

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Поспеловой Татьяны Анатольевны «Развитие методов регулирования работы скважин на основе цифровых технологий»,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

### **Актуальность темы диссертации**

Многолетний опыт создания и использования математических моделей показывает, что их возможности часто не соответствуют тем потребностям, которые возникают при решении задач разработки месторождений. В частности, это относится к точности прогнозирования технологических показателей разработки, что во многом связано с адекватностью используемых моделей реальным объектам и процессам. Важным является вопрос вычислительной эффективности, например, исходя из необходимости проведения большого количества расчетов при адаптации моделей, анализе неопределенностей, управления работой скважин в режиме реального времени. Таким образом, имеет место задача повышения качества и оперативности моделирования. Особенно остро данная проблема ощущается при оценке профилей добычи нефти и газа на новых лицензионных участках, при обосновании мероприятий по поддержанию уровней добычи на зрелых месторождениях и при корректировке системы поддержания пластового давления, при обеспечении планового отбора газа и максимальной экономической эффективности работы нефтегазовых промыслов посредством повышения устойчивости математического вычислительного аппарата для реализации цифровых двойников с автоматической адаптацией. В связи с этим, рассматриваемая диссертация посвящена чрезвычайно актуальной

теме: развитию методов и алгоритмов регулирования технологических режимов работы скважин в реальном времени.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Результаты диссертационного исследования научно обоснованы, так как основаны на классических математических моделях. Задачи решались с использованием промысловой информации, базировались на анализе данных многовариантных расчетов.

В данном исследовании автор опирался на труды ученых и специалистов, внесших большой вклад в развитие теории и практики методов математического моделирования и компьютерных технологий в разработке нефтегазовых месторождений. Полученные автором результаты характеризуются физичностью, совпадением итоговых величин с существующими различными моделями и альтернативными методиками расчетов. Представление работы неоднократно подтверждено выступлениями на российских и международных конференциях.

### **Достоверность полученных результатов**

Поставленные в диссертации задачи решались как на теоретическом, так и практическом уровне, применительно к реальным промысловым условиям. Выполнен анализ накопленного отечественного и зарубежного научного и прикладного опыта по данной теме, выявлены основные проблемы, по-прежнему, приводящие к длительным многовариантным расчетам на 3Д геолого-гидродинамических моделях, и как следствие, невозможности формирования оперативных решений по разработке месторождений нефти и газа. Для решения указанной проблемы созданы и получили развитие в работе аналитические и численно-аналитические модели для оценки эффективности ППД, расчета профилей добычи в условиях инфраструктурных ограничений, предложено решение по расчету технологических режимов газовых скважин в режиме реального времени. Все алгоритмы и методы проходили тестирование и сравнение с фактической историей разработки, а также сравнение на синтетических моделях. Проведенные исследования и полученные результаты



подтверждены положительными результатами внедрения отдельных элементов технологии цифрового регулирования добычей.

### **Научная новизна**

1. Разработан аналитический подход прогнозирования добычи, отличительной особенностью которого является объединение в едином расчете прогноза базового фонда и новых скважин, учета эффекта от ГТМ и ограничений со стороны инфраструктуры, оценки экономической эффективности рассчитанного варианта разработки. Продемонстрировано существенное различие аналитического решения и на ГДМ по времени счета, до двух порядков, при сопоставимых результатах, что делает аналитическую модель незаменимым инструментом на этапе подготовки прогнозного варианта разработки месторождения, когда требуется выполнить большое количество расчетов с целью формирования графика ввода скважин и программы ГТМ с учетом бизнес-плана добывающего предприятия и инфраструктурных ограничений. При этом количество расчетов, выполненных непосредственно на ГДМ, сводится к минимуму. Разработана комбинация предлагаемых аналитических «инструментов» на основе конфигурации набора отдельных оптимизационных задач с индивидуальным и общим набором ограничений и правил для прогнозного интервала времени. В результате формируется набор решений, удовлетворяющих условиям оптимизационной постановки, что позволяет разработчику выбрать логическое проектное решение.
2. Разработана технология оптимизации текущей системы заводнения зрелых месторождений, включающая комплексный анализ системы ППД, автоматический подбор оптимальных режимов работы нагнетательных скважин с целью повышения нефтеотдачи и поддержания оптимальной текущей компенсации. Отличие состоит в комбинации физически состоятельной двухфазной модели CRM с учетом материального баланса и отсутствием необходимости настраивать историю разработки по скважинам в

