

Министерство науки и высшего образования РФ
Филиал ФГБОУ ВО
«Тюменский индустриальный университет (ТИУ)»
в г. Нижневартовске

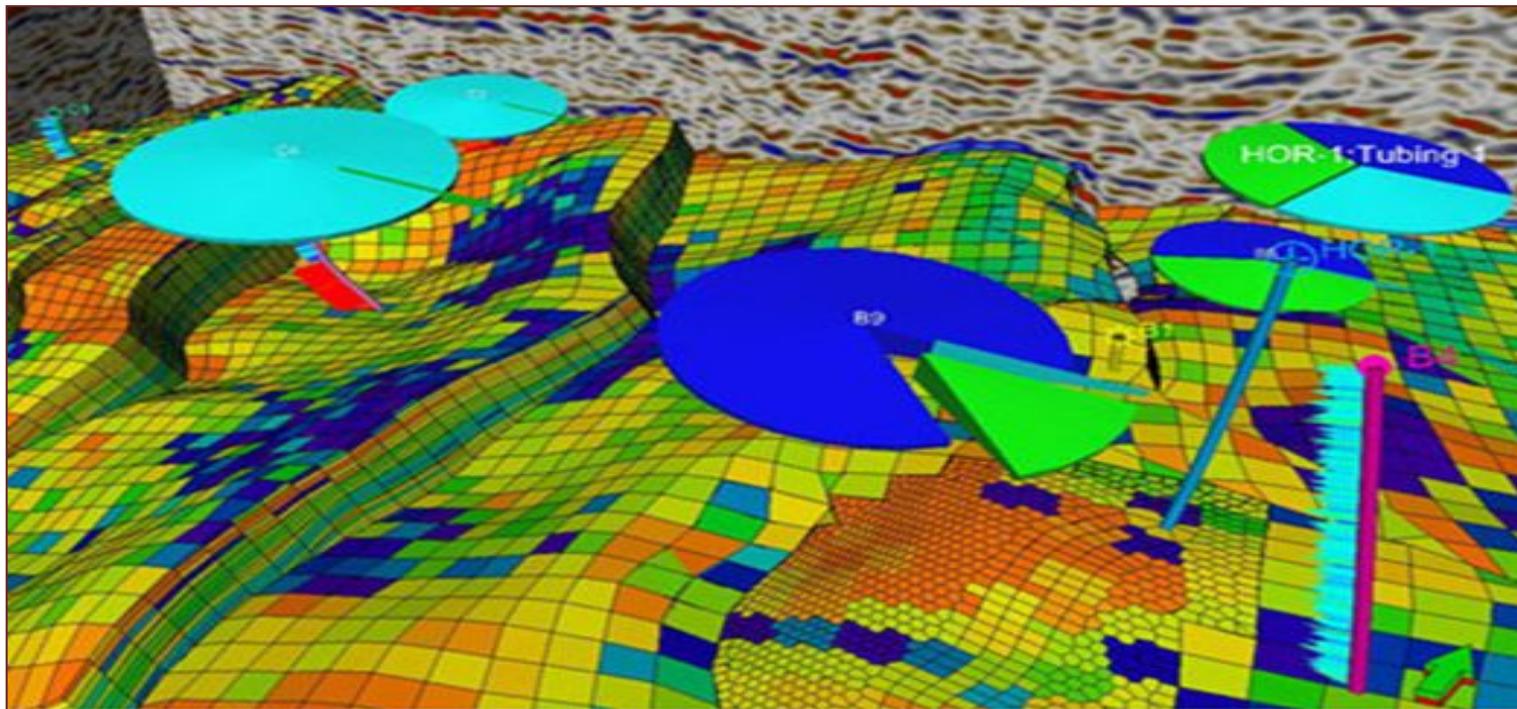
Кафедра «Нефтегазовое дело»
Дисциплина: Гидродинамическое моделирование

ДОКЛАД
на тему
«Свойства флюидов и породы для
гидродинамического моделирования»

Выполнил: студент группы ЭДНбзу 16-1,
Закиров Г.Т.
Проверил: доцент кафедры НД, к.г.н.,
Аитов И.С.

Нижневартовск
2019

Гидродинамические модули Petrel



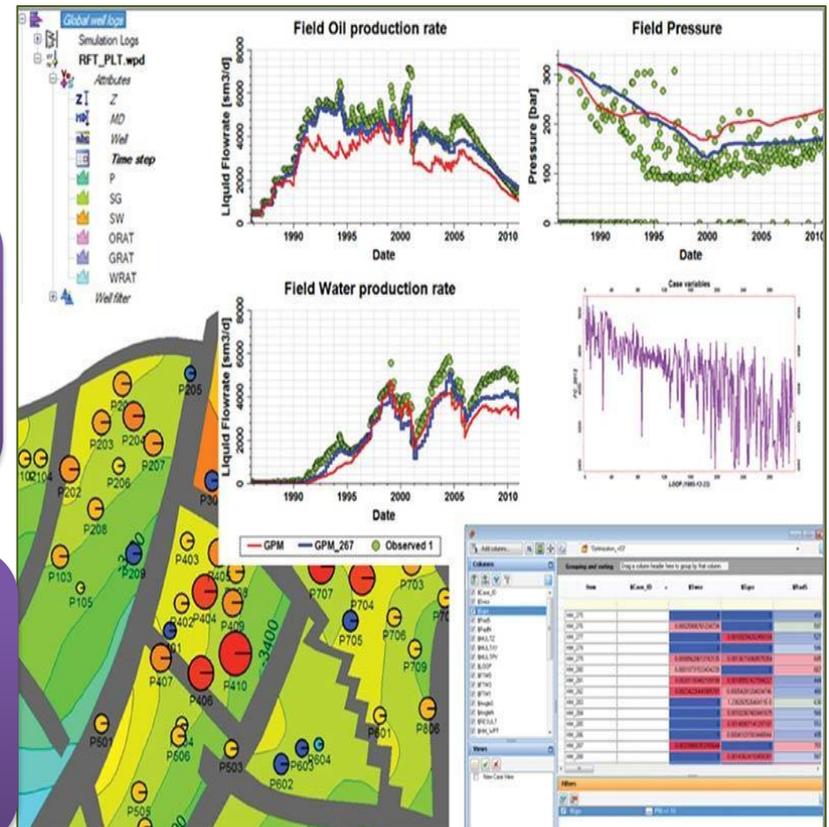
Модуль позволяет проводить все рабочие процессы по созданию гидродинамической модели - добавление динамических данных в 3D статическую геологическую модель.

