

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Степанова Сергея Викторовича на диссертацию Божениук Надежды Неониловны «Методы адаптации и снижения неопределенностей при геолого-гидродинамическом моделировании терригенных коллекторов на примере ряда месторождений Западной Сибири», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.12 – Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений

Актуальность темы исследований

Как известно, в настоящее время основным подходом для принятия решений в части разработки месторождений углеводородов является геолого-гидродинамическое моделирование. Такое моделирование осуществляется с использованием специализированных программных продуктов, отличительной особенностью которых является постоянное развитие функциональных возможностей. При этом можно констатировать такую особенность: несмотря на интенсивное развитие методов и средств геолого-гидродинамического моделирования, качество моделирования, выражающееся в степени соответствия между предсказанной моделью и полученными на практике данными об объекте моделирования, не редко является не достаточно высоким. Это выражается, например, в том, что не подтверждаются модельные свойства пластов и/или технологические показатели работы скважин.

Очевидно, что с увеличением сложности месторождений нефти и газа, необходимостью ввода в разработку трудноизвлекаемых запасов, повышаются и требования к качеству геолого-гидродинамического моделирования. Достичь необходимого качества моделирования можно как за счет совершенствования существующих, так и за счет разработки новых средств и методов моделирования. Учитывая, что, рассматриваемые в диссертации, объект и процессы геолого-гидродинамического моделирования – коллектора нефти и газа, не являются непосредственно наблюдаемыми, огромное значение на качество моделирования имеет, как понимание неопределенностей входных данных, так и состоятельность применяемых методов моделирования и адаптации моделей к имеющимся данным. В этой связи **тема диссертационного исследования является несомненно актуальной.**

Содержание диссертации, основные результаты

Диссертация изложена на 163 страницах, список литературы включает 162 источника. Структура диссертации состоит из введения и четырех глав (в авторской трактовке - разделов).

Во введении обосновывается актуальность темы исследований, указывается степень научной проработки темы, формулируются цель диссертационной работы и пять основных задач исследования, представлены пять пунктов научной новизны и три защищаемых положения, отмечаются теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, степень достоверности и апробации работы.

Первый раздел представляет собой обзор литературных источников по современному состоянию и методам построения геолого-гидродинамических моделей (ГГМ). Основной акцент сделан на этапах построения геологической модели (ГМ) и гидродинамической модели (ГДМ). По сути, обзор литературных источников сводится к описанию техники геолого-гидродинамического моделирования, что, в целом, соответствует направленности диссертационного исследования. При этом важно, что цель и задачи исследований формулируются исходя из сложившейся практики геолого-гидродинамического моделирования.

Второй раздел диссертации является описанием неопределенностей (и их причин), имеющих место при геологическом и гидродинамическом моделировании. Автором диссертации приведена собственная классификация источников неопределенностей при

геологическом и гидродинамическом моделировании. Рассмотренные в классификации причины неопределенностей являются достаточно известными, однако, в совокупности, сама классификация, пожалуй, может рассматриваться как оригинальный результат, хотя и не достаточно аргументированный (см. замечания 7, 8).

Первым основным результатом раздела 2, по всей видимости, следует считать составление таблицы характеристик исходных (входных) данных для геолого-гидродинамического моделирования (таб. 2.4). Ключевыми параметрами данной таблицы является охват замера, погрешность данных (три разновидности), изменчивость и характер зависимости. Для определения погрешности и изменчивости автором диссертации (путем логических рассуждений) получены ряд формул.

Вторым основным результатом раздела 2 можно считать сформированный перечень переменных, которые могут быть использованы при настройке ГДМ на историю разработки. В целом данный перечень достаточно логичен, хотя и не безупречен (см. замечание 13).

В разделе 3 на примере реального месторождения R приводятся разработанные способы повышения качества трехмерных геологических моделей. Рассматриваются результаты применения детерминистического и стохастического подходов. На примере сравнения карт песчаности показано, что карты, построенные по этим подходам, заметно отличаются как между собой, так и «с трендовой картой песчаности по скважинным данным». Как следствие обосновывается необходимость создания нового подхода. Согласно приведенной схеме, предлагаемый автором подход состоит в последовательности действий, включающих создание карт-трендов песчаности (по скважинным данным), использование детерминистического подхода для куба песчаности и использование стохастического подхода для кубов литологии. Выбор куба литологии из всех возможных реализаций происходит с использованием геолого-статистических разрезов (ГСР). Результатом применения авторского подхода является: (1) возможность воспроизведения в неразбуренной части пласта изменчивость свойств, аналогичную той, что наблюдается на участке с большим количеством скважин и (2) возможность уменьшения «стохастического шума».

