

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Юдина Евгения Викторовича** *«Научно-методические основы подготовки и принятия системных технологических и технических решений при разработке месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти и газа»*, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

1. Актуальность темы диссертации

Проблема повышения эффективности разработки месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти и газа является одной из ключевых для современной нефтегазовой промышленности России. Низкопроницаемые коллекторы, подгазовые зоны, залежи высоковязкой нефти и высокообводненные участки зрелых месторождений требуют принципиально новых подходов к управлению процессами разработки и добычи. Существующие полномасштабные численные гидродинамические модели зачастую не обеспечивают необходимой оперативности расчетов для задач текущего управления и не адаптированы к специфическим условиям эксплуатации трудноизвлекаемых запасов.

Диссертация Е.В. Юдина посвящена разработке комплекса численно-аналитических методов и инженерных инструментов, позволяющих существенно ускорить цикл принятия технологических решений при сохранении физической обоснованности результатов. Автор предлагает системный подход, охватывающий задачи от анализа промысловой телеметрии и построения карт свойств пласта до интегрированного моделирования и автоматизированного управления сложным фондом скважин. Тема диссертации является весьма актуальной и имеет важное значение для развития нефтегазовой науки и практики.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения и выводы диссертационной работы обоснованы фундаментальными закономерностями подземной гидромеханики, строгими аналитическими решениями уравнений фильтрации и теплопроводности, а также обширным комплексом численных расчетов. С позиции физико-математического моделирования, работа демонстрирует высокий уровень: автор грамотно использует метод граничных элементов, конформные отображения Шварца–Кристоффеля, разложение по собственным функциям краевых задач, метод линий тока и модификации уравнения Баклея–Левретта.

Верификация предложенных методов проведена путем сопоставления с результатами коммерческих гидродинамических симуляторов, стендовых испытаний и фактических промысловых данных. Масштаб внедрения результатов — более 12 000 скважин для алгоритмов анализа телеметрии, более 10 000 пользователей инженерного модуля планирования приростов — убедительно свидетельствует о практической обоснованности предложенных подходов.

3. Достоверность и научная новизна результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается математической строгостью выводов, многократной валидацией на промысловых данных различных месторождений Западной Сибири, Тимано-Печоры, Оренбуржья, Ямало-Ненецкого региона и зарубежных активов (Республика Куба, Вьетнам). Результаты защищены 20 свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ, 3 патентами, опубликованы в 65 научных работах, включая публикации в журналах Scopus и SPE.

Научная новизна работы заключается в разработке инструментов для анализа работы пластов и скважин, достаточно простых и не требующих больших вычислительных затрат. Комплекс таких инструментов позволяет решать оперативные задачи мониторинга и разработки сложных в геологическом плане залежей.

Для текущего анализа разработки это следующие инструменты. Статистические методы обработки информации расчетов по математической модели притоков продукции в скважину и работы насосного оборудования позволяют сделать оценки ФЕС призабойной зоны и составляющих потоков продукции. Автор назвал этот комплекс – виртуальной расходометрией.

На основе обобщения метода фильтрационных сопротивлений решены задачи оценки производительности скважин при наличии в пласте низкопроницаемых пропластков, зональной неоднородности и наличия разломов и непроницаемых границ в пласте. Хотя автор решает данным инструментом только прямые задачи было бы целесообразно сопоставить расчеты и оценки с данными ГДИ.

Для анализа многофазных притоков в скважины в подгазовых зонах для расчёта конусов газа автор использует стандартное уравнение безнапорной фильтрации Буссинеска. Для расчета дебита продукции с выделившимся газом используется алгоритм псевдофункций давления. Это в целом традиционные подходы также заложены в комплекс программ и алгоритмов решения текущих задач разработки.

Для расчета двухфазных задач заводнения предлагается прокси модель на основе интеграции метода трубок тока и метода граничных элементов. Проведена верификация прокси модели путем сравнения с полномасштабными расчетами на симуляторе tNavigator, сопоставление показало удовлетворительное согласие.

Инструмент для анализа эффективности физико-химических МУН построен на уравнениях двухфазной фильтрации с активным компонентом, впервые предложенных В.М.Ентовым. К сожалению, автор не упомянул его в списке литературы и не отметил в автореферате. Двумерные задачи применения ПАВ, полимеров решаются методом трубок тока.