Petrel для гидродинамического моделирования

Функциональность Petrel Reservoir Engineering позволяет:

Проводить масштабирование моделей, подготавливать сетки для гидродинамической модели перемасштабировать свойства;

Подготавливать данные для запуска гидродинамической модели (свойства флюидов, породы) и анализировать результаты гидродинамических расчетов



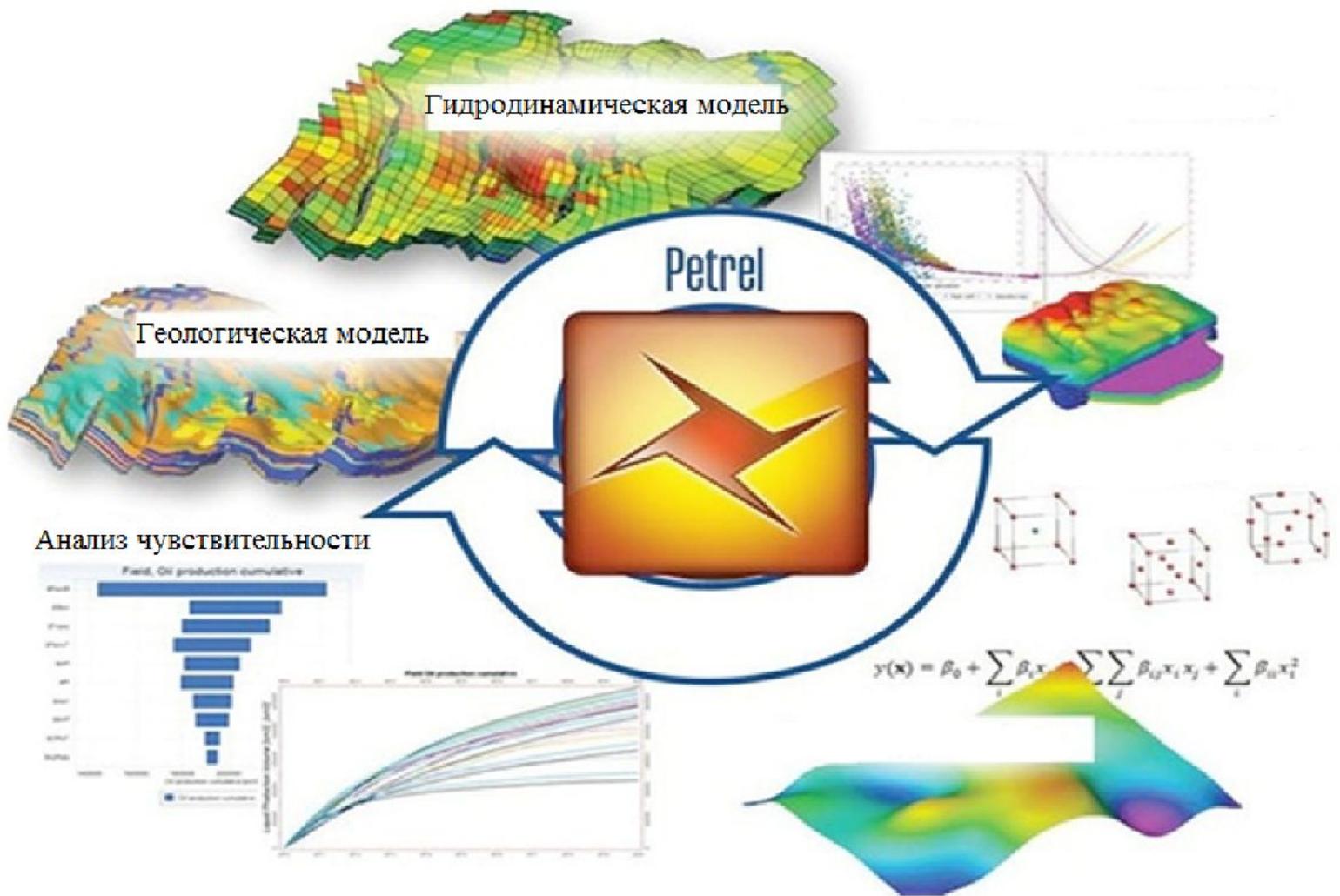
Гидродинамическая модель

Геологическая модель

Petrel

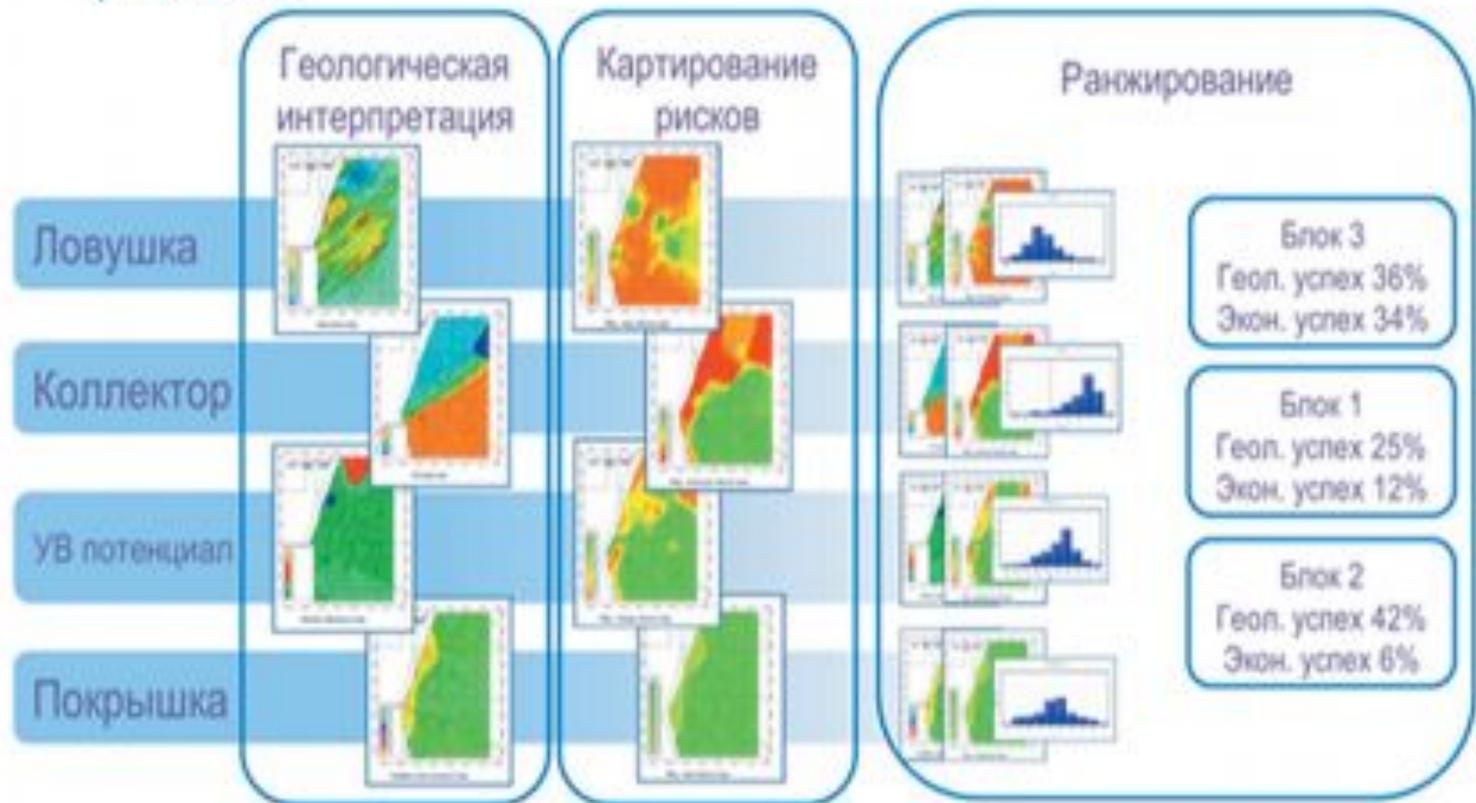
Анализ чувствительности

$$y(\mathbf{x}) = \beta_0 + \sum_i \beta_i x_i + \sum_j \sum_l \beta_{ijl} x_i x_j + \sum_i \beta_{ii} x_i^2$$



Это программа позволяет увидеть построение модели, какой тип представляет участки пласта

Процесс оценки рисков и ранжирования перспективных участков



При создании гидродинамической модели принимаются следующие условия:

- фильтрация флюидов трехмерная, двухфазная: нелетучая нефть с растворенным газом и минерализованная вода;
- расчет полей давления и насыщенности осуществляется по схеме разностного решения уравнений материального баланса совместно с уравнениями движения для каждой из фаз (закон Дарси, фильтрационная модель Баклея-Левретта);
- уровень ВНК принят горизонтальным;
- физико-химические свойства нефти зависят от пластового давления и заданы в табличном виде;
- начальное пластовое давление соответствует гидростатическому;
- скважины проходят через центр расчетного блока вертикально;
- значения коллекторских свойств (пористости, проницаемости, песчаности) в ячейках, через которые проходят скважины, рассчитаны по каротажным диаграммам.

Классификация фильтрационных моделей

1. Модель одинарной пористости (singleporosity). Используются для обычного порового коллектора, фильтрация осуществляется через поровое пространство.
2. Модель двойной пористости (dualporosity). Используется в случаях, когда фильтрация происходит по трещинам, а основным видом емкости для флюидов являются поры и каверны (матрица).
3. Модель двойной пористости и проницаемости (dualpermeability). Используется в случаях, когда фильтрация идет как по поровому пространству (по блокам матрицы), так и по трещинам. Соответственно, как для порового пространства, так и для трещин задаются ненулевые значения проницаемости. Рекомендуется использовать такие модели, когда появление трещин обусловлено тектоническими причинами.