- ГДМ, подбирая оптимальные приемистости и свойства нефтяного пласта в межскважинном пространстве многочисленными итерационными расчетами.
3. Расширено применение стохастико-аналитических моделей с выделением гидропроводной и пьезопроводной проницаемостей. Добавлен новый элемент, описывающий дисбаланс закачки и отбора – коэффициент гидроаккумуляции  $M_k$  для идентификации топологической карты проводимостей.
  4. Впервые разработана общая концепция создания прокси-моделей пласта, на основе метода крупных контрольных объемов (МККО), учитывающая перетоки между элементами, что позволяет расширить интеграцию моделирования подземной части с моделями инфраструктуры с целью перманентного контроля и регулирования технологических режимов.
  5. Разработана технология цифровой трансформации газового промысла и системы его автоматического управления с модульной интеллектуализацией.
  6. Реализована инкапсулированная оптимизация потокораспределения – способ нахождения оптимального распределения потоков в сложных гидросистемах, при котором параметры технических устройств не зафиксированы в процессе нахождения расходов и давлений в элементах модели, а вычисляются непосредственно в процессе разрешения физико-математической модели (решения системы уравнений) исходя из вычисляемого критерия оптимизации и ограничивающих факторов.
  7. Разработана универсальная модель с интеграцией наземных сетей, скважин и пласта для систем внутривнепромыслового сбора продукции и транспорта воды в системе поддержания пластового давления, отличающаяся включением математических регуляторов в основную систему уравнений потокораспределения для соблюдения верхних ограничений по массовым расходам компонентов и использованием механизма автоадаптации параметров работы скважин и коллекторов сбора продукции скважин с данными телеметрии.
  8. Обоснован комплексный подход к оценке и прогнозированию применения



МУН на примере водогазового воздействия с выделением области неопределенности получаемых решений за счет построения трехфазных изоперм на основе данных двухфазной фильтрации.

### **Значимость результатов для науки и практики**

Теоретическая значимость работы заключается в комплексном подходе к формированию технологии цифрового регулирования технологическими показателями разработки. Разработанные цифровые модели охватывают все стадии разработки месторождений и существенно расширяют спектр методов исследования и арсенал применяемых инструментов. В диссертационной работе научно обосновывается новый подход к моделированию технологических режимов скважин в реальном времени.

1. Предложено использование решения оптимизационных задач для корректировки технологических показателей, выбора эффективного варианта разработки для месторождений нефти и газа с учетом ограничений.
2. Обобщены и получили дальнейшее развитие научные основы CRM моделирования. Основное уравнение дополнено слагаемыми и компонентами, более полно отражающими физические особенности процесса заводнения.
3. Усовершенствована стохастико-аналитическая модель с МККО, для определения проводимости между скважинами и повышения точности решения. Уравнение динамики добычи продукции из контрольного объема дополнено коэффициентами гидроаккумуляции и потерями давления в стволе, которые оказывают существенное влияние на параметры в околоскважинной и удаленной зонах ячейки. Сформулированы определения гидропроводной и пьезопроводной проницаемости.
4. Создан последовательный алгоритм, позволяющий сформировать универсальную прокси-модель пласта с детализацией перетоков между контрольными объемами.
5. Введены новые понятия процесса интеллектуализации газового промысла, такие как «цифровой двойник промысла», «инкапсулированная оптимизация» и «автоадаптация».