Анализ тепловых методов автор приводит на примере, пожалуй, самого эффективного процесса парогравитационной пропитки SAGD. В предложенной постановке такие задачи решались как зарубежными, так и российскими специалистами. К сожалению, анализ чувствительности таких расчетов с применением симуляторов GMC Stars, tNavigator показал, что для достоверного воспроизведения динамики паровой камеры, а следовательно, и технологических параметров необходимы сетки с ячейками размером менее метра.

И наконец, для уточнения текущих карт свойств пластов по данным текущих скважинных замеров автор использует решения обратных задач многомерной фильтрации. Это сложные и громоздкие задачи, требующие больших расчетных времен. Автор предлагает инструмент сопоставления текущих замеров давления и дебитов продукции с решениями прямых задач, обработанных с помощью нейронных сетей для выявления несоответствий и выделения зон, на которых необходима текущая адаптация моделей скважин.

Для комплексного анализа разработки месторождений необходимы также инструменты, позволяющие интегрировать «подземные» модели с моделями скважин и скважинного оборудования. К этой части инструментов относятся следующие, также представленные в работе.

При разделении многофазного потока на составляющие важное значение приобретает по каким каналам приходит приток в скважину. Автор предлагает алгоритм разбиения потока на части, одна из которых приходит на прием насоса через затрубное пространство, а другая через НКТ. Такое разбиение существенно меняет наши представления о связи ФЕС пласта с производительностью скважин. В первую очередь такие модели позволяют оценить работу скважинного оборудования в нестационарных режимах: автоматического или периодического включения и отключения скважин. В этот же инструмент входит расчет режимов с фонтанированием через

затрубное пространство или ЭЦН. Для нефтяных оторочек с мощными газовыми шапками эта проблема является актуальной.

Следующим инструментом является расчет фазового состава пара при закачке его в скважину. Таких моделей достаточно большое количество и было бы правильно выделить существенные отличия предлагаемой модели от известных.

Безусловно важным инструментом является интерпретация многофазного потока в скважине. Автор провел массовые расчеты на известных симуляторах для определения связей пластовых параметров и характеристик продукции скважин. Применение машинного обучения позволило ему построить палетки для оперативного решения обратных задач.

Известной проблемой определения эффективности ГТМ на скважинах является учет изменений в работе ближайших скважин как за счет изменения пластового давления, так и за счет перераспределения потоков в инфраструктуре наземных устройств. Для учета этих эффектов автор предложил простейшую линейную модель взаимовлияния работы скважин. Обработка промысловых данных позволила установить связь этих изменений с динамикой замеров давления и дебитов скважин.

Важной задачей анализа работы скважин является разделение притоков продукции из нескольких пластов, эксплуатируемых одной системой разработки. Для решения этой задачи автор обобщил известный метод узлового анализа для определения оптимальных условий эксплуатации скважин насосным оборудованием с известными характеристиками на случай многопластовой залежи.

Главное достоинство рецензируемой работы состоит в том, что рассмотренные инструменты были интегрированы в один пакет, позволяющий решать многие оперативные задачи разработки. Данный пакет был апробирован и внедрен в крупнейших российских нефтегазовых компаниях.

4. Значимость для науки и практики

Теоретическая значимость диссертации состоит в развитии методов математического моделирования процессов фильтрации в неоднородных пористых средах, разработке новых подходов к решению задач многофазной фильтрации с использованием гибридных физико-информированных моделей, а также в обобщении методов подземной гидромеханики для задач интегрированного управления нефтегазовым промыслом. Автором получены новые аналитические результаты в области разложения решений краевых задач фильтрации по собственным функциям, развит метод возмущений для учета межскважинных неоднородностей.

Практическая значимость работы подтверждается масштабом промышленного внедрения: разработанные инструменты используются в трех крупнейших нефтегазовых компаниях России, переведены в промышленную эксплуатацию, а их результаты включены в нормативные и методические документы компаний. Количественные показатели эффективности (повышение эффективности заводнения до 10%, снижение энергопотребления до 15%, реализация операционного потенциала добычи до 10%) имеют значительную экономическую ценность.

