное программное средство позволяет определить коэффициенты для расчета водонасыщенности по формуле [3, 4].

$$ASw^{-B} = \frac{3,183((\rho_w - \rho_{nc})gh)}{\gamma \cos(\theta)} \sqrt{\frac{K}{\Phi}}, \quad (1)$$

где A и B – коэффициенты J -функции; ρ_w и ρ_{nc} – плотность воды и нефти в пластовых условиях, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; K – проницаемость, мДарси; Φ – пористость, доли ед.; h – высота над уровнем водонефтяного контакта, м.

Полученная зависимость имеет степенной вид, поэтому для нахождения ее коэффициентов необходимо прологарифмировать уравнение вида $y=ax^b$, чтобы привести его к линейной зависимости. В результате чего получается уравнение вида $\lg y = \lg a + b \lg x$. Далее составляем систему уравнений [5]:

$$\begin{cases} n \lg a + b \sum_{i=1}^n \lg x_i = \sum_{i=1}^n \lg y_i; \\ \lg a \sum_{i=1}^n \lg x_i + b \sum_{i=1}^n (\lg x_i)^2 = \sum_{i=1}^n \lg x_i \lg y_i, \end{cases} \quad (2)$$

где n – количество экспериментальных значений.

Линейная система (2) может быть решена любым известным методом (Гаусса, простых итераций, формулами Крамера). После получения значений коэффициентов A и B , применяя ур. (1), можно связать любое значение водонасыщенности с K и Φ при некоторой h выше зеркала свободной воды (границы разделов двух фаз – нефти и воды). Рассмотренный механизм расчета водонасыщенности актуален и в настоящий момент широко применяется при построении трехмерных моделей месторождений нефти и газа, но поддерживается не всеми соответствующими программными комплексами. Например, в ПК «Petrel» нет встроенных функций для расчета водонасыщенности с применением J -функции, а ПО «J-function» функционально дополняет базовое ПО.