1. Модель трехфазной изотермической фильтрации (blackoil)

Модель трехфазной изотермической фильтрации (модель нелетучей нефти или модель black oil) является наиболее распространенной и широко применяемой в практике разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений.

Моделируются следующие процессы:

- извлечение нефти на естественном режиме (истощения);
- извлечение нефти при режиме растворенного газа;
- заводнение, в том числе циклическая закачка;
- несмешивающиеся вытеснение нефти закачиваемым агентом;
- процессы капиллярной пропитки (впитывание воды в породу).

Модель трехфазной трехкомпонентной фильтрации имеет следующие принципиальные ограничения:

- свойства стабильного газа идентичны как для газа сепарации из газовой части залежи, так и для газа дегазации из нефтяной части залежи;
- свойства стабильной углеводородной жидкости идентичны как для разгазированной нефти, так и для конденсата;
- модель не позволяет описать динамику фракционного состава нефти (конденсата) и компонентного состава газа в процессе разработки;
- описание фазового равновесия «жидкость-газ» для углеводородных смесей осуществляется с большой погрешностью.

2. Композиционная модель (модель трехфазной многокомпонентной изотермической фильтрации - EOS) Модель трехфазной многокомпонентной изотермической фильтрации применяется для легких нефтей и газоконденсата в случае необходимости учета реального состава пластовой углеводородной смеси.

Композиционная модель трехфазной изотермической фильтрации является примером расширения возможностей модели нелетучей нефти для решения проблем многокомпонентной фильтрации в рамках трехфазной модели. Композиционная модель сводится к модели нелетучей нефти, если углеводороды состоят из двух компонентов. Из двух компонентов только газ может находиться в жидкой и газовой фазах. Для создания адекватной модели данного типа требуется большое количество дополнительных данных, которые описывают не только компонентный состав углеводородной системы, но и изменение физических свойств каждого компонента в зависимости от давления. Для этого необходимо провести большой объем лабораторных исследований пластовых флюидов, что на практике встречается крайне редко.

