

На правах рукописи



БОЖЕНЮК НАДЕЖДА НЕОНИЛОВНА

**МЕТОДЫ АДАПТАЦИИ И СНИЖЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ
ПРИ ГЕОЛОГО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ
ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПРИМЕРЕ
РЯДА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Специальность 25.00.12

Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Тюмень – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет»

Научный руководитель: **Стрекалов Александр Владимирович** - доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

Официальные оппоненты: **Богачев Кирилл Юрьевич** – доктор физико-математических наук, технический директор ООО «Рок Флоу Динамикс», профессор кафедры вычислительной математики МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Степанов Сергей Викторович – доктор технических наук, старший эксперт отдела экспертов ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

Ведущая организация: Федеральное автономное учреждение «Западно-Сибирский научно-исследовательский институт геологии и геофизики» (ЗапСибНИИГГ), г. Тюмень

Защита состоится 13 июня 2018 г. в 16:00 на заседании диссертационного совета Д 212.273.05 при ТИУ по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 56, ауд.113.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотечном информационном центре ТИУ по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72.

Автореферат разослан 21 апреля 2018 г.

Отзывы, заверенные печатью утверждения, в 2 экземплярах просим направлять по адресу 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 56, Тюменский индустриальный университет, ученому секретарю диссертационного совета Д212.273.05. Факс 8(3452) 390-346, e-mail: semenovativ@tyuiu.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета



Татьяна Владимировна Семенова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Истощение запасов разрабатываемых месторождений и высокая обводненность добываемой продукции обуславливает необходимость ввода в эксплуатацию новых, более тяжелых в освоении месторождений (со сложным геологическим строением, требующих значительных затрат на строительство инфраструктуры). Рост доли трудноизвлекаемых запасов, характеризующихся высокой неоднородностью и слабой согласованностью фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) приводит к необходимости применения сложных технологических методов извлечения углеводородного сырья: бурение горизонтальных, многоствольных скважин, проведение гидроразрывов пласта, «умных перфораций», резка боковых стволов, применение инновационных методов увеличения нефтеотдачи и т.д.. Ввиду высокой себестоимости данных мероприятий, любые ошибки, обусловленные неточностями геологических моделей могут привести к весьма значительным экономическим потерям, поэтому для повышения точности моделирования месторождений требуется учет неопределенностей исходных данных, а также постоянное совершенствование применяемых методов и приемов построения трехмерных геолого-гидродинамических моделей пластов.

Степень ее разработанности. В создание и совершенствование методов геолого-гидродинамического моделирования нефтяных и нефтегазовых месторождений внесли большой вклад отечественные ученые: В.А.Бадьянов, С.Р.Бембель, С.И.Билибин, В.М.Александров, Д.В.Булыгин, А.М.Волков, В.А.Белкина, В.Н.Бородкин, А.А.Дорошенко, С.А.Ермакова, Н.Я.Медведев, И.Г.Хорошев, Е.А.Щергина, А.И.Демина, В.В.Андреев [7], К.С.Баймухаметов, И.С.Гутман, К.Е.Закревский, К.В.Абабков, Е.В.Ковалевский, П.М.Белаш, Ю.П.Борисов, Ю.Е.Батурин, А.В.Гавура, В.И.Дзюба, Ю.В.Желтов, С.Н.Закиров, М.М.Иванова, В.А.Корнев, Г.С.Камбаров, А.В.Копытов, С.В.Костюченко, А.П.Крылов, Б.И.Леви, Е.В.Лозин, А.Б.Сметанин, В.Д.Лысенко, М.М.Максимов, И.Т.Мищенко, Б.М.Саттаров, и многие другие. Большой вклад внесли и зарубежные ученые: А. Settari, Р.Н., О.Дубруль, Дейк Л.П., D.L. Katz, G.R. King, I.H.

Kassam, Luca Cosentino, Henry B. Crichlow, I.V. Vogel, K. Aziz, M.C. Leverett, M. Muskat, T. Ertekin и др.

Данные работы посвящены теоретическим и практическим аспектам 3D ГМ, с целью проведения и планирования геологоразведочных работ, уточнения геологического строения продуктивных отложений, оценки запасов углеводородов, проектирования новых эксплуатационных скважин, зарезки боковых стволов, проводки горизонтальных скважин. Однако, не смотря на разнообразие методов, подходов и алгоритмов моделирования, данная дисциплина недостаточно изучена и нуждается в значительном научно-методологическом развитии. Должны быть рассмотрены вопросы построения ГМ на основе анализа неопределенностей входных данных с учетом информации по горизонтальным скважинам и выбор реалистичных геологических моделей на основе связности геологических тел.

Цель работы состоит в совершенствовании методики построения трёхмерных геологических моделей, учитывающей неравномерность замеров, критерий связности коллектора и данные по горизонтальным скважинам, позволяющей заметно повысить точность геологической модели, и, как следствие, заметно уменьшить число итераций процесса адаптации гидродинамических моделей.

