

**Анализ и оптимизация
гидродинамических моделей
ОАО «Сургутнефтегаз» для
оперативного планирования
геолого-технических
мероприятий**

Д.А. Ходанович,
Н.С. Бахтий
(Тюменское отделение
«СургутНИПИнефть»,
ОАО «Сургутнефтегаз»)

Адреса для связи:
khodanovich_da@surgutneftegas.ru,
bahtiy_ns@surgutneftegas.ru

Ключевые слова: гидродинамическая модель, планирование геолого-технических мероприятий (ГТМ), результаты интерпретации геофизических исследований скважин (РИГИС), анализ исходных данных, песчаные тела, эффективность заводнения, линии тока, экспресс-модель

За последние годы требования к качеству и детальности гидродинамических моделей существенно повысились. С увеличением числа объектов разработки и длительности их эксплуатации растет число проводимых геолого-технических мероприятий (ГТМ). В настоящее время гидродинамические расчеты применяются не только при проектировании разработки, но и при назначении большинства ГТМ. Для данных расчетов широко используется зарубежное программное обеспечение (ПО). В статье дано описание разработанных модулей корпоративного гидродинамического симулятора «Техсхема», которые используются для контроля качества геолого-гидродинамических моделей и оперативного планирования ГТМ.

Введение

За последние годы требования к качеству и детальности гидродинамических моделей существенно повысились. С увеличением числа объектов разработки и длительности их эксплуатации растет количество проводимых геолого-технических мероприятий (ГТМ). В настоящее время

**Surgutneftegas OJSC
hydrodynamic models analysis
and optimizations for operational
workover planning**

D.A. Khodanovich,
N.S. Bakhty
(Tyumen Branch of «SurgutNIPIneft»,
«Surgutneftegas» OJSC, RF, Surgut)

Адреса для связи:
khodanovich_da@surgutneftegas.ru,
bahtiy_ns@surgutneftegas.ru

Keywords: reservoir model, development strategy, well survey results, well data analysis, sand bodies, waterflooding efficiency, streamlines, express modelling

Requirements for reservoir model quality have significantly increased by the last few years. Number of well operations and duration of oil production are constantly increasing. Reservoir simulation is used not only for the field development projects, but also for most well operations at the present time. Import software is widely used for these calculations. Restrictive sanctions and high cost of import software necessitate Russian oil companies to develop their own simulators. This article contains the description of the developed modules for corporative reservoir simulator «TecScheme». These modules are used for quality control of geological and hydrodynamic models and operational planning.

гидродинамические расчеты применяются не только при проектировании разработки, но и при назначении большинства ГТМ. Для данных расчетов широко используется импортное программное обеспечение (ПО). Ограничительные санкции и высокая стоимость импортного ПО обуславливают необходимость внедрения собственных разработок.

В данной статье представлено описание разработанных модулей корпоративного гидродинамического симулятора «Техсхема», используемых для контроля качества геолого-гидродинамических моделей и оперативного планирования ГТМ.

Контроль корректности построения геологической модели

Построение геологических моделей осуществляется с использованием результатов интерпретации геофизических исследований скважин (РИГИС). Сопоставление РИГИС и параметров модели является обязательным требованием при составлении проектных документов на разработку месторождений [1].

Для оценки качества построения моделей используются кросс-плоты сравнения РИГИС и результатов моделирования. Возможность их автоматического создания реализована в модуле «Анализатор РИГИС» ПО «Техсхема». Данный инструмент позволяет оценить средние показатели, такие как нефтенасыщенность, пористость, проницаемость, расчлененность, песчаность по скважинам. При выявлении значительных отклонений одного из параметров определяют причину и вносят исправления в геологическую модель. При моделировании объектов с большим фондом скважин проверка на наличие ошибок занимает много времени. Следует отметить, что при большой расчлененности средние показатели в модели могут незначительно отличаться от параметров РИГИС, но при сравнении отдельных прослоев отклонения могут быть существенными.

Для проведения качественного контроля предлагается автоматизированный алгоритм, реализованный в модуле «Анализатор РИГИС», позволяющий сопоставлять РИГИС и результаты моделирования для отдельных прослоев. Результаты расчета с использованием алгоритма заносятся в сводную таблицу ошибок (табл. 1), с помощью которой исправления могут быть внесены на начальных этапах геолого-гидродинамического моделирования.