3. Модели с химическими реакциями

В зависимости от метода воздействия на пласт, используют различные химические модели флюидов:

- полимерное заводнение;
- щелочное заводнение;
- щелочно-полимерное заводнение;
- мицеллярно-полимерное заводнение;
- раствор химреагентов;
- вытеснение нефти двуокисью углерода.

Математическая модель с использованием физико-химических методов фильтрации является развитием модели трехфазной изотермической и трехфазной многокомпонентной изотермической фильтрации.

Следующие типы моделей являются сложными и используются для решения специальных задач.

Моделирование насыщенности

Наиболее часто, распределение насыщенности в модели производится на основе зависимостей, рассчитываемых отдельно для каждой петрофизической группы внутри модели на основе капиллярно-гравитационного равновесия. В этом случае учитывается зависимость насыщения породы от положения ячейки над уровнем свободной воды, а также от капиллярных эффектов, которые, в свою очередь связаны с типом породы, ее пористостью и проницаемостью.

При расчете насыщенности на основе равновесия между капиллярными и гравитационными силами не обходимо ввести следующие понятия :

- уровень свободной воды – глубина, на которой капиллярное давление равно 0;
- водонефтяной контакт – глубина, на которой наблюдается 100 % водонасыщенность, и выше которой водонасыщенность начинает снижаться;
- переходная зона – зона между водонефтяным контактом и глубиной, выше которой наблюдается только остаточная водонасыщенность.



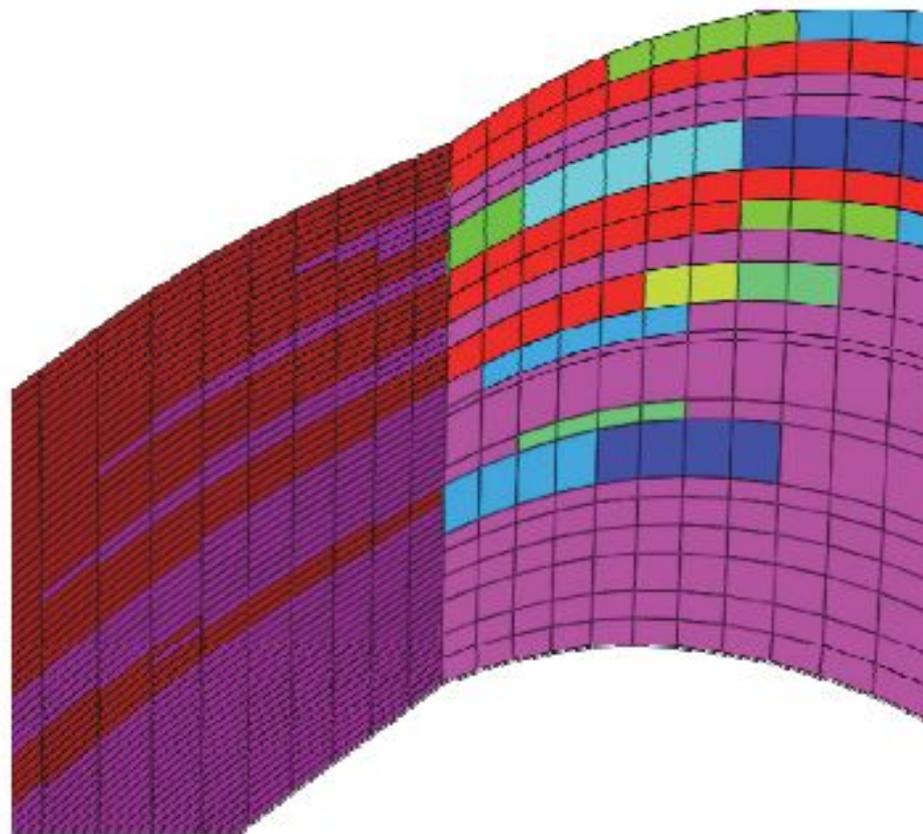


Рис. Визуальный контроль качества объединения слоев геологической модели в слои фильтрационной модели

Примеры визуального контроля качества за переносом свойств из геологической модели в фильтрационную приведены на рис.