Основные задачи исследования

1. Обзор и анализ известных методик сбора и обработки данных для построения геолого-гидродинамических моделей с целью классификации причин возникновения погрешностей при геологическом и гидродинамическом моделировании.

2. Разработка новых и совершенствование известных методов и оперативных подходов снижения неопределенности при построении геологических моделей для повышения их точности.

3. Определение параметров с высокой степенью погрешности для проведения адаптации и повышения качества настройки гидродинамических моделей.

4. Создание детальных трехмерных геологических моделей пластов AC_{10}^2 и $AC_{10}^{2/1}$ месторождения R и пластов BK_1 - BK_2 месторождения W Западной Сибири на основе разработанных и усовершенствованных методик.

5. Выявление особенностей геологического строения и пространственной структуры запасов изучаемых продуктивных пластов для повышения эффективности эксплуатационного разбуривания месторождений.

Научная новизна

1. Разработана классификация причин возникновения неопределенностей при геологическом и гидродинамическом моделировании месторождений, с целью повышения точности ГГМ и контроля качества входных данных на всех этапах реализации модели.

2. Проведена параметризация, оценка взаимосвязи, количественный анализ закономерностей и величин погрешностей параметров, получаемых при лабораторных, геофизических, гидродинамических и промысловых исследованиях, используемых при построении геолого-гидродинамической модели для снижения неопределенностей данных при калибровке модели.

3. Усовершенствована методика построения трёхмерных геологических моделей, учитывающая неравномерность замеров, критерий связности коллектора и данные по горизонтальным скважинам для повышения точности и устойчивости геолого-гидродинамических моделей.

4. Предложен алгоритм построения геолого-гидродинамической модели путем многовариантного моделирования с учетом фильтрации флюида и анализа неопределенностей данных при низкой степени изученности месторождения, позволяющий значительно уменьшить число итераций.

5. Созданы детальные трехмерные геологические модели пластов AC_{10}^2 и $AC_{10}^{2/1}$ месторождения R и пластов BK_1 , BK_2 месторождения W Западной Сибири на основе разработанных и усовершенствованных методик, существенно уточнено геологическое строение и пространственная структура запасов УВ для повышения эффективности и снижения рисков при эксплуатационном разбуривании месторождений.

Теоретическая и практическая значимость. Модель, созданная на основе предложенной технологии, обладает наименьшей неопределенностью благодаря синтезу всех данных, имеет возможность количественной оценки неопределенности по множеству реализаций, требует минимальной адаптации гидродинамической модели в силу детальности и более высокой точности геологической модели, и, как следствие, обладает надежными прогнозными свойствами. Разработанные методики для решения геолого-промысловых задач на основе трехмерных детальных геолого-гидродинамических моделей позволяют снизить геологические риски и повысить эффективность при эксплуатационном разбурировании месторождений.

Построены детальные геолого-гидродинамические модели по двум месторождениям ОАО «Сургутнефтегаз», которые существенно уточнили геологическое строение, пространственную структуру запасов УВ данных месторождений и позволили обосновать рекомендации по повышению эффективности эксплуатационного разбуривания и системы разработки месторождений. Выявлены участки с неблагоприятными геологическими условиями, отменены к бурению 183 скважины, сокращены непроизводительные затраты. Обоснован дополнительный эксплуатационный фонд скважин, в количестве 244 штук, прирост извлекаемых запасов составил 8,5 млн. т. Обоснованы рекомендации по доразведке месторождений, геолого-технические мероприятия для повышения эффективности эксплуатации месторождений, а также предложения по оптимизации системы заводнения месторождений. Достоверность геологических моделей подтверждена данными 26 новых пробуренных наклонно-направленных скважин.

Предложенный подход к построению постоянно действующих геолого-гидродинамических моделей с учетом анализа неопределенностей и анализа связности пород коллекторов используется на ряде других месторождений на предприятии «СургутНИПИнефть» ОАО «Сургутнефтегаз».

Методами исследования являются прямые лабораторные, промыслово-геофизические, сейсмические, гидродинамические, геолого-промысловые методы

исследования, детерминистические и стохастические методы моделирования, а также анализ динамики технологических показателей разработки месторождений.

Положения, выносимые на защиту

1. Разработанная классификация причин возникновения неопределенностей, получаемых при проведении геофизических, сейсмических, гидродинамических и лабораторных исследованиях, а также на этапе интерпретации данных и при построении геолого-гидродинамической модели месторождений обеспечивает контроль качества входных данных с целью повышения точности построения ГГМ на всех этапах реализации модели. Проведенная параметризация, оценка взаимосвязи параметров, количественный анализ закономерностей и величин погрешностей всех параметров, используемых при построении геолого-гидродинамической модели, позволила проранжировать параметры по степени неопределённости для адаптации гидродинамической модели.

