

О Т З Ы В

Официального оппонента – кандидата технических наук Белой Анастасии Александровны на диссертационную работу Патрушева Ильи Игоревича на тему:

«Разработка методов оптимизации процессов нефтедобычи на основе трехмерного численного моделирования изотермической многофазной фильтрации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертационная работа посвящена **актуальной** задаче построения оптимизированных планов разработки нефтяных месторождений с использованием различных способов добычи. Для ее решения разработана совокупность методов, включающая новые математические модели и численные алгоритмы. Реализация предложенных методов и алгоритмов выполнена в виде модулей и подсистем в составе программного комплекса, позволяющего производить полный цикл работ по сопровождению разработки нефтяных месторождений.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Автореферат отражает основные идеи и результаты диссертационной работы. Основное внимание в работе уделяется предложенному подходу к оптимизации разработки нефтяных месторождений, в основе которого лежит минимизация регуляризованного функционала, построенного с учетом специальной параметризации режимов работы скважин. Описываются разработанная математическая модель для управления разработкой месторождения и методика применения предлагаемого подхода для построения оптимизированных планов нефтедобычи. Важным аспектом работы является разработка алгоритма, обеспечивающего сокращение вычислительных затрат при гидродинамическом моделировании и реализующего процедуру переноса фаз между ячейками конечноэлементной сетки с разными временными шагами. Предлагаемые методы и алгоритмы оригинальны и обладают научной новизной.

Вычислительная эффективность разработанного алгоритма группирования при переносе фаз в процедуре многофазной фильтрации продемонстрирована на тестовой задаче из сравнительного проекта SPE и при моделировании разработки реального месторождения. Результаты показали, что разработанный алгоритм позволил сократить время счета на 2 порядка, что соответствующим образом повлияло и на вычислительную эффективность предложенного метода решения задач оптимизации нефтедобычи.

Предложенная в работе параметризация режимов работы скважин обеспечивает одновременный подбор мощностей добычи/закачки и границ временных интервалов, на которых они заданы. Целевая функция учитывает различные технологические аспекты и ограничения, а введенные весовые коэффициенты позволяют корректировать стратегию нефтедобычи, например, в зависимости от необходимости экономии закачиваемых в пласт агентов. Для поиска минимума целевой функции используется метод Гаусса-Ньютона с адаптивной регуляризацией для удержания параметров добычи в заданных ограничениях.

Эффективность предложенного подхода к построению оптимизированных планов продемонстрирована на примере решения задачи увеличения объемов добычи нефти с использованием полимерного заводнения. Проанализированы решения оптимизационных задач с разными значениями весовых коэффициентов и разной параметризацией режимов закачки. Проведено исследование устойчивости полученного оптимизированного плана. Показано, что выбор промежутка времени, на котором оптимизируется разработка, существенно влияет на результат, и последовательная оптимизация на двух периодах дает планы разработки, заметно уступающие по эффективности оптимальному плану, построенному сразу на два периода. Из этого следует практический вывод о том, что при построении оптимальных планов следует ориентироваться на все предполагаемое время

дальнейшей разработки месторождения, а не ограничиваться некоторым ближайшим периодом.

Диссертационная работа содержит большое количество численных экспериментов, связанных с анализом работоспособности предложенных методов и алгоритмов и позволяющих подтвердить **обоснованность и достоверность** полученных результатов и сделанных выводов. В работе показана сходимость получаемых численных решений при дроблении шага по времени, когда расчеты выполняются с использованием процедуры группирования. Показано хорошее совпадение получаемых численных решений с результатами участников проекта SPE. Это подтверждает корректность реализованного алгоритма группирования конечных элементов в процедуре переноса фаз.