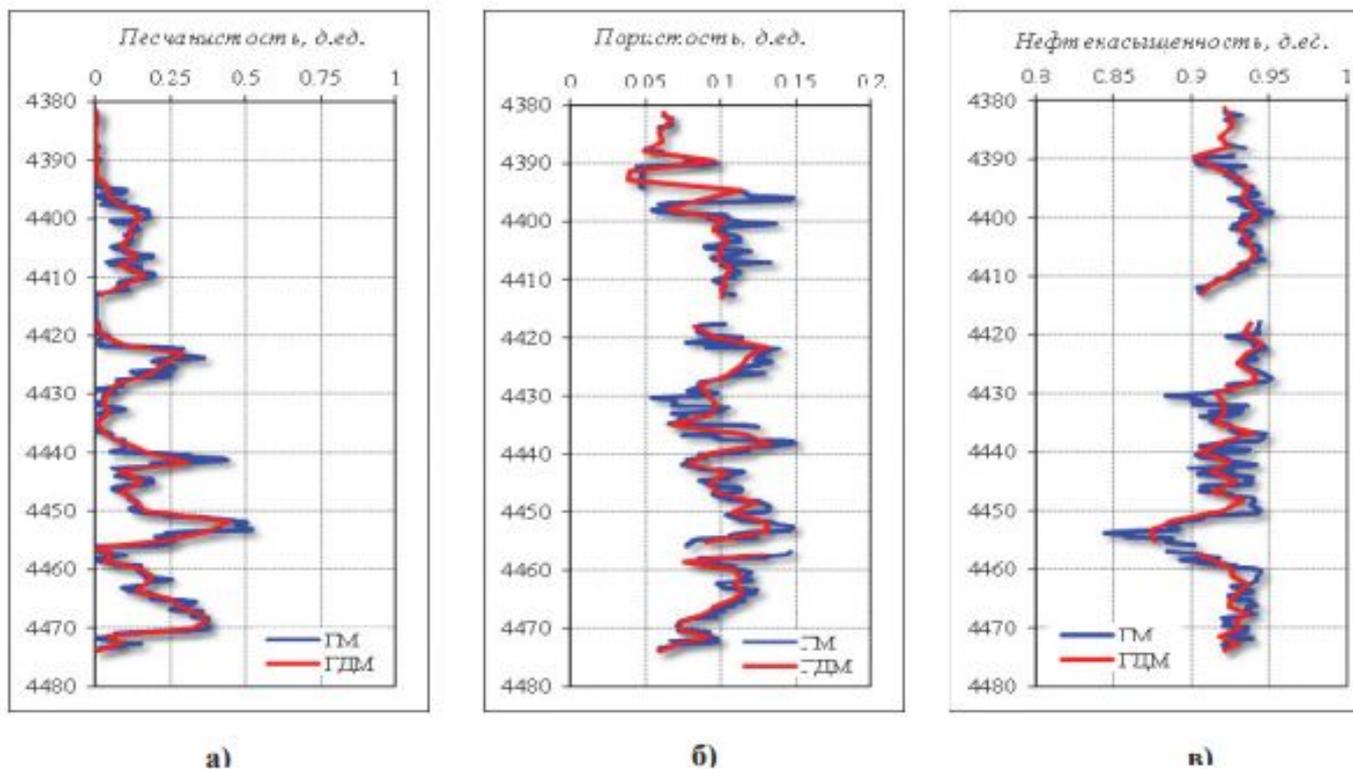


Рис. Сопоставление ГСР, построенных по кубам песчаности (а), пористости (б), нефтенасыщенности (в) до (ГМ) и после (ГЦМ) ремасштабирования

Процесс моделирования можно разбить на несколько этапов:

Постановка задачи. Первый шаг – определить, для чего проводится исследование, какую информацию о пласте необходимо получить и в чем состоит проблема, связанная с разработкой. На этом этапе необходимо собрать достаточное количество информации о пласте и условиях его эксплуатации и определить, какие данные нужны, в какие сроки, и какую пользу они могут принести (лучше всего работать в тесном сотрудничестве с командой по управлению месторождением). Как только исходные данные собраны, необходимо четко определить практические цели. Последующие оперативные решения будут приниматься тем легче, чем более реалистичные цели были поставлены изначально. Затем можно определять уровень сложности, требуемый от модели, необходимые данные, а также начинать проектировать саму модель.

Анализ и обработка исходных данных. После сбора данных их необходимо проанализировать и реорганизовать, поскольку они поступают из разных источников и, как правило, не в той форме, которую можно сразу использовать в симуляторе. Анализ имеющихся данных почти в каждом случае вскрывает противоречия и пробелы, которые необходимо устранить. На определенном этапе необходимо будет принять решение относительно того, достаточно ли имеющихся данных и достаточно ли они точны, чтобы на их основе можно было построить адекватную модель.

Выбор типа модели. Определив задачу, которую требуется решить, необходимо выбрать тип модели, который наилучшим образом подойдет для решения этой задачи. Моделирование всего пласта не всегда является необходимым.

Построение модели. При проектировании модели определяющими факторами являются моделируемый процесс, сложность задачи, цели исследования, качество исходных данных, временные и финансовые ресурсы и уровень точности, требуемый от результатов.

Временные и финансовые ограничения часто заставляют использовать компромиссные варианты при выборе симулятора и проектировании модели. Чаще всего приходится идти на компромисс при выборе количества ячеек и уровня детализации отдельных скважин. Инженер должен сам определить, какой уровень точности требуется для решения поставленной задачи.

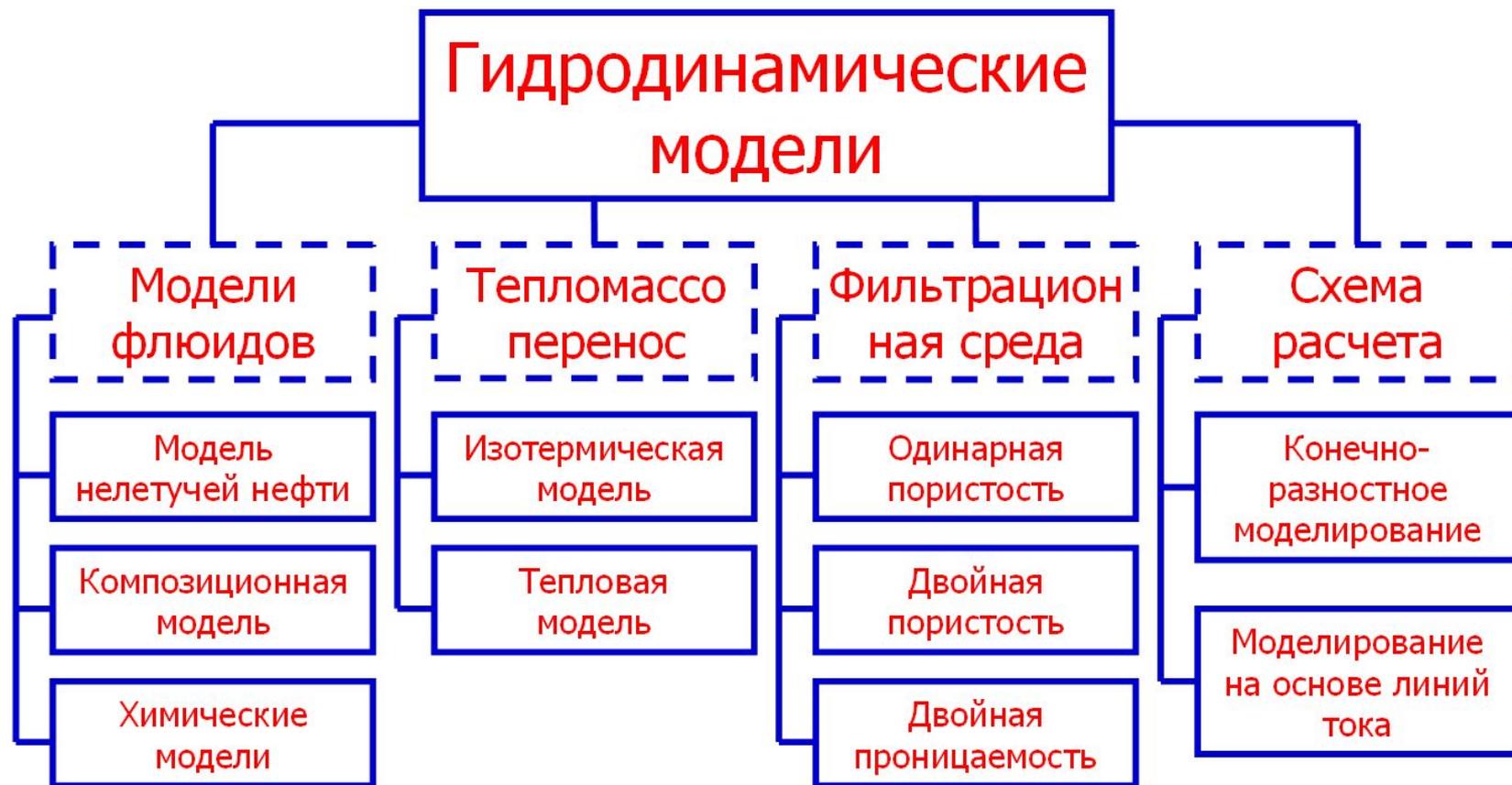
Адаптация модели. После того, как модель построена, необходимо проверить, может ли она воспроизвести поведение месторождения. Обычно достоверность описания пласта, используемого в модели, проверяется путем запуска модели с историческими данными по добыче и нагнетанию и сравнения расчетных данных по распределению давления и насыщенности с фактическими. Исходные параметры необходимо корректировать до тех пор, пока не будет достигнуто совпадение расчетных данных с фактическими. Меняя параметры, не забывайте, что цель адаптации – получить максимально адекватное описание пласта на основе имеющихся данных.