Таблица 1

| Код | Ошибка |
|-----|--|
| 1 | Несоответствие отметок кровли/подошвы пласта |
| 2 | Несоответствие количества нефтенасыщенных интервалов |
| 3 | Несоответствие количества водонасыщенных интервалов |
| 4 | Несоответствие количества газонасыщенных интервалов |
| 5 | Отклонение значения толщины нефтенасыщенного интервала |
| 6 | Отклонение значения толщины водонасыщенного интервала |
| 7 | Отклонение значения толщины газонасыщенного интервала |
| 8 | Отклонение значения пористости интервала |
| 9 | Отклонение значения нефтенасыщенности интервала |
| 10 | Отклонение значения газонасыщенности интервала |
| 11 | Отклонение значения проницаемости интервала |
| 12 | Несоответствие характера насыщения интервала |

Детальный автоматизированный контроль геологических моделей позволяет повысить качество геолого-гидродинамического моделирования и надежность принимаемых решений при планировании ГТМ.

Контроль скважинных параметров

Качество геолого-гидродинамических моделей зависит от надежности исходных данных. Наличие некорректных данных в моделях существенно влияет на результаты гидродинамических расчетов, что приводит к ошибкам при планировании ГТМ. Источником некорректных данных могут быть как ошибки в базах данных компании, так и неверно заполненные инженером параметры для моделирования в симуляторе.

Для оперативного выявления некорректных данных по скважинам разработан модуль «Анализатор скважин» с помощью которого удалось устранить множественные ошибки по крупным объектам разработки. В настоящее время модуль обрабатывает 40 различных вариантов ошибок, среди которых некорректные траектории, интервалы перфорации, гидроразрыва пласта и др.

Инструменты для оперативного планирования ГТМ

Идентификация песчаных тел

Цифровые геологические модели состоят из наборов не связанных между собой групп ячеек, описывающих изолированные песчаные тела. Наибольшее число изолированных песчаных тел наблюдается в моделях, построенных стохастическим методом.

Алгоритм выделения песчаных тел реализован в модуле ПО «Техсхема». Идентификация песчаных тел осуществляется посредством построения матрицы смежности из активных проницаемых ячеек модели и последующего запуска алгоритма поиска в глубину [2]. В результате формируется куб, значения в ячейках которого соответствуют индексам выделенных песчаных тел.

Для проверки геологических моделей дополнительно реализована возможность поиска скважин, пересекающих песчаные тела. При наличии песчаных тел, которые не пересекаются ни одной скважиной, выполняется проверка правильности выделения данного песчаного тела. Реализована также возможность поиска скважин, дренирующих определенные песчаные тела, что позволяет выделять не вовлеченные в разработку интервалы. Анализ выработки отдельных изолированных зон позволяет рассчитать коэффициент извлечения флюида и рекомендовать определенные области для дальнейшего проведения ГТМ (табл. 2).

Таблица 2

| Номер песчаного тела | Число ячеек | Поровый объем, тыс.м ³ | Текущие геологические запасы | | | | | Число скважин |
|----------------------|-------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------|--------------|---------------------------|---|---------------|
| | | | нефти, тыс. т | конденсата, тыс. т | воды, тыс. т | газа, тыс. м ³ | растворенного газа, тыс. м ³ | |
| 464 | 785 | 5039,36 | 1399,2 | 26,4 | 738,5 | 530,5 | 138,8 | 20 |
| 27 | 731 | 2859,27 | 1202,9 | 17,2 | 108,3 | 346,1 | 119,3 | 11 |
| 63 | 613 | 2355,23 | 976,7 | 13,2 | 149,9 | 265,9 | 96,8 | 10 |
| 26 | 198 | 689,50 | 306,1 | 4,4 | 22,1 | 87,8 | 30,4 | 2 |
| 8 | 140 | 541,04 | 291,1 | - | 153,8 | - | 28,913 | - |

На поздних стадиях разработки актуальной является задача выделения зон для бурения боковых горизонтальных стволов (БГС) с целью довыработки подвижных запасов. В настоящее время первичный поиск перспективных зон ведется на основе результатов гидродинамического моделирования. Зачастую сопоставление карт плотности подвижных запасов и обводненности оказывается неэффективным, особенно для объектов с большой толщиной пласта и высокой неоднородностью. Для решения данной проблемы на одном из крупных месторождений ОАО «Сургутнефтегаз» предложено выделять песчаные тела с плотностью подвижных запасов более 1 тысячи тонн на гектар (рис. 1).