2. Усовершенствованный алгоритм построения геолого-гидродинамической модели с учетом анализа неопределенностей данных при низкой степени изученности месторождения, позволил значительно уменьшить число итераций и повысить точность оценки геологических запасов УВ. Методика основана на построении структурной модели с учетом анализа неопределенности входных данных в связи с низкой степенью изученности месторождения и данных по горизонтальным скважинам, а также построение трехмерной модели литологии комбинированным способом с учетом анализа связности коллектора в межскважинном пространстве и выбором наиболее вероятной и адекватной модели для гидродинамического моделирования.

3. Созданные детальные трехмерные геологические модели пластов AC_{10}^2 и $AC_{10}^{2/1}$ месторождения R и пластов BK_1 , BK_2 месторождения W Западной Сибири на основе разработанных и усовершенствованных методик позволили существенно уточнить геологическое строение и структуру пространственных запасов УВ для обоснования эксплуатационного разбуривания месторождений и как следствие, снижение непроизводительных затрат.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность полученных прогнозных показателей и фактических значений геологических моделей подтверждена данными 26 новых пробуренных наклонно-направленных скважин.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференции молодых специалистов ОАО «Сургутнефтегаз» в 2014, 2015 и 2016 годах, IX научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Салмановские чтения» (г. Тюмень, 2015 г.), в 24-й Международной мультинаучной конференции, проводимой под эгидой международной исследовательской организации «Cognitio» - 2017 год.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 9 научных изданиях по теме исследования, из них – 6 в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех разделов, содержит 80 рисунков, 14 таблиц, 13 формул. Работа изложена на 163 страницах. Список литературы содержит 162 источника.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе «Современное состояние трехмерного моделирования. Обзор методов построения геолого-гидродинамических моделей» описаны основные этапы и алгоритмы создания постоянно действующих геолого-гидродинамических моделей, представлен обзор научно-исследовательских работ и методических руководств по построению моделей, трудности формализации геологического строения месторождений.

Во втором разделе «Анализ неопределенности входных данных при геологическом и гидродинамическом моделировании» проанализированы все имеющиеся источники получения информации, составлена классификация причин возникновения неопределенностей на этапе геологического и гидродинамического моделирования, описаны основные трудности, проблемы и погрешности данных, исследований, неоднозначности в построении модели.

В подразделе 2.2. «Ранжирование параметров адаптации геолого-гидродинамических моделей по неопределенности» проведена параметризация

и оценка взаимосвязи результатов лабораторных, геофизических, гидродинамических и промысловых исследований в условиях получения данных гидродинамических моделей для снижения неопределенностей данных при калибровке модели. Для эффективного учета и оценки неопределенностей данных, составлена схема взаимосвязи типов данных и возникающие вследствие характера взаимосвязей особенности работы с тем или иным параметром. Составлена таблица характеристик входных данных для фильтрационной модели с примерной оценкой по предложенным критериям (охват, погрешность, изменчивость и тип зависимости) и рассчитанными по приведенным в работе формулам (таблица 1). Данная таблица позволяет определить показатели допустимости использования того или иного параметра с высокой степенью неопределенности в качестве переменной при планировании работ по снижению неопределенности данных (включая как дополнительные замеры так и работы связанные с моделированием пластовых систем при адаптации модели на историю на разработки).

В разделе 3 «Способы повышения качества построения трехмерных геологических моделей» приведена краткая характеристика месторождения и разработан алгоритм построения куба литологии на основе комбинирования детерминистического и стохастического методов с учетом анализа неопределенностей данных при слабой изученности и степени разбуренности месторождения. Этапы создания куба литологии с комплексированием методов моделирования для воспроизведения истинной изменчивости пласта представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема построения дискретного куба литологии

Таблица 1 - Исходные данные для геолого-гидродинамического моделирования и их характеристики