Практическую значимость работы подтверждают внедренные результаты исследования:

- при непосредственном участии автора разработана технология, реализованная в корпоративном ПО РН-Профиль, которая нашла широкое применение в подразделениях ПАО «НК «Роснефть» для задач оценки рентабельности новых лицензионных участков, средне- и долгосрочного прогнозирования уровней добычи введенных в разработку месторождений в условиях имеющихся инфраструктурных ограничений (месторождения: Ем-Еговское, Каменное, Русское, Протозановское, Соровское, Сузунское, Тагульское). На дату выполнения работы, расчеты по уровням добычи нефти и газа выполнены более чем по 16 месторождениям, результаты которых вошли в проектно-техническую документацию (ПТД) и выполнялись в рамках текущего мониторинга актива;
- разработаны алгоритмы подбора оптимальных режимов работы нагнетательных скважин на основе модели CRM, которая успешно внедрена на активах АО «РН-Няганьнефтегаз», АО «Самотлорнефтегаз»;
- внедрен цифровой двойник промысла на примере Берегового месторождения с оптимизацией технологических режимов по скважинам в реальном времени.

#### **Соответствие опубликованных трудов и автореферата содержанию диссертации**

Основные положения и результаты оппонируемой диссертационной работы опубликованы в 37 научных трудах, в том числе в одной монографии, в 19 статьях в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, в 5 статьях, входящих в реферативную базу Web of Science и Scopus, двух патентах и 10 свидетельствах о государственной регистрации программ ЭВМ. Результаты диссертационной работы почти полностью освещены в указанных публикациях. Автореферат полностью соответствует ключевым положениям диссертации.

По содержанию диссертации имеются следующие замечания.

1. В работе основное внимание уделяется вопросам цифровизации на стадии эксплуатации месторождений, хотя наибольший технико-экономический эффект Цифровой инженеринг приносит на более ранних стадиях жизненного цикла



активов (Разведка, проект разработки и обустройства, проектирование и строительство скважин и т.д.).

2. С методической точки зрения, при постановке задач оптимизации интегрированных систем добычи нефти и газа следовало бы последовательно использовать многокритериальный подход, не прибегая с самого начала к приему сведения многокритериальных задач к однокритериальным.

3. При конструировании интегрированных целевых функций (функций ценности) для оптимизации сложных производственных систем типа «пласт-скважины-обустройство» крайне полезным является использование стоимостных моделей отдельных узлов системы. К сожалению, этому вопросу (алгоритмам кост-инжиниринга) в работе уделено мало внимания.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

#### **Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям**

Диссертация Поспеловой Татьяны Анатольевны на тему «Развитие методов регулирования скважин на основе цифровых технологий» выполнена самостоятельно и на высоком научно-техническом уровне.

Автореферат полностью соответствует содержанию и отражает основные положения и выводы диссертации. Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ВАК РФ.

Диссертационная работа «Развитие методов регулирования работы скважин на основе цифровых технологий» соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям пп. 9-11, 13-14 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено Правительством РФ от 24.09.2013 года №842), является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, позволяющие регулировать технологические режимы нефтяных и газовых скважин и управлять газовым промыслом в режиме реального времени, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие нефтегазовой отрасли Российской Федерации.

Диссертационная работа рекомендуется к защите, а ее автор Поспелова Татьяна Анатольевна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Я, Хасанов Марс Магнавиевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент, доктор технических наук по специальности 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, профессор, директор по науке ПАО «Газпром нефть»



Хасанов М. М.

«11» февраля 2022 г.

Хасанов Марс Магнавиевич  
Доктор технических наук по специальности 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, профессор, директор по науке Публичного акционерного общества «Газпром нефть»

Адрес места работы: 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Почтамтская, д. 3-5, литер А  
Телефон: 8 (812) 363-31-52, доб.3306  
Адрес электронной почты: [khasanov.mm@gazprom-neft.ru](mailto:khasanov.mm@gazprom-neft.ru)

Подпись Хасанова Марса Магнавиевича заверяю:

СПЕЦИАЛИСТ ДИРЕКЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИОННОМУ РАЗВИТИЮ И РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛОМ

К л е т



11.02.2022