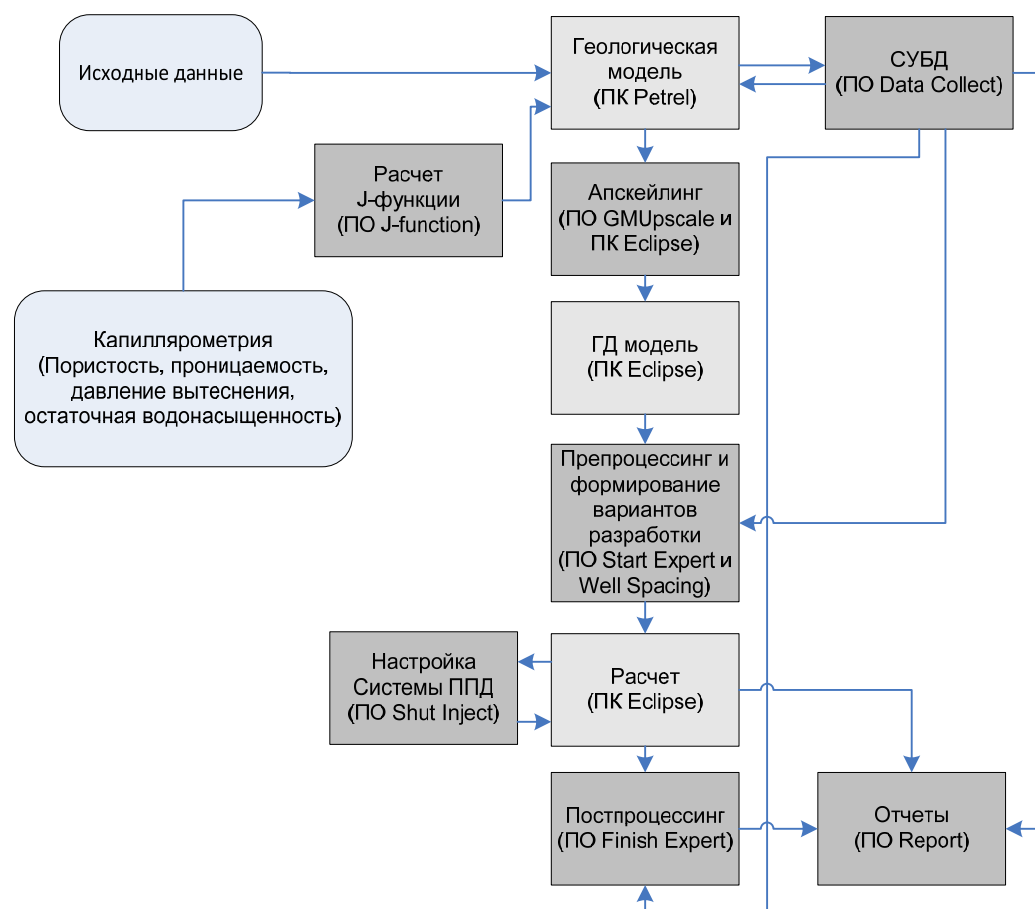


Рис. 2. Расширенная схема процесса моделирования с применением ПО компании Schlumberger и авторского ПО

2. ПО «Data Collect» является средством для сбора, хранения, анализа и представления исходных данных и результатов моделирования и проектирования, а также для поддержания процесса обмена данными между различными программными модулями. Данное ПО реализовано на базе реляционной системы управления базами данных «FireBird». Широкий набор исходных данных поступает на вход ПО – импортируются такие данные как: свойства пластовых флюидов, результаты лабораторных испытаний и исследований, геолого-физические характеристики пласта и др. Кроме того, предусмотрено хранение и структурирование исходных данных, представленных в отдельных файлах. ПО «Data Collect» позволяет быстро и легко получить доступ к структурированным при помощи него исходным данным.

На рис. 3 приведена часть концептуальной модели схемы хранения исходных данных.

4. ПО «GMUpscale» – программный модуль, выполняющий группировку (объединение) исходных слоев цифровой трехмерной модели по вертикали с помощью метода Лоренца при ремасштабировании. Данный модуль имеет важное значение для процесса моделирования, т. к. от качества выполнения закругления зависит и качество создаваемой гидродинамической модели. Цель проведения ука-

занной процедуры – уменьшение размерности исходной трехмерной геологической модели, которая является основой для моделирования процессов фильтрации в продуктивных пластах. Это сокращает время расчетов и сохраняет точность модели. На рис. 4 приведен пример ремасштабирования, выполненный при помощи метода Лоренца.

4. ПО «Start Expert» – экспертная система, позволяющая предварительно проанализировать имеющуюся информацию о структуре месторождения, о степени его расчлененности, вертикальной и горизонтальной неоднородности. «Start Expert» оценивает фильтрационно-емкостные характеристики залежи, рассчитывает продуктивность пласта и, в конечном счете, предлагает наиболее подходящие системы разработки для данного нефтегазового месторождения. На рис. 5 приведен пример алгоритма работы экспертного модуля.

5. ПО «Well Spacing» – программный модуль, который позволяет быстро и эффективно сформировать схему разработки месторождения с учетом всех необходимых параметров. Система «Well Spacing» выполняет несколько важных функций:

- обеспечивает связь между программным обеспечением компании Schlumberger и разработок других компаний;