Прогнозирование и анализ результатов. Как только модель адаптирована, ее можно использовать для прогнозирования добычи в будущем и для решения конечной задачи исследования. Один из наиболее сложных аспектов прогнозирования – оценка результатов. Поскольку результаты моделирования могут быть представлены в виде тысяч строк текста, необходимо сконцентрироваться на тех результатах, анализ которых необходим для достижения конечной цели исследования.

Подготовка отчета. Последний шаг моделирования – изложение результатов и сделанных выводов в форме отчета. Формат может варьироваться от краткого офисного меморандума до многотомного отчета, дополненного цветными плакатами. Независимо от формата, отчет должен содержать цель исследования, описывать использованную модель и представлять результаты и выводы в контексте, приемлемом для данного исследования.

Для описания разного рода процессов, происходящих в пласте, разработаны различные гидродинамические модели, которые можно классифицировать по множеству признаков. Основными из них являются модель флюида, учет тепломассопереноса в модели, модель фильтрационной среды. При выборе того или иного типа модели необходимо учитывать следующее:

- сложность решаемой задачи;
- необходимая точность результатов;
- количества исходных данных;
- время, отведенное на решение задачи



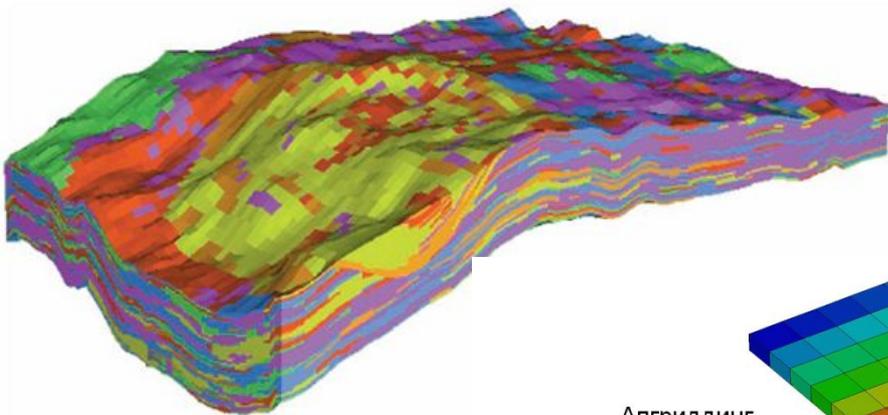
Сравнение гидродинамических моделей

Тип симулятора	Сложность	Относительное время расчета	Опыт применения на практике
Модель нелетучей нефти	Простая	Низкое (1)	Большой (> 90% моделей)
Композиционная модель	Сложная	Высокое ($\times 3 - \times 20$)	Умеренный
Композиционная модель – процессы вблизи критической точки	Сложная	Очень высокое ($\times 5 - \times 30$)	Небольшой
Химическая модель – полимерное заводнение	Средней сложности	Среднее ($\times 2 - \times 5$)	Большой
Химическая модель – закачка ПАВ	Сложная	Высокое ($\times 5 - \times 20$)	Небольшой (исследования)
Тепловая модель – закачка пара	Средней сложности	Высокое ($\times 3 - \times 10$)	Умеренный
Тепловая модель – внутрипластовое горение	Очень сложная	Очень высокое ($\times 10 - \times 40$)	Низкий

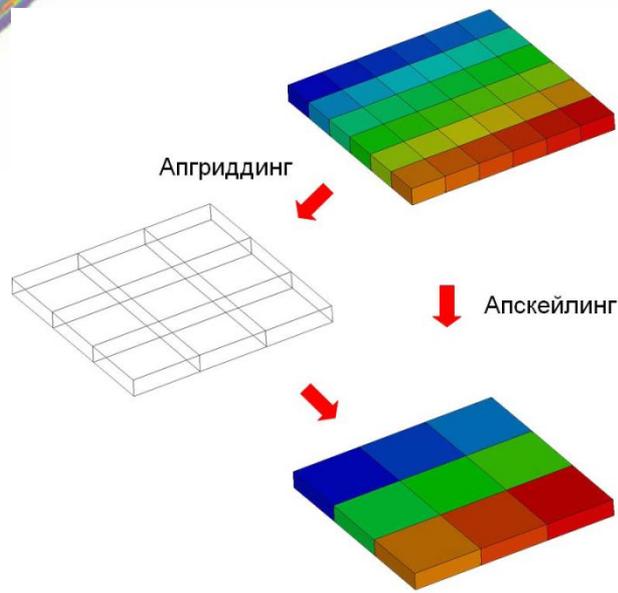
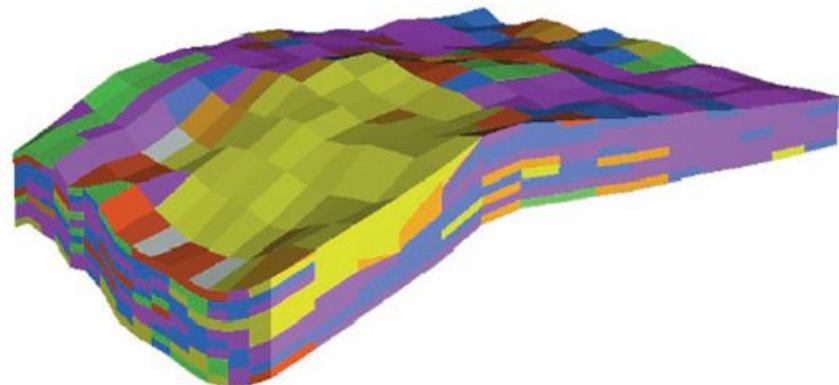
Ремасштабирование модели (Апскейлинг)