Раздел 4 является, исходя из количества страниц (40% от общего количества), основным в диссертации. Представленный материал получен с использованием данных по реальному месторождению W. Иллюстрации (схемы корреляции, ГСР и т.д.) в разделе преимущественно имеют происхождение от автора диссертации.

В разделе 4 автор подробно описывает этапы построения модели месторождения W. При этом «для воспроизведения адекватной изменчивости пород пласта» используется метод, изложенный в разделе 3. Основными результатами раздела 4 являются: (1) авторская методика построения структурного каркаса, (2) оценка неопределенности данных в межскважинном пространстве с помощью совместного учета оценки запасов и критерия связности коллектора. Связность коллектора рассчитывается посредством гидродинамического моделирования по методу линий тока. Стоит согласиться с мнением автора о том, что применение гидродинамического моделирования (в данном случае упрощенного, по методу линий тока) позволяет отклонить нереалистичные реализации ГМ, а значит исключить «не нужную работу» при адаптации ГДМ. Отметим, что техническая реализация предлагаемого подхода для анализа связности пласта осуществлена посредством плагина к ПК «Petrel».

К разделам 3, 4 в отличие от разделов 1, 2 выводы не даются.

В заключении к диссертации представлены шесть выводов. Содержание выводов в целом согласуется с целью работы и задачами исследования.

Следует отметить, что автор практически повсеместно использует понятие геолого-гидродинамического моделирования. Этим справедливо подчеркивается тот факт, что создание математической модели как инструмента, полезного для сопровождения и проектирования разработки месторождений углеводородов, - процесс неразрывный.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность и новизна

Автором диссертации сформулированы 3 научных положения выносимых на защиту, а именно: (1) классификация причин возникновения неопределенностей и проведенная параметризация, оценка взаимосвязей параметров; (2) усовершенствованный алгоритм построения ГГМ с учетом анализа неопределенности данных; (3) созданные (авторские) ГМ двух реальных месторождений Западной Сибири. Все положения, а также выводы и рекомендации являются в удовлетворительной степени обоснованными (см. замечания).

В диссертации выделены 5 пунктов научной новизны. Несмотря на то, что современное математическое геолого-гидродинамическое моделирование уже на протяжении (ориентировочно) десяти лет решает среди прочих и задачи анализа неопределенностей, четыре из пяти полученных в диссертации результата можно характеризовать как новые. При этом стоит заметить, что признак новизны относится в первую очередь не к исследованию и учету неопределенностей как таковых, а к деталям их классификации и способам учета в процессе моделирования. Касательно пятого пункта новизны («Созданы детальные трехмерные геологические модели...») – представляется, что сами модели пластов не следует относить к научной новизне. Сейчас работа по созданию геолого-гидродинамических моделей имеет «конвейерный» вид и то, что модель является новой, отличной от других не является достаточным признаком ее научной новизны. Научная новизна может относиться к методам, способам построения моделей, что и указывает автор диссертации в четырех предыдущих пунктах научной новизны.

Результаты работы получены с использованием функционала, доступного из коммерческих программных комплексов (ПК) геологического моделирования, в частности ПК «Petrel». Данный ПК хорошо себя зарекомендовал, поэтому достоверность полученных результатов, по крайней мере с позиции математических алгоритмов обработки информации, не вызывает сомнения.

Основные результаты диссертации, в конечном итоге выражающиеся в построении собственной модели месторождения, автор сопоставляет с ранее имеющейся, утвержденной, моделью. Видно, что данные модели заметно различаются. Сопоставление модельных данных с данными для 26 пробуренным скважинам по отметкам кровли пласта и эффективной нефтенасыщенной толщине показывает, что авторская модель имеет существенно меньшее отклонение от факта. Как известно, подтверждение данных, предсказанных моделью, фактом – является наиболее правильной оценкой ее качества. Поэтому можно говорить о корректности разработанных и применённых автором подходов к геологическому моделированию и достоверности полученных результатов о строении и свойствах исследуемых пластов.

Полнота опубликованных результатов диссертации

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 9 работах, из которых 6 – в изданиях из перечня ВАК РФ. Содержание данных публикаций полностью отражает результаты диссертации и в целом согласуется с текстом диссертации. Тем не менее, имеются и некоторые не принципиальные отличия. Так, например, в статье [6] приведены формулы 1, 2, отличающиеся от аналогичных формул 2.1, 2.2 в диссертации.