Показатель	Усл. обозначение	Охват замера, д.ед.	Погрешность, д.ед.			Изменчивость, д.ед.	Характер зависимости
			Измерительная	Интерпретационная	Статистическая		
Данные для геологического моделирования							
Структура		1	0,05	0,15	0,3	1	-
Литология	Лит.	$8 \cdot 10^{-5}$ (РИГИС)	-	0,1	0,2	1	-
Коэффициент пористости	K_p	$8 \cdot 10^{-5}$ (РИГИС)	0,05	0,1	0,25	1	Степенная
Коэффициент проницаемости	$K_{пр}$	$2 \cdot 10^{-6}$ (Стандартные исследования керна)	0,1	3-5	-	1	Экспоненциальная /Степенная
Уровень ВНК	ВНК	$5 \cdot 10^{-5}$ (РИГИС)	0,02	0,05	-	0,1-0,5	-
Начальная водонасыщенность	K_v	$5 \cdot 10^{-5}$ (РИГИС)	0,02	0,25	-	0,5	-
Свойства флюидов	PVT	$2 \cdot 10^{-7}$ (Пробы флюидов)	0,05	-	-	0-0,1	-
Данные для гидродинамического моделирования							
ОФП	ОФП	$2 \cdot 10^{-7}$ (Спец. исследования керна)	0,05	0,2	-	0,1-0,5	-
Капиллярное давление (зависимость от водонасыщенности)	R_k	$2 \cdot 10^{-7}$ (Спец. исследования керна)	0,05	0,05	-	0,1-0,5	Степенная
Коэффициент водоудерживающей способности	$K_{во}$	$2 \cdot 10^{-6}$ (Стандартные исследования керна)	0,05	0,15	-	1	Полиномиальная/ Логарифмическая
Концевые точки-остальные	$K_{св}$ $K_v^{кр}$ $K_{но}$ \bar{k}_v \bar{k}_n	$2 \cdot 10^{-7}$ (Спец. исследования керна)	0,05	$K_{св}=0,1$ $K_v^{кр}=0,15$ $K_{но}=0,3$ $\bar{k}_v=0,5$ $\bar{k}_n=0,4$	-	1	Полиномиальная/ Логарифмическая
Сжимаемость породы	β	$2 \cdot 10^{-7}$ (Спец. исследования керна) [31]	0,05	0,05	-	0-0,01	-
Анизотропия проницаемости	χ	-	-	-	-	0-0,1	-
Законтурная область	ЗО	-	-	-	-	0-0,1	-
Параметры скважин							
Траектория		0,9-1	0,15	-	-	0	-
Перфорация		0,9-1	0,15	-	-	0	-
Добыча		0,9-1	0,1	-	-	0	-
Закачка		0,9-1	0,25	-	-	0	-

Алгоритм заключается в следующем, на первом этапе создается куб песчаности детерминистическим способом с учетом горизонтальных трендов коэффициента песчаности на основе скважинных данных. Затем создается граф построения куба литологии, посредством которого рассчитывается множество реализаций стохастическим способом (в данном случае рассчитывалось 100 реализаций) с использованием детерминистического куба песчаности в качестве объемного тренда. Для подбора оптимальных параметров построения модели были заданы условия варьирования следующих параметров: число seed (условная точка входа), горизонтальные и вертикальные ранги. Далее составляется статистическая таблица по всем реализациям, где оцениваются полученные данные о распределении коллектора как в целом по месторождению, так и по каждому объекту в отдельности. По результатам анализа таблицы, выбираются реализации куба литологии, где процентное соотношение каждого литотипа не превышает 10% от исходного значения по каротажу. Выбранные модели анализируются на предмет сопоставления геолого-статистических разрезов (ГСР) и определяется оптимальный куб для последующего распространения фильтрационно-емкостных свойств.

В разделе 4 «Усовершенствование методики построения геологической модели с учетом анализа неопределенности данных и многовариантное моделирование с оценкой связности коллектора» описана краткая характеристика месторождения, проведен седиментологический анализ керна, выполнена детальная корреляция разреза. При проведении корреляции учитывался анализ геостатистических данных (рисунок 2), который показывает однородность выделенного объекта. Корректность проведенной корреляции оценивалась при анализе геолого-статистических разрезов объекта (рисунок 3).

Далее приведена методика построения структурного каркаса модели с учетом анализа неопределенности, обусловленного слабой изученностью рассматриваемой территории.