Размеры ячеек геологической модели в среднем составляют 50 м по горизонтали и 0.5 м по вертикали. В результате геологическая модель обычно состоит из 10^6 – 10^7 таких ячеек. Вычислительные мощности современных рабочих станций не позволяют проводить гидродинамические расчеты на таких мелкоячеистых моделях за практически приемлемое время. Размерность большинства гидродинамических моделей на порядок меньше геологических (10^5 – 10^6 ячеек). Процедура перехода от геологической модели к гидродинамической носит название ремасштабирование модели или апскейлинг (upscaling). Апскейлинг это процедура перехода от мелкоячеистой модели к крупноячеистой.

Геологическая модель



Гидродинамическая модель

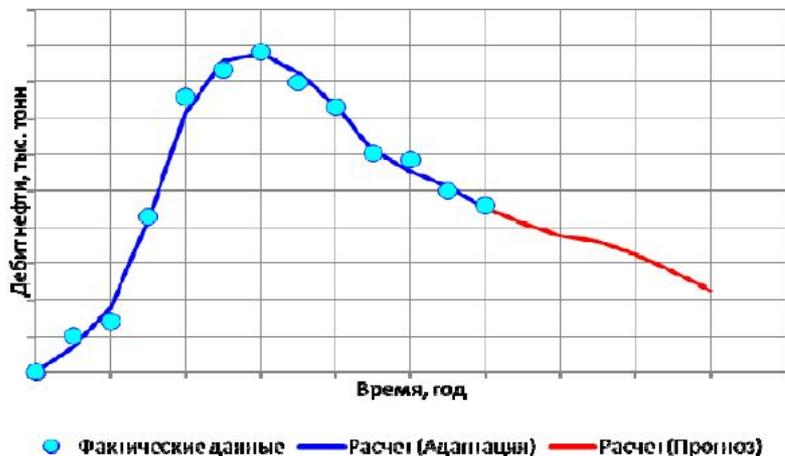


Процедура апскейлинга включает в себя два этапа:

- Укрупнение сетки или апгриддинг (upgridding), в процессе которого происходит построение структурной сетки укрупненной модели;
- Апскейлинг, происходит ремасштабирование (перенос) свойств с мелкой сетки на крупную.

Адаптация модели

Адаптацией модели называется процесс настройки модели путем изменения (уточнения) ее параметров таким образом, чтобы она воспроизводила существующую историю разработки (фактические данные). Если модель не будет адекватно отражать историю разработки, то достоверность прогнозируемых на основе нее показателей вариантов разработки будет низкой, что может привести к принятию неверных проектных решений.



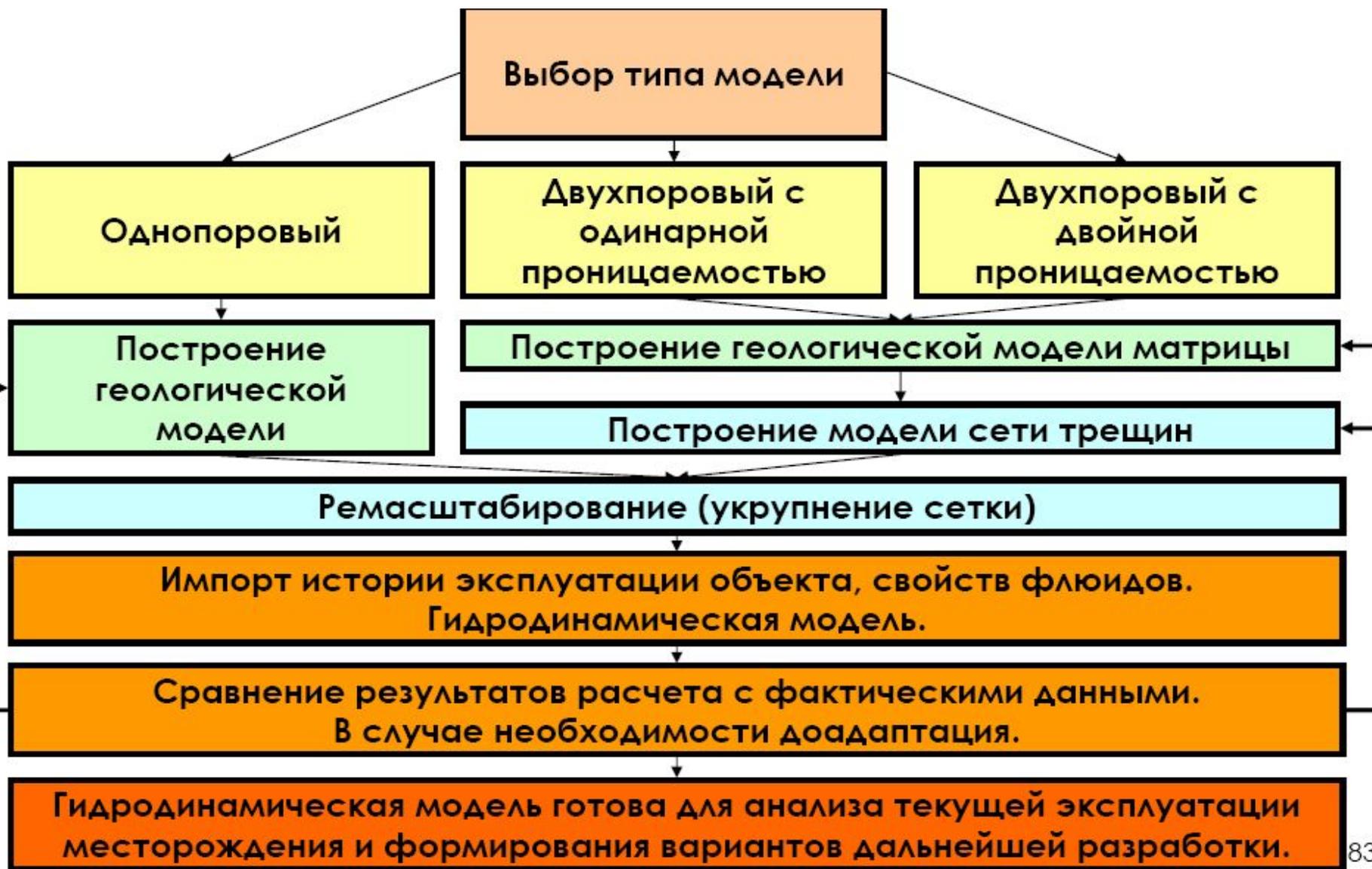
В процессе адаптации модели основными параметрами, для которых проводится уточнение, являются:

- параметры водоносного горизонта (аквифера);
- пористость, абсолютная проницаемость (анизотропия по вертикали и горизонтали) и насыщенность пласта;
- функции относительных фазовых проницаемостей;
- индекс продуктивности скважин (скин-фактор).

При адаптации фильтрационной модели, как правило, проводится сравнение следующих расчетных и фактических показателей:

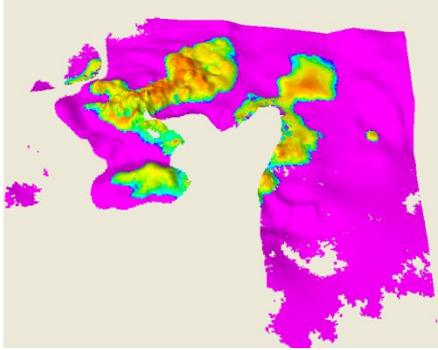
- запасы углеводородов по различным объектам и категориям;
- накопленные показатели добычи и закачки углеводородов и рабочих агентов, как по каждой скважине, так и по всему месторождению в целом на конец истории разработки;
- текущие показатели (дебиты) добычи и закачки углеводородов и рабочих агентов, как по каждой скважине, так и по всему месторождению в целом;
- забойное давление по скважинам;
- среднее пластовое давление.

Основные этапы построения моделей

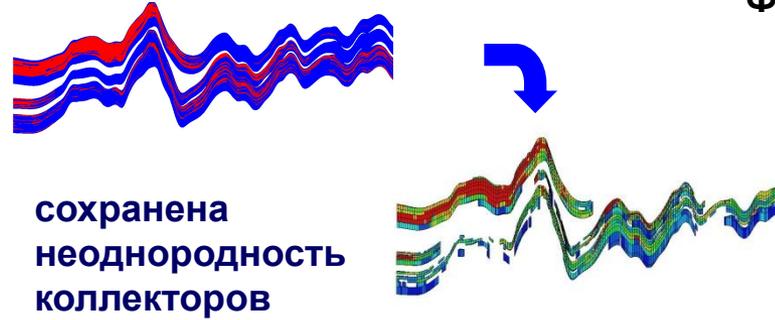


Создание и адаптация гидродинамической модели залежи нефти

Геологическая модель

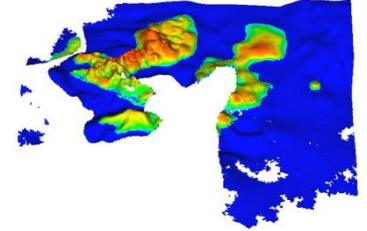


Апскейлинг

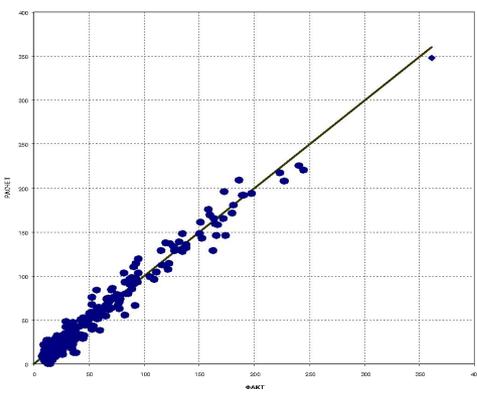


сохранена
неоднородность
коллекторов

Фильтрационная модель



Кроссплот накопленной
добычи нефти



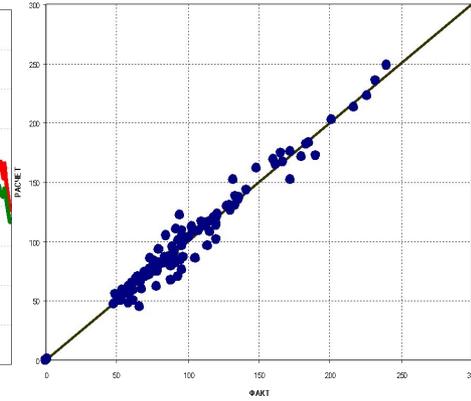
Обводненность



Дебит нефти



Кроссплот
забойного давления



Созданы адекватные гидродинамические модели

Рекомендуемая литература

1. Баранов В.Е. , Куреленков С.Х., Л.В. Воробьева Л.В. Прикладное моделирование пласта. Учебное пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 104 с.
2. Каневская Р.Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 128 с.
3. Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. Ч.2: Фильтрационные модели / под руководством Н.Н. Лисовского– Москва, ФГУ «Экспертнефтегаз», 2003 – 224 с.
4. Гладков Е.А. Геологическое и гидродинамическое моделирование месторождений нефти и газа: учебное пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 99 с.
5. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. – М.: Недра, 1982. – 407 с.