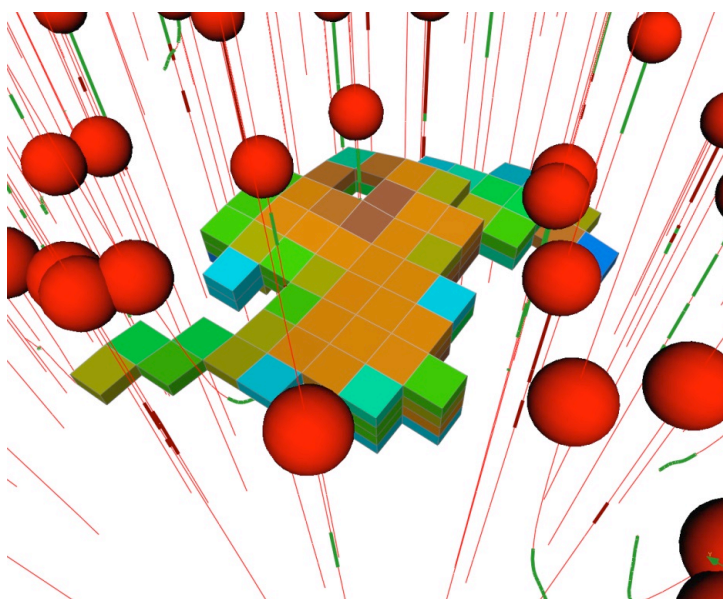


Рис. 1. Песчаное тело с высокой плотностью подвижных запасов

Алгоритм позволяет получить сводную таблицу песчаных тел, характеризующихся высокой плотностью подвижных запасов, текущие геологические запасы каждого тела, а также число скважин, вскрывших песчаные тела. Приоритет при выборе зон для бурения БГС отдается зонам с наибольшими геологическими запасами, которые не дренируются фактическим фондом скважин, а также с нулевыми текущими запасами свободного газа. Применение алгоритма выделения песчаных тел показало его эффективность и в настоящее время он широко используется при назначении ГТМ.

Анализ эффективности заводнения

Для анализа эффективности работы фонда нагнетательных скважин и последующей оптимизации систем поддержания пластового давления (ППД) на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз» применяется моделирование линий тока. Разработанный модуль «Эффективность заводнения» позволяет построить линии тока с использованием алгоритма Поллока [3] на основе результатов гидродинамического моделирования в симуляторе «Техсхема».

Большая плотность линий тока при их отрисовке не позволяет проводить детальный анализ взаимовлияния скважин. Для количественной оценки эффективности заводнения разработан алгоритм расчета объема непроизводительной закачки, обеспеченной добычи нефти за счет работы системы ППД, обводненности потока от конкретных нагнетательных скважин. Взаимовлияние скважин оценивается на основе сравнения скоростей потока вдоль отдельных линий тока. Результаты расчетов заносятся в специальные таблицы (табл. 3). Реализована возможность расчета таблиц для заданного периода.

Таблица 3

| Добывающие | | | Влияющие нагнетательные | | | | | | | | |
|------------|----------------------|----------|-------------------------|------|--------|-------|----------|-------|-------------------------|---------|-------|
| № скв. | Объем добычи, тыс. т | | № скв. | UWI | Добыча | | | | Обводненность потока, % | Закачка | |
| | нефти | жидкости | | | нефти | | жидкости | | | м³ | % |
| | | | | | т | % | т | % | | | |
| 110 | 7.368 | 7.397 | Естественный режим | | 222.4 | 3.02 | 222.5 | 3.01 | 0.04 | - | - |
| | | | 124 | 4027 | 446.5 | 6.06 | 446.8 | 6.04 | 0.07 | 1206.5 | 7.21 |
| | | | 122 | 4028 | 3367.8 | 45.71 | 3371.1 | 45.57 | 0.10 | 4876.5 | 42.90 |
| | | | 94 | 4029 | 731.7 | 9.93 | 732.6 | 9.90 | 0.12 | 1000.4 | 16.32 |
| | | | 93 | 4030 | 569.7 | 7.73 | 569.8 | 7.70 | 0.02 | 1452.6 | 17.61 |
| | | | 92 | 4040 | 191.9 | 2.60 | 191.9 | 2.59 | 0.00 | 320.9 | 5.52 |
| | | | 95 | 4050 | 41.9 | 0.57 | 41.9 | 0.57 | 0.00 | 109.1 | 0.70 |
| | | | 121 | 4060 | 1796.2 | 24.38 | 1820.4 | 24.61 | 1.33 | 1731.2 | 31.49 |

Сокращение временных затрат на моделирование месторождений

В связи с возрастающими требованиями к качеству и детальности гидродинамических моделей, а также с осложнением компонентного состава флюида новых месторождений существенно увеличивается время и объем расчетов. Алгоритм генерации упрощенных моделей заключается в перестроении исходной геометрии (сетки): вблизи стволов скважин сохраняется исходное трехмерное строение, по остальным зонам проводится апскейлинг [4] кубов модели до одного слоя (рис. 2). Такой подход позволяет подбирать оптимальную расстановку скважин, решать оптимизационные задачи, например по планированию систем ППД, оперативной оценке ГТМ по скважинам.