Особенно много внимания уделено обоснованию корректности предложенного подхода к построению оптимизированных планов разработки месторождений. Основная проблема заключается в том, что оптимизированный план строится для некоторой модели, которая не может абсолютно точно воспроизводить работу реального месторождения, и поэтому неясно, насколько этот построенный по модели план будет улучшать характеристики нефтедобычи при его использовании на реальном месторождении. Для обоснования работоспособности предложенного подхода эта ситуация имитируется с использованием двух моделей, точной и приближенной, причем приближенная модель формируется в результате автоадаптации по данным нефтедобычи, полученным по точной модели. Таким образом, точная модель имитирует работу реального месторождения, и при этом появляется возможность проверить, насколько построенный по приближенной (полученной в результате автоадаптации) модели оптимизированный план улучшает характеристики нефтедобычи для точной модели.

Серия проведенных исследований показала, что для полученного по приближенной модели оптимизированного плана прогнозные данные для точной модели отличаются от прогнозных данных для приближенной модели примерно на 1%, т.е. улучшение характеристик нефтедобычи по накопленному объему нефти для точной модели практически такое же, как и для приближенной.

Аналогичное исследование было проведено для ПАВ-полимерного заводнения, и оно также показало хорошее совпадение характеристик нефтедобычи для точной и приближенной модели при разработке месторождения по плану, оптимизированному для приближенной модели.

В диссертации приведены исследования с использованием практических данных по реальному месторождению республики Татарстан. Для него проведено ретроспективное исследование по оптимизации закачки воды и добычи нефти на период с 2009 г. по 2019 г. Здесь также были использованы две модели: первая была построена по укороченному историческому периоду, а вторая – по всем имеющимся данным. Оптимизированный план был построен по первой модели, характеристики нефтедобычи по этому плану оказались довольно близкими для обеих моделей, что дополнительно подтвердило корректность разработанного подхода и устойчивость получаемых планов.

Разработанная подсистема оптимизации программного комплекса была применена для синтеза оптимального управления режимами работы скважин на нескольких реальных месторождениях Республики Татарстан, о чем свидетельствует акт внедрения результатов диссертационной работы в Альметьевском государственном нефтяном институте, выполнявшего работы по заказу ПАО «Татнефть». Это подтверждает практическую значимость результатов диссертационной работы.

Результаты диссертации **опубликованы** в 22 работах, включая 3 публикации в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 13 публикаций, индексируемых в международной системе научного цитирования Web of Science и/или Scopus, из которых 3 публикации из журналов квартиля Q1. Получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

По диссертационной работе можно сделать следующие **замечания**:

1. На стр. 38 сказано, что при минимизации целевой функции используется адаптивная регуляризация, позволяющая удерживать значение забойного давления в заданных границах, но давление не является варьируемым параметром. Каким образом реализуется выполнение этого ограничения?

2. В исследовании с реальным месторождением (п. 4.4) указано только общее время решения оптимизационных задач и не указано, по какому количеству параметров производилась оптимизация в этом исследовании.

3. На практике возможно переключение добывающих скважин в режим нагнетания. В рассматриваемых в работе примерах такое переключение не встречается ни разу. Не совсем ясно, возможно ли с помощью предлагаемого метода производить оптимизацию разработки с переключением скважин из добычи в нагнетание? Как в таком случае должны быть заданы в функционале (2.1) величины «желательный объем добытой жидкости» и «желательный объем добытой нефти»?

4. Разработанные методы оптимизации предполагают работу с уже действующими скважинами. Возможно ли их использование в ситуациях, когда предполагается бурение новых скважин?

Указанные замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку работы. Диссертационная работа «Разработка методов оптимизации процессов нефтедобычи на основе трехмерного численного моделирования изотермической многофазной фильтрации» является завершенной научно-квалификационной работой, полностью отвечает требованиям ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и ее автор, Патрушев Илья Игоревич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент, к.т.н., заведующая лабораторией математического моделирования Акционерного общества «ЕМ-разведка»,
630007, Новосибирская обл., г. Новосибирск,
ул. Октябрьская Магистраль, 4
Телефон: +7 (383) 347-47-97
E-mail: n.belai84@gmail.com

«18» августа 2022 г.

Белая А.А.

Поступила в совет
19.08.22

С отзвтом ознакомлен

19.08.22 И.Патрушев