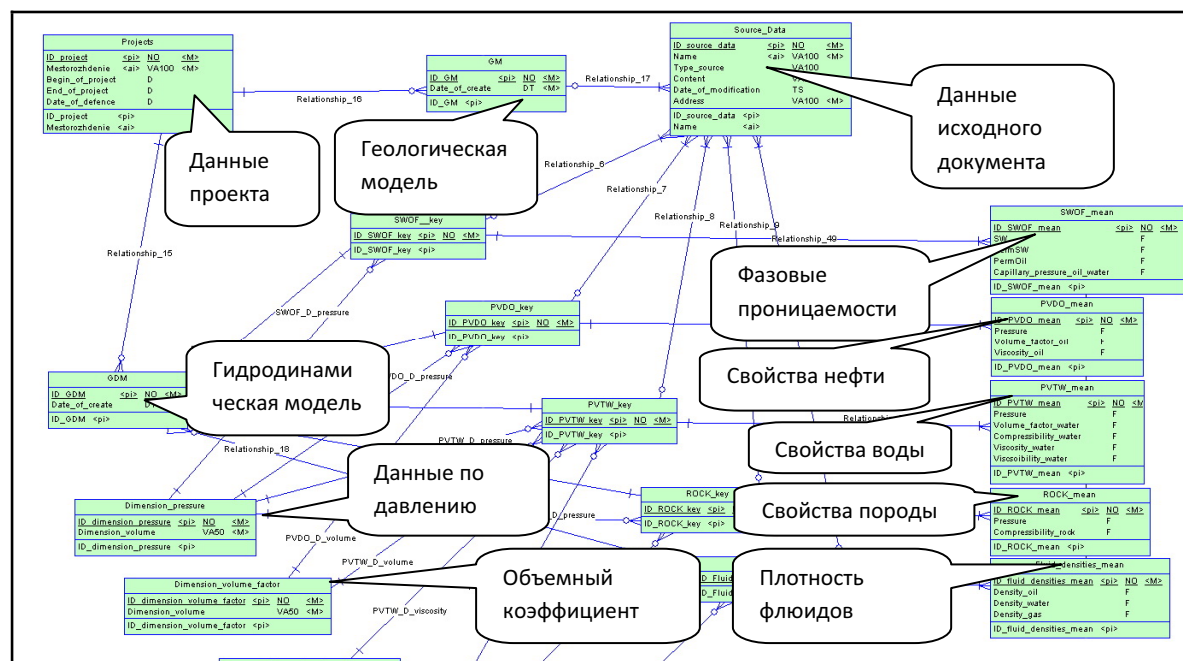


Рис. 3. Фрагмент концептуальной модели

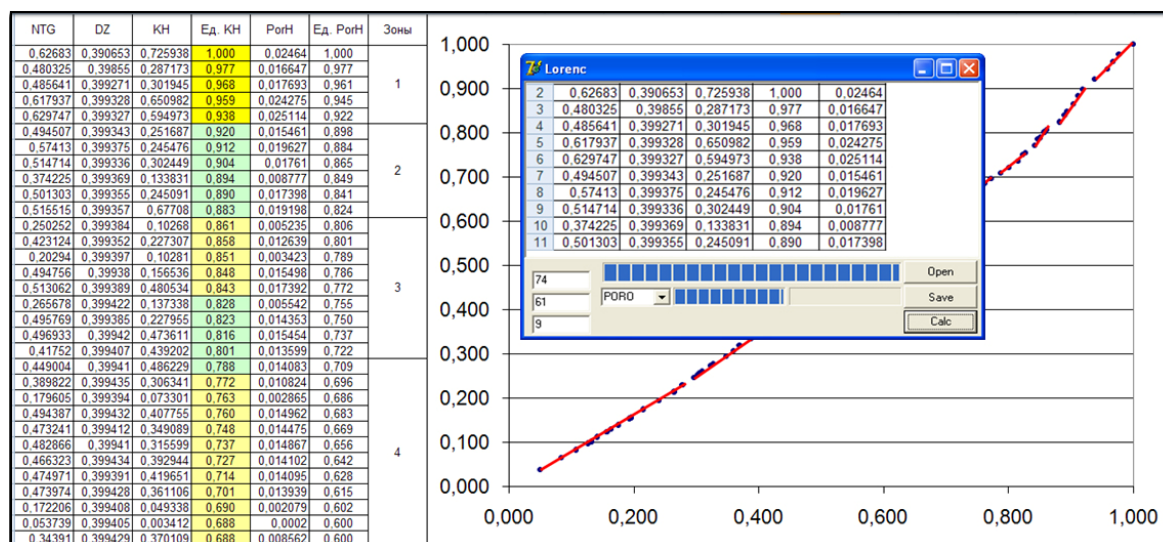


Рис. 4. Пример работы ПО «GMUpscale»

- выполняет экспорт сетки разбуривания в ГИС приложения с использованием обменного формата «mif»;
- позволяет быстро и удобно сформировать схему разработки месторождения с учетом всех необходимых параметров.