Заключение о соответствии критериям, которым должна отвечать диссертация

Полученные Боженюк Н.Н. научные результаты обусловлены необходимостью повышения качества ГГМ за счет совершенствования подходов, применяемых при геолого-гидродинамическом моделировании месторождений углеводородов. Другими словами, автор диссертации, имея большой практический опыт моделирования, понимает

существующую в данной области проблематику и на этой основе предлагает собственные подходы (в рамках существующих возможностей коммерческих ПК геологического моделирования), которые позволяют не только создавать более достоверные ГГМ, но и делают процесс моделирования более эффективным. Рассмотренная проблематика геолого-гидродинамического моделирования (изучение неопределенностей, разработка методов снижения их роли при моделировании) обеспечивает внутреннее единство диссертации.

Диссертация Боженюк Н.Н. имеет прикладной характер, а полученные результаты использованы в практической деятельности на предприятии «СургутНИПИнефть» для ряда месторождений ОАО «Сургутнефтегаз». Автор достаточно аргументированно преподносит свои наработки и по тексту диссертации постоянно сравнивает свои решения с известными.

Предложенные автором методы геолого-гидродинамического моделирования (применение которых показано на примерах реальных месторождений) можно трактовать как продвижение в решении научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение – более эффективное сопровождение и проектирование разработки месторождений.

Таким образом, **диссертация Боженюк Н.Н. полностью соответствует критериям ВАК РФ, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней.**

Замечания к диссертации

(по оформлению диссертации)

1. Во введении применительно к положениям, выносимым на защиту, уместно было бы указать их соответствие паспорту специальности.
2. В 1-м разделе, на стр.12, 13 при перечислении ученых, внесших большой вклад в создание и совершенствование методов геолого-гидродинамического моделирования, даются ссылки на литературные источники для некоторых авторов. Представляется, что обзор литературы был бы более объективным и аргументированным, если бы автор диссертации не просто указала соответствующие источники, а дала бы комментарии конкретно по данным работам.
3. В 1-м разделе упоминается постоянно-действующая ГГМ (ПДГГМ), причем отмечается, что «...должна соблюдаться определенная этапность выполнения отдельных видов работ». Далее приведенное описание этапов построения ГМ и ГДМ не отражает специфику создания именно постоянно-действующей модели, а именно локальную или глобальную корректировку исходной модели в связи с появлением новых данных.
4. На стр.21 говорится «фазовый состав флюидов в скважинах настраивается при помощи изменения фазовых проницаемостей». Фраза является не удачно сформулированной, поскольку термин «фаза» в данном случае является синонимом термина «флюид». Кроме того «фазовый состав» в скважинах (и в пласте) может настраиваться не только за счет изменения фазовых проницаемостей, но и за счет массы других факторов, например, за счет корректировки давления насыщения и PVT-свойств флюидов.
5. Выводы по 1-му разделу (стр.22) воспринимаются как противоречивые. Вначале говорится об эффективности геолого-гидродинамического моделирования, а затем говорится о необходимости разработки и усовершенствования существующих методик.
6. Не удачное название 2-го раздела «Анализ неопределенности...» - в разделе идет перечисление неопределенности и причин их возникновения, но в практике геолого-гидродинамического моделирования понятие «анализ неопределенности» используется как одна из составляющих *процесса* моделирования.