5. Рекомендации по использованию результатов

Результаты диссертации могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательских и проектных организациях нефтегазовой отрасли при решении задач оперативного управления разработкой месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Разработанные численно-аналитические модели и инженерные инструменты могут служить основой для создания цифровых двойников промыслов. Методические подходы и алгоритмы могут быть использованы в образовательном процессе при подготовке магистрантов и аспирантов по направлению нефтегазового дела.

6. Оценка содержания диссертации

Диссертация изложена на 377 страницах и содержит 194 рисунка, 8 таблиц, список литературы из 378 наименований и приложения. Структура работы логична: от постановки проблемы и обзора литературы (Глава 1) через разработку методов анализа данных (Глава 2), инструментов управления разработкой (Глава 3) и механизированным подъемом (Глава 4) к интегрированному моделированию (Глава 5) и описанию результатов внедрения (Глава 6).

Третья глава диссертации заслуживает особого внимания: в ней представлен широкий спектр оригинальных численно-аналитических методов, объединенных общей идеей создания моделей пониженной размерности с сохранением ключевой физики процессов. Эти методы покрывают задачи от анализа производительности отдельных скважин до управления системой заводнения и оценки МУН.

Отметим ценный подход к интегрированному моделированию (Глава 5), где автор предлагает решения для актуальных производственных задач: учет влияния перегруженной инфраструктуры, многопластовых систем и нестационарных режимов. Концепция автоматизированного управления в рамках 2-часового цикла является инновационной и отвечает задачам цифровой трансформации отрасли.

Автореферат и автобиография достоверно отражают основное содержание диссертационной работы.

7. Замечания к диссертационной работе

Наряду с положительной оценкой диссертации считаю необходимым отметить следующие замечания:

1. Методы оценки производительности скважин в низкопроницаемых коллекторах основаны на стационарных и псевдостационарных решениях, тогда как для таких коллекторов характерны длительные переходные процессы. Хотя автор упоминает нестационарные индикаторные диаграммы, математическое обоснование критериев перехода от нестационарного к псевдостационарному режиму для конкретных геолого-физических условий представлено недостаточно детально.

2. При описании метода трубок тока для уравнений В.М.Ентова для оценки физико-химических МУН не рассмотрена чувствительность результатов к параметрам сорбции примесей на стенки породы, которая существенно влияет на прогнозные оценки эффективности полимерного и ПАВ-заводнения.

3. Концепция автоматизированного управления фондом скважин в рамках 2-часового цикла представляется весьма перспективной, однако вопросы робастности такого управления в условиях аварийных ситуаций и отказов датчиков не получили достаточного освещения. Было бы целесообразно рассмотреть механизмы обеспечения отказоустойчивости системы автоматического управления.

Указанные замечания носят частный характер и не умаляют научной и практической ценности диссертационной работы.

8. Заключение

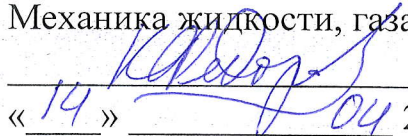
Диссертационная работа Юдина Евгения Викторовича является завершенной научно-квалификационной работой и представляет собой законченное научное исследование, содержащее решение крупной в масштабах отечественной нефтегазодобывающей отрасли научно-технической проблемы разработки научно-методических основ подготовки и принятия системных технологических и технических решений при разработке месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти и газа.

По своему содержанию, научной новизне и практической значимости диссертация полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на

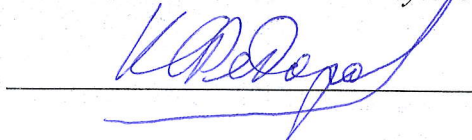
соискание ученой степени доктора наук по специальности 2.8.4 — «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», а ее автор — Юдин Евгений Викторович — заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент:

Профессор Школы естественных наук Тюменского государственного университета, доктор физико-математических наук (специальность 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы)

 Федоров Константин Михайлович
« 14 » 04 2026 г.

Я, Федоров Константин Михайлович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и на их дальнейшую обработку.

 Федоров Константин Михайлович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Тюменский государственный университет»
625003 Россия, Тюмень, ул. Володарского 3
Телефон +7 (3452) 59-74-00,
электронная почта k.m.fedorov@utmn.ru

Подпись Федорова К.М. заверяю.



М.П.

 /  / 
16.04.2026