Помимо перечисленных функций в ПО «Well Spacing» существует возможность оценить начальные дебиты добывающих скважин в соответствии с формулой Дююи [6].

Таким образом, система «Well Spacing» является готовым решением для формирования схем разработки месторождений нефти и газа. На рис. 6 приведен пример формирования 5-точечной системы

разработки с учетом заданного контура водонефтяного контакта.

1. ПО «Shut Inject» — программный модуль для автоматической регуляции системы ППД модели с учетом произвольного критерия. Данный модуль позволяет:

- формировать и редактировать связи между добывающими и нагнетательными скважинами;
- управлять отключением как всех скважин в проекте, так и каждой скважиной в отдельности.

Таким образом, «Shut Inject» генерирует настроенный файл модуля Schedule (описание скважин, включая историю их работы) ПК Eclipse. Принцип работы «ShutInject» основан на механизме повтор-

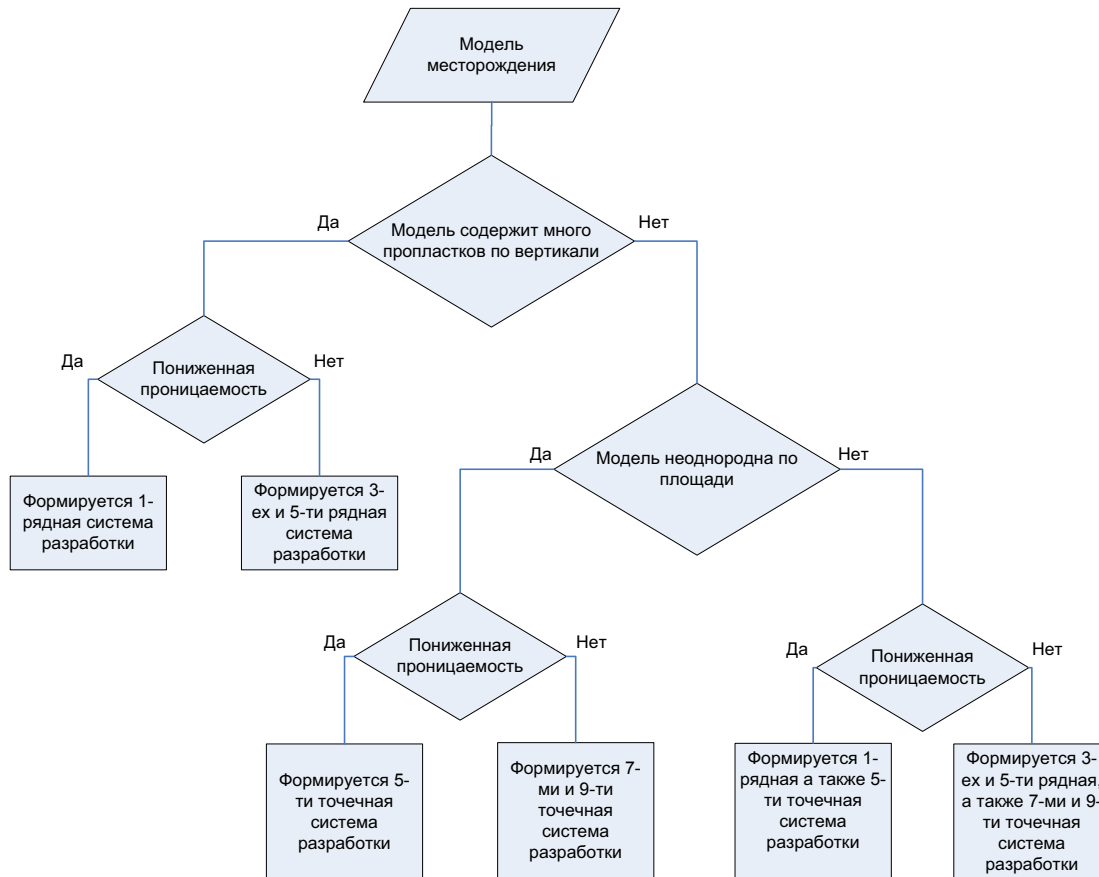


Рис. 5. Пример алгоритма работы экспертного модуля

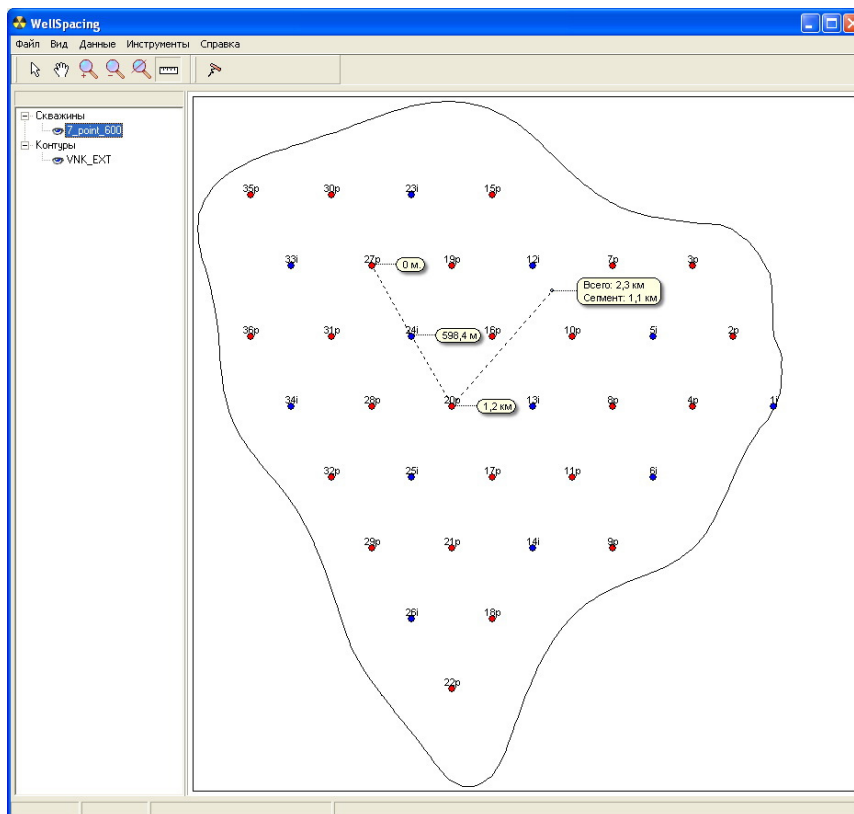


Рис. 6. Пример построения площадной семиточечной системы разработки с использованием ПО «Well Spacing»

ных запусков. Изначально ПО «ShutInject» запускает ядро ПК Eclipse и на вход подает файл проекта, в котором не настроено отключение нагнетательных скважин. По мере работы симулятора ПК Eclipse, «ShutInject» ведет постоянный анализ результатов, полученных в процессе моделирования, и, как только возникает событие отключения нагнетательной скважины, расчет останавливается, вносятся корректировки в исходные данные на нужную дату и запускается пересчет с момента,

предшествующего отключению. На рис. 5 приведен пример интерфейса ПО «Shut Inject».