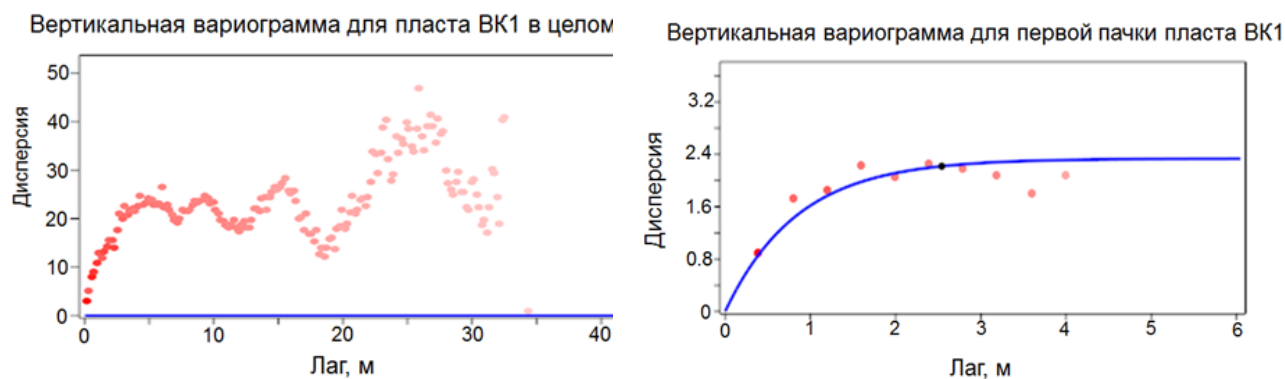


Рисунок 2 – Вертикальные вариограммы до и после детальной корреляции

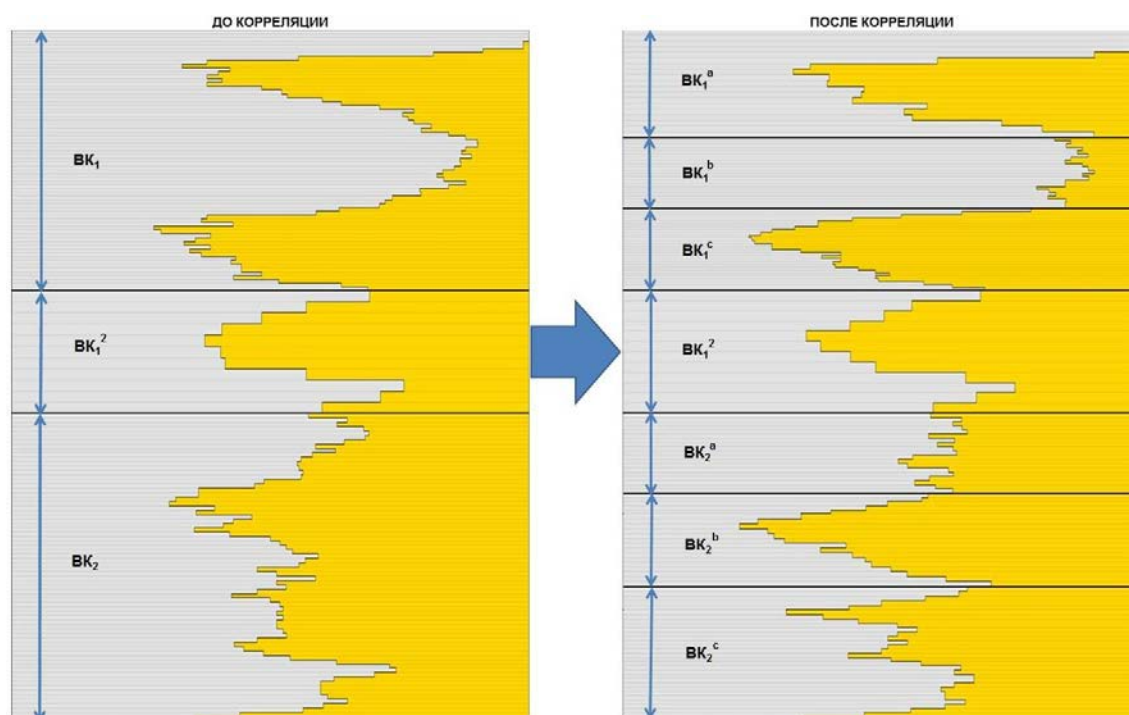


Рисунок 3 – Геолого-статистический разрез объекта ВК

На участке, разбуренном сеткой разведочных скважин, оцененная геологическая неоднородность пласта, как правило, ниже геологической неоднородности того же пласта при его разбуривании сеткой эксплуатационных скважин. В связи с этим разработана технология оценки геологической неоднородности пласта, разбуренного плотной сеткой скважин и учета ее в геологической модели на участке разбуренных редкой сеткой разведочных скважин путем многовариантного моделирования.

В связи с тем, что месторождение характеризуется сложным геологическим строением, малыми эффективными нефтенасыщенными толщинами ($h_{эф}$) с низкими ФЕС ($K_{п}$, $K_{пр}$), разработка данного месторождения эффективна только

при преобладающем горизонтальном разбуривании. Для уточнения структурного каркаса модели привлечена информация, полученная с горизонтальных скважин (ГС) на протяжении всего горизонтального участка, путем применения методики «геостиринга», которая используется при сопровождении бурения ГС в режиме реального времени, в данном случае уже после бурения в качестве корректировки угла наклона структурной поверхности. Методика основана на создании синтетических диаграмм метода ГК одной из ближайших скважин в наиболее схожем участке и сопоставлении с фактическими данными по каротажу, что позволяет спрогнозировать изменение угла наклона структурной поверхности в межскважинном пространстве или наличие разлома. Совпадение соответствующих синтетических и фактических диаграмм означает, что текущая модель адекватно отображает геологический разрез, если же диаграммы существенно различаются, то необходима корректировка структурной поверхности. Таким образом, получается дополнительный набор точек скорректированной структурной поверхности в межскважинном пространстве, при котором синтетическая и фактическая диаграммы совпадают.

Для воспроизведения адекватной изменчивости пород пласта при построении куба литологии работа проводилась согласно разработанной методике комбинированным способом (раздел 3) в 2 этапа, первый заключается в создании трендового куба литологии детерминистическим способом, второй в создании итогового куба литологии одним из стохастических способов - индикаторным методом. Очередность выполнения процедур по созданию трендового куба литологии следующая: первоначально строятся карты общих и эффективных толщин по скважинным данным, которые вычисляются экстраполяцией с учетом изменчивости значений разбуренной части в неразбуренную. По этим картам вычисляется карта коэффициента песчанистости. Следующим этапом является создание геолого-статистических разрезов (ГСР) и их комбинирование с картами в куб, который используется в качестве тренда при построении куба литологии интерполяцией.