7. В разделе 2, некоторые причины, обуславливающие возникновение неопределенностей, раскрыты не достаточно подробно. Так, применительно к керновым исследованиям (стр.32, 33), которые являются основой данных о пласте, написано всего четыре предложения. При этом, в первом предложении звучит категорическая мысль, что «цилиндрические образцы керна утрачивают репрезентативные свойства...». Кроме того, говоря (в другой части раздела, стр.29) о керне, автор, хотя и упоминает на проявление масштабного эффекта «для разных объемов исследуемого керна», ничего не пишет об особенностях исследований по технологии «цифровой керн». Отметим, что данная технология сейчас позиционируется как основная для исследования коллекторов с трудноизвлекаемыми запасами, о которых автор упоминает при обосновании актуальности своей работы.
8. Во 2-м разделе автор говорит о проблеме определения проницаемости. Проблема была бы освещена более объективно, если ее проиллюстрировать примерами (может быть из собственной практики), когда, например, абсолютная проницаемость определяется по керну, геофизическим исследованиям скважин (ГИС), гидродинамическим исследованиям (ГДИС). Это позволило бы рассматривать проблему источников неопределенностей комплексно, с увязкой на методы определения насыщенности, PVT-свойства, относительные фазовые проницаемости (ОФП) и т.п.
9. В таб.2.2 2-го раздела, источники для части данных указаны не достаточно полно. Так, например, ОФП можно получать не только из лабораторных керновых исследований, но и по промысловым данным, по технологии «цифровой керн», по аналитическим зависимостям.
10. В таб.2.5, 2.6 (стр.53, 54) не понятно зачем разделены переменные для ОФП и для параметров ОФП (переменная $K_{св}$, $K_{ср}^{кр}$, ...).
11. В диссертации имеются опечатки и ошибки, связанные с размерностью данных. Так, например, на рис.2.6 (стр.47) величины $K_{выт}$, $K_{во}$ обозначаются как доли, хотя, судя по рисунку, приведены проценты. Другой пример – несоответствие размерностей в левой и правой частях уравнений (2.5) и (2.6). Кроме того, формула (2.5) не является законом Дарси, а является нульмерной формулой материального баланса, в формуле (2.6) отсутствует знак «-» (или обозначение модуля при градиенте давления), размерность градиента давления (в СИ) не Па, а Па/м и вообще для обозначения операции градиент, как правило, используется символ «∇», а не «Δ».
12. На стр.127 некорректно написано, что «в результате разницы плотностей возникают две противоположные силы гравитационная сила и капиллярная». Капиллярная сила связана не с разницей плотностей (пластовых флюидов), а с поверхностным натяжением между флюидами, смачиваемостью породы, структурой ее пустотного пространства.

(по сути работы)

13. В таб.2.5, 2.6 (стр.53, 54) приведены используемые для настройки ГДМ переменные. Статус (используется / не используется) части переменных установлен не корректно. Так, например, для настройки модели по давлению почему-то не используется ОФП (в обеих таблицах) и коэффициент анизотропии (в таб.2.6). На самом деле, изменение давления в пласте связано как с проводимостью пласта в разных направлениях (анизотропия), так и с подвижностью флюидов, зависящей от ОФП.
14. В разделе 3, который называется «Способы повышения качества построения трехмерных геологических моделей» по сути, речь идет только об одном способе – «комплексировании алгоритмов». Повышение качества ГМ автор связывает с

возможностью воспроизведения в неразбуренной части пласта изменчивость свойств, аналогичную той, что наблюдается на участке с большим количеством скважин и с возможностью уменьшения «стохастического шума». Такие факты можно рассматривать только как косвенный ориентир в оценке корректности ГМ. Прямое подтверждение корректности ГМ можно получить только по результатам бурения новых скважин. Поэтому для более надежного подтверждения состоятельности предлагаемого подхода необходимо было воспользоваться либо «слепым тестом» или привести пример использования подхода для синтетического месторождения.

15. В разделе 4 (стр.119) автор со ссылкой на литературный источник уточняет, что «упрощенные гидродинамические расчеты достаточны лишь для оценки гидродинамической связности резервуара, а для определения показателей разработки требуется выполнение полноценного гидродинамического моделирования». С этим тезисом можно не согласиться, поскольку практика математического моделирования не редко показывает, что применение упрощенных моделей (даже аналитических) позволяет получить результаты более приемлемые для сопровождения, чем «полноценное» гидродинамическое моделирование.

Общая оценка диссертации

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 25.00.12 – Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений. Действительно, полученные результаты позволяют более качественно изучать особенности геологического строения месторождений и являются основой для геологического обоснования разработки месторождений.

Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертации.

Приведенные замечания в своей основной массе относятся к оформлению диссертации и не снижают общую ценность диссертационной работы.

Диссертация имеет выраженный прикладной характер, полученные автором результаты способствуют решению научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение для более эффективного сопровождения и проектирования разработки месторождений. **Автор диссертации - Боженюк Надежда Неониловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.12 – Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений.**

Официальный оппонент
старший эксперт отдела экспертов
ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
доктор технических наук

Подпись старшего эксперта Степанова С.В. заверяю:

Верушкин Александр Иванович
Мухоморова Анна Владимировна



Степанов С.В.
21 мая 2018 г.

Степанов Сергей Викторович, доктор технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, старший эксперт отдела экспертов Общества с ограниченной ответственностью «Тюменский нефтяной научный центр».

Адрес: 625000, г. Тюмень, ул. Максима Горького, 42

Телефон: 3452 52 90 90, доб.6638

E-mail: svstepanov@tnc.rosneft.ru