6. ПО «Finish Expert» – экспертная система, обеспечивающая оценку полученных вариантов разработки месторождений по различным критериям с учетом экономической составляющей. Среди критериев для оценки выделяются: коэффициент извлечения нефти, динамика пластового и забойного давления, продуктивность работы скважин, степень охвата разработкой, время разработ-

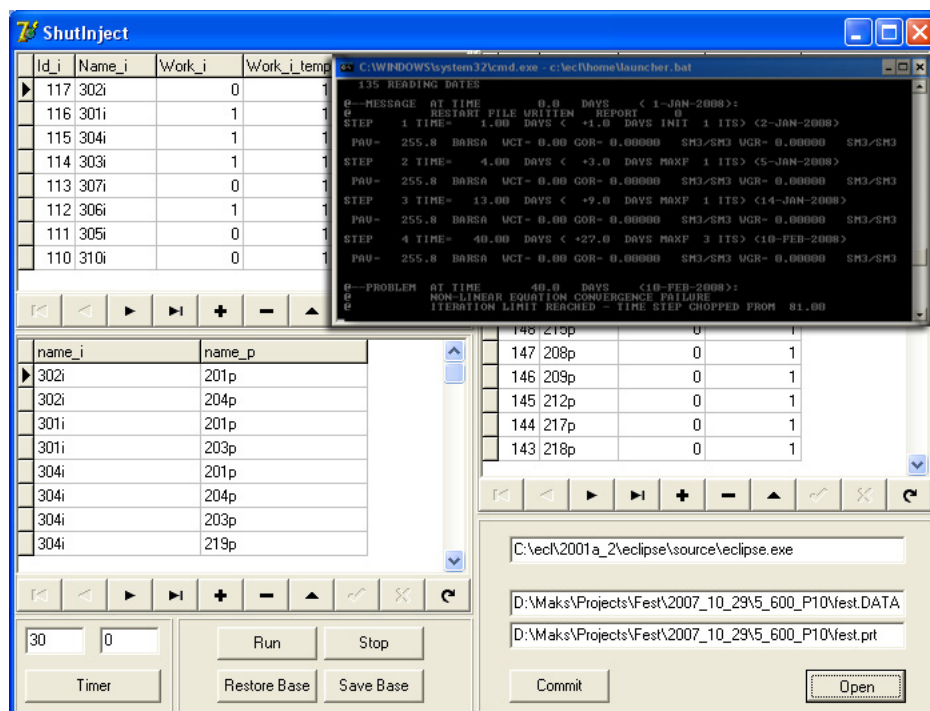


Рис. 7. Пример интерфейса ПО «Shut Inject»

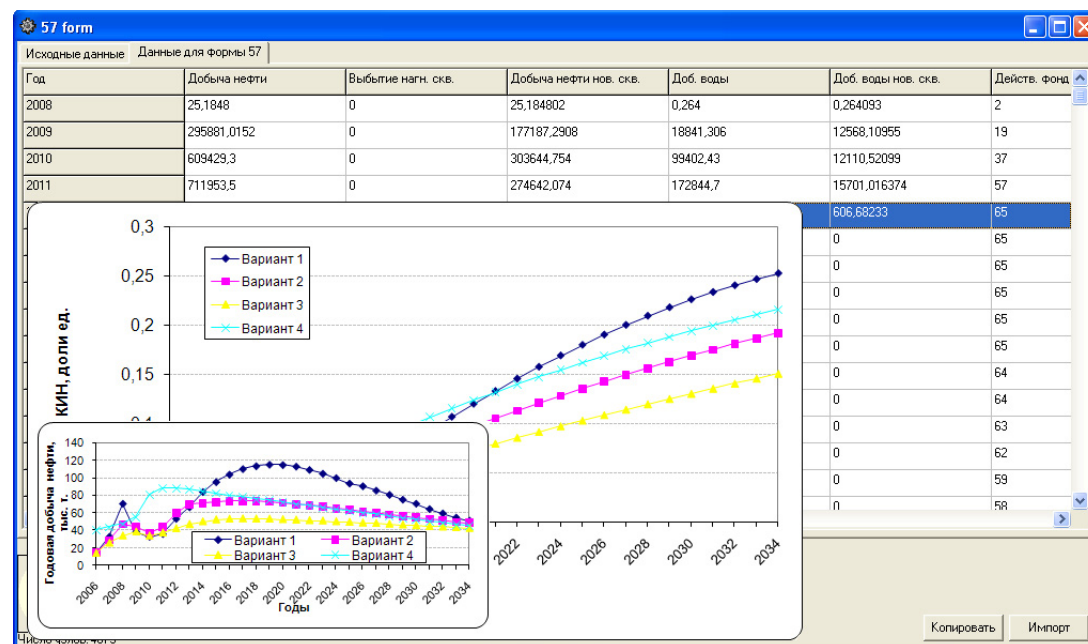


Рис. 8. Пример результата работы ПО «Report»