Характерной особенностью геологического моделирования является ограниченность возможностей по контролю над характером пространственного распределения свойств, оценки связности коллектора, неоднородностью свойств, хотя данные параметры оказывают существенное влияние на показатели разработки. В силу описанных причин, в данной работе для оценки неопределенности и создания многовариантных расчетов предлагается использовать совместную оценку запасов и связности моделей, как дополнительного критерия оценки пространственного распределения коллекторских свойств. Данный подход позволяет учесть динамические характеристики объекта при выборе реализаций геологической модели, которые рассчитываются с применением концепции линий тока и оценивают гидродинамическую связность резервуара при расчете потока между скважинами. Такими характеристиками могут являться связанный поровый объем (суммарный поровый объем, ассоциированный со всеми линиями тока модели), коэффициент охвата заводнением, коэффициент извлечения флюида, время прорыва флюида и др. Для каждой реализации геологической модели оценивается гидродинамическая связность резервуара, которая используется как дополнительный критерий для ранжирования и выбора реализаций. Такой метод позволяет выбрать различающиеся модели не только по величине объема углеводородов, но и по характеристикам фильтрации флюида в пласте. Анализ линий тока позволяет оценить влияние параметров геологической модели на течение флюида в пласте на раннем этапе моделирования, что дает возможность отклонить нереалистичные геологические гипотезы и исключить ненужную работу в дальнейшем, например, при адаптации модели к истории разработки. Особенно актуально данную процедуру проводить на тонкослоистых высоко расчленённых коллекторах, при объектном моделировании, где моделируются русловые отложения и связность коллекторов в модели может быть нарушена.

Для интерполяции фильтрационно-емкостных свойств использован стохастический метод модуля петрофизического моделирования, позволяющий, в равной степени, учесть скважинные данные и тренды. В случае малой

разбуренности залежи, в связи с тем, что большинство скважин пробурено в зонах с улучшенными ФЭС, а информация по одиночным разведочным скважинам в зонах с ухудшенными ФЭС оказывает меньшее влияние на интерполяцию свойств в межскважинном пространстве, существует необходимость проведения декластеризации входных данных. Эта процедура преобразует исходную выборку в репрезентативную. После процедуры декластеризации значений коэффициента пористости максимальные и минимальные значения пористости остаются прежними, а среднее и стандартное отклонения изменяются, что значимо меняет входные параметры для геостатистического распределения (Рисунок 4).

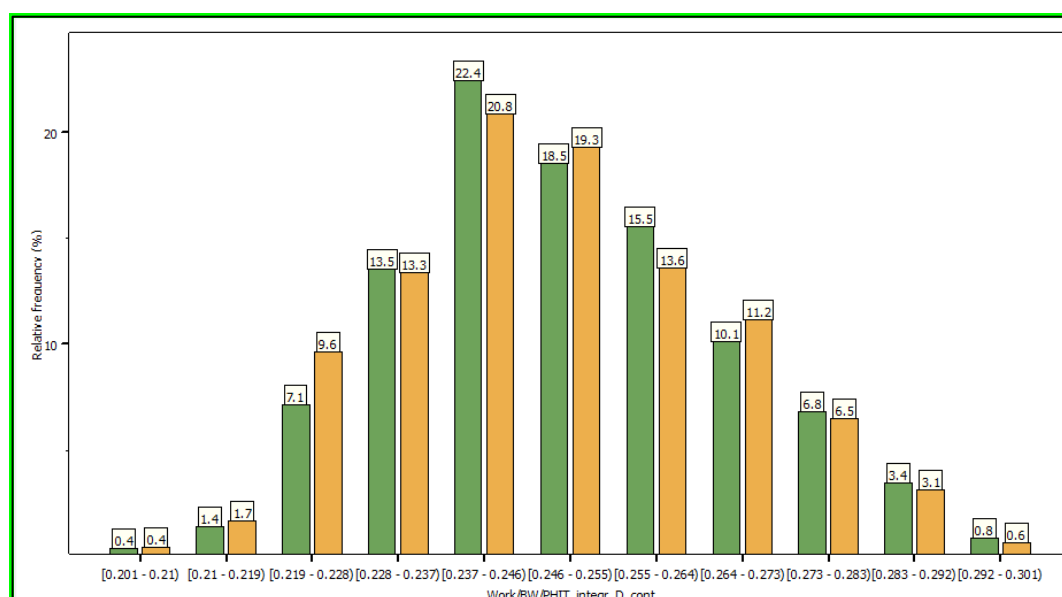


Рисунок 4 – Результат декластеризации данных

В качестве тренда для построения куба K_{Π} задан куб, полученный из карт коэффициента пористости для каждого пласта (BK_1 , BK_2), построенных интерполяцией фактической изменчивости. Проницаемость рассчитывалась в корреляционной связи от пористости. Методика интерпретации данных ГИС разработана в диссертационной работе Акиньшина А.В. на тему «Повышение точности определения подсчетных параметров текстурно-неоднородных песчано-алеврито-глинистых коллекторов по данным геофизических исследований скважин (на примере викуловских отложений Краснотеннинского свода)».