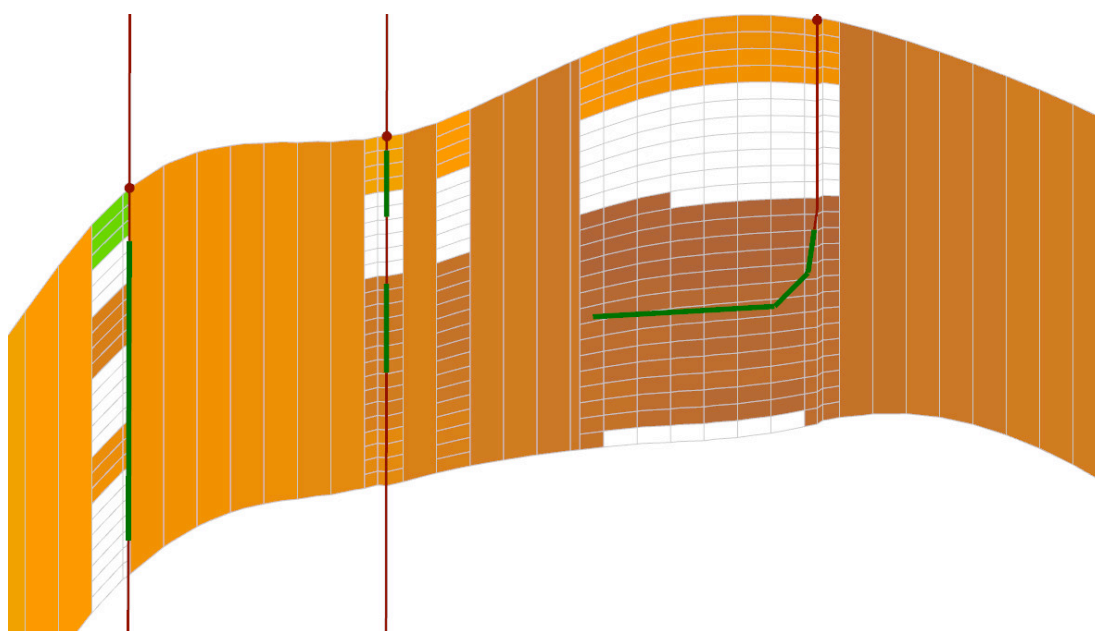


Рис. 2. Разрез созданной экспресс-модели

Эффективность такого экспресс-моделирования была оценена на примере одного из объектов ОАО «Сургутнефтегаз». Время расчета сократилось более чем в 9 раз при отклонении накопленных показателей значений менее 6 % в сравнении с полномасштабной моделью. Незначительные отклонения объясняются низкой неоднородностью и выдержанным строением пласта. При более сложном строении объектов отклонения увеличатся, но при многовариантных расчетах соотношение эффективности будет сохраняться, что позволит выбрать ограниченное количество эффективных вариантов для полномасштабного моделирования.

Выводы

1. Применение модуля «Анализатор РИГИС» позволило повысить качество геологического и гидродинамического моделирования.
2. Устранены множественные ошибки исходных данных по крупным объектам разработки с применением «Анализатора скважин».

3. Модуль «Анализатор моделей» показал свою эффективность для выявления слабодренируемых песчаных тел, а также поиска перспективных зон для проведения ГТМ на крупных месторождениях компании.

4. Модуль «Анализ эффективности заводнения» позволил разработать рекомендации по оптимизации систем ППД на крупных месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз». Выявлены проблемные регионы.

5. Экспресс-моделирование позволило в 9 раз сократить время расчета и существенно сократить время на подбор оптимального варианта разработки для одного из месторождений ОАО «Сургутнефтегаз».

6. Развитие корпоративного гидродинамического симулятора «Техсхема» и функциональных возможностей его модулей, позволяет отказываться от использования моделирования в пакетах программ зарубежного производства.

Список литературы

1. *Временный* регламент оценки качества и приемки трехмерных цифровых геолого-гидродинамических моделей, представляемых пользователями недр в составе технических проектов разработки месторождений углеводородного сырья на рассмотрение ЦКР Роснедр по УВС. – 2012.

2. *Алгоритмы: построение и анализ* / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн // под. ред. Красикова И.В. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1296 с.

3. Thiele M.R., Gerritsen M., Blunt M. Streamline Simulation. – USA, Richardson: SPE, 2011. – 238 p.

4. Родионов С.П., Орехова Л.Н. Методика расчета фильтрационных характеристик при апскейлинге геологических моделей // Вестник ТюмГУ. - 2008. - № 6. - С. 64-68.