Таблица. Эффективность применения авторского ПО

ПО	Процесс	Объем данных		Без автоматизации		С автоматизацией	
		min	max	min	max	min	max
		Время, мин					
J-function	Расчет водонасыщенности	10 образцов керна	50 образцов керна	5	20	< 1	< 1
GMU upscale	Загрубление геологической модели	9 слоев ГД модели	40 слоев ГД модели	15	45	< 1	2
Start expert	Препроцессинг	простая структура месторождения	сложная структура месторождения	20	40	< 1	1
Well spacing	Формирование системы разработки	5 скважин	60 скважин	30	240	5	10
Shut inject	Настройка системы ППД	5 скважин	60 скважин	30	300	5	15
Finish expert	Анализ и выбор оптимального варианта	3 варианта разработки	8 вариантов разработки	5	30	< 1	4
Report	Формирование отчетов	3 варианта разработки	8 вариантов разработки	60	240	1	5
Итого:				165	915	15	38
Эффективность применения, %						90,9	95,8

ки и интенсивность отборов углеводородного сырья, скорость обводнения скважинной продукции и др. Созданное ПО в автоматическом режиме осуществляет анализ результатов моделирования – ряда прогнозных вариантов разработки – и рекомендует оптимальный.

7. ПО «Report» – программный модуль, который позволяет визуализировать и подготовить к печати основные показатели вариантов разработки моделей нефтегазовых месторождений в соответствии с нормативными и регламентными требованиями. Указанное ПО помогает специалисту при подготовке проектной документации, оперативно формирует все необходимые отчеты и графические приложения в автоматическом режиме. Пример результатов, полученных с использованием ПО «Report», приведен на рис. 8.

Оценить эффективность использования разработанных средств можно при помощи таблицы. В ней приведены временные затраты специалиста на

соответствующие процессы. Рассмотрены два случая: как для варианта без автоматизации процесса, так и для варианта, предполагающего такую автоматизацию. В первом случае опытный специалист обрабатывает небольшое количество входных данных. Во втором случае неопытный специалист работает с большим объемом данных. Таким образом, рассмотрено два противоположных случая. Предполагается, что во втором случае неопытный специалист будет тратить в разы больше времени, чем его более профессиональный коллега. Как видно из таблицы, эффективность применения разработанных программных средств колеблется в диапазоне от 90,9 до 95,8 %.

Таким образом, использование представленных выше авторских программных средств позволяет автоматизировать процесс формирования трехмерных моделей нефтегазовых месторождений и снизить временные затраты на подготовку соответствующей проектной документации.

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. – № 7. – Т. 309. – С. 50–55.
2. Программное обеспечение для разработки месторождений [Электронный ресурс] // нефтесервисная компания Schlumberger (10 файлов). – <http://www.slb.ru/sis/item98/>. – 01.03.06.
3. Каневская Р.Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. – 212 с.
4. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Розенберг Г.Д. Нефтегазовая гидромеханика. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 479 с.
5. Зубрицкас И.И. Обработка экспериментальных данных при однофакторном методе исследований [Электронный ресурс] // Новгородский гос. ун-т им. Ярослава Мудрого Электрон. дан. (1 файл). – http://www.novsu.ru/npe/files/um/1128/umk/OTND/Glava_5/glava_5.htm. – 01.03.06.
6. Щелкачев В.Н. Уточнение вывода основных динамических уравнений теории фильтрации // Известия вузов. Нефть и газ. – 1961. – № 2. – С. 87–93.

Поступила 17.04.2008 г.

Ключевые слова:

3D-модели месторождений нефти и газа, программные средства, информационные технологии