Затем рассмотрены методики определения насыщенности по капиллярной модели с учетом переходной зоны. Предложено для расчета коэффициента водонасыщенности использовать несколько методов регрессионного уравнения и в результате сравнения минимальной ошибки выбрать наиболее оптимальный вариант (таблица 2). Дополнительно, осуществляется контроль качества на кросс-плоте и гистограмме сопоставления расчетных величин насыщенности по капиллярной модели и по кривой ГИС.

Таблица 2 - Результаты сравнения кривых посчитанных по капиллярной модели с учетом разным уравнений корреляции с кривой сопротивления.

Метод корреляции	Σ ошибки по модулю	Σ ошибки
J-функция	188,8	-20,5
Лямбда-функция	155,76	30,95
Функция Thomeer	140,51	21,35
Функция Brooks-Corey	152,78	31,9
Функция Skelt-Harrison	156,69	34,6

Таким образом, предлагаемый алгоритм построения геологической модели представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Предлагаемый алгоритм построения модели

Таким образом, путем перестроения модели с учетом вышеописанной технологии произошло существенное уточнение первоначальной модели и уменьшение геологических запасов месторождения. Существенные расхождения по запасам связаны со сменой концепции строения модели, то есть переход от пликативной модели строения к разломной, от пластово-сводовой залежи к литологически-экранированной, также изменения произошли за счет структурных изменений, разницы в подсчетных параметрах, пересмотром ВНК и различий в коэффициентах и контурах нефтеносности.

По созданной геолого-гидродинамической модели пластов ВК₁ и ВК₂ месторождения W осуществлено обоснование точек заложения эксплуатационных скважин. По данным двадцати шести пробуренных наклонно-направленных скважин проведена оценка качества геологических моделей, по результатам которой определено, что среднее отклонение абсолютных отметок кровли пласта по авторской модели от фактических результатов составляет 1,3 м, а по утвержденной модели – 8,2 м, среднее отклонение эффективных нефтенасыщенных толщин по авторской модели равно 0,9 м (по утвержденной модели – 7,1 м), что говорит о достаточно хорошей прогнозной способности.

Заключение

В последние 10-15 лет отмечается тенденция значительного повышения доли месторождений со сложным геологическим строением. Решение геологических задач для таких месторождений требует повышение точности и адекватности геолого-гидродинамических моделей. Для этого необходимо дальнейшее интенсивное развитие алгоритмической базы моделирования.

Стремительное развитие высокотехнологичных программных продуктов и вычислительных мощностей создает благоприятные предпосылки для получения более адекватных моделей, путем внедрения в процесс комплексного подхода с применением многовариантных геолого-гидродинамических расчетов.

В диссертационной работе проанализированы и проклассифицированы неопределенности всех видов геологических, эмпирических данных и их влияние на точность геолого-гидродинамических моделей и, как следствие, на точность решения геологических задач, в частности, на оценку запасов углеводородов.

В настоящее время на повышение точности ГГМ влияет ряд негативных факторов:

- дефицитом исследований, проводимых на месторождениях, в связи с дороговизной,
- недостаточной точностью замеров, длительности проведения исследований, технологических проблем,
- низкой степенью разрешенности сейсмических данных,
- отсутствием или низкой степенью статистических зависимостей между различными геологическими и геофизическими параметрами,
- несовершенством математического аппарата моделирования геологических задач.

Комплексирование методов и алгоритмов на каждом этапе построения геолого-гидродинамических моделей, привлечение дополнительной информации к построению, таких как, данные по горизонтальным скважинам, проведение анализа связности пород коллекторов, моделирование структурных поверхностей, моделей литологических и фильтрационно-емкостных свойств с учетом многовариантности реализаций, повышение детальности моделирования месторождений, способствует повышению точности значений абсолютных отметок целевых объектов, обеспечивает достоверный прогноз нефтенасыщенных толщин и качество оценки запасов УВ для дальнейшего обоснования и уточнения проекта эксплуатационного разбуривания.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы

1. Составлена классификация причин возникновения неопределенностей при геологическом и гидродинамическом моделировании месторождений: по источникам информации, по характеру и масштабу исследования, по

разрешающей способности и по характеру причин возникновения погрешностей (погрешности оборудования, не соблюдение технологии, проблемы интерпретации данных и проблемы построения модели). В рамках изложенной классификации проведен анализ используемых методов исследований и замеров: бурение с отбором керна, геофизические, гидродинамические, сейсмические исследования, испытания в скважинах.

2. Составлена схема причинно-следственных связей между характеристиками извлечения нефти. Проведена оценка взаимосвязи методов исследования, исходных данных и моделей. Рассмотрены способы получения данных для гидродинамической модели, степень неопределенности данных в рамках существующего рабочего процесса. На основе полученных оценок неопределенностей данных сформирован перечень переменных, которые могут быть использованы на различных этапах калибровки модели.

3. Усовершенствована методика построения структурной модели с учетом анализа неопределенности входных данных. Эта методика особенно актуальна для месторождений с низкой степенью изученности и/или существенной неравномерностью сети наблюдений. Усовершенствована методика построения геологической модели, позволяющая также использовать критерий связности коллектора в межскважинном пространстве и данные по горизонтальным скважинам. Окончательный выбор наиболее вероятной и адекватной модели для гидродинамического моделирования проводится по суммарной погрешности ряда геолого-промысловых параметров.

4. Созданные детальные трехмерные геологические модели пластов AC_{10}^2 и $AC_{10}^{2/1}$ месторождения R и пластов BK_1 , BK_2 месторождения W Западной Сибири на основе разработанных и усовершенствованных методик позволили существенно уточнить геологическое строение и пространственную структуру запасов месторождения. Существенные расхождения по запасам с первоначальной утвержденной моделью связаны со сменой концепции строения модели, то есть переход от пликативной модели строения к разломной, от пластово-сводовой залежи к литологически-экранированной, также изменения

произошли за счет структурных изменений, учитывающих изменчивость структуры в неразбуренной части пласта, уточнения подсчетных параметров, особенно коэффициента нефтенасыщенности, уточнения ВНК и контуров нефтеносности.

5. Проведена внешняя проверка и оценка качества построенных геологических моделей по данным 26 пробуренных наклонно-направленных скважин, которая показала, что среднее отклонение абсолютных отметок кровли пласта по авторской модели от фактических результатов составляет 1,3 м (по утвержденной модели – 8,2 м), среднее отклонение эффективных нефтенасыщенных толщин по авторской модели равно 0,9 м (по утвержденной модели – 7,1 м), что говорит о достаточно хорошей прогнозной способности авторской модели.

6. Предложенный подход к построению постоянно действующих геолого-гидродинамических моделей с учетом анализа неопределенностей и анализа связности пород коллекторов и данных по горизонтальным скважинам используется на ряде других месторождений на предприятии «СургутНИПИнефть» ОАО «Сургутнефтегаз».

Список опубликованных работ по теме диссертации

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Боженюк, Н.Н. Многовариантная адаптация гидродинамической модели в условиях неопределенности входных данных. Опыт использования в ОАО «Сургутнефтегаз», перспективы и возможности для работы и бизнеса / Н.Н.Боженюк, П.А.Бабынин, С.А.Вознюк // Бурение и нефть. – 2015. – №06. – 5с.
2. Боженюк, Н.Н. Уточнение петрофизических данных и подбор оптимальных параметров построения геологической модели месторождения Сургутского свода / Н.Н. Боженюк // Нефтяное хозяйство. – 2015. – №07. – С.72-75.

3. Боженюк, Н.Н. Анализ и классификация причин возникновения неопределенностей при геологическом моделировании / Н.Н. Боженюк // Нефтегазовое дело. – 2015. – №3. – Электронный научный журнал.
4. Боженюк, Н.Н. Создание геологической модели викуловских отложений с учетом анализа неопределенности данных / Н.Н. Боженюк, М.Д. Коробков // Нефтяное хозяйство. – 2016. – №08. – С. 89-93.
5. Боженюк, Н.Н. Некоторые приемы адаптации гидродинамической модели к истории разработки / Н.Н. Боженюк, А.В. Стрекалов // Нефтегазовое дело. – 2016. – Том 15. – №2. – С. 42-49.
6. Боженюк, Н.Н. Параметры неопределенности гидродинамических моделей – допустимость варьирования и степень влияния на конечный результат / Н.Н. Боженюк, А.В. Стрекалов // Бурение и нефть. – 2016. – №07-08. – С. 18-21.

Публикации в других изданиях:

7. Боженюк, Н.Н. Отображение неоднородностей терригенных коллекторов методом выделения гидравлических единиц потока / Н.Н. Боженюк // Инженер «Сургутнефтегаза». – 2014. – №4(4). – С.54-59.
8. Боженюк, Н.Н. Уточнение петрофизических данных и подбор оптимальных параметров построения геологической модели месторождения Сургутского свода / Н.Н. Боженюк // Салмановские чтения: материалы и доклады IX научно-практической конференции молодых специалистов. – Тюмень: Сибирский научно-аналитический центр. – 2016. – 212 с.
9. Боженюк, Н.Н. Создание постоянно действующей геологической модели месторождения для сопровождения эксплуатационного разбуривания / Н.Н. Боженюк // Сборник статей международной исследовательской организации «Cognitio» по материалам XXIV международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы науки XXI века», г. Москва: сборник со статьями (уровень стандарта, академический уровень). – М.: Международная исследовательская организация «Cognitio». – 2017. – 68с.