

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Дуркина Сергея Михайловича "Математическая модель скважины, дренирующей трещиновато-пористый коллектор", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.17 "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений"

Актуальность темы

Разработка залежей нефти и газа в карбонатных пластах со сложной структурой пустотного пространства обычно отличается меньшей эффективностью по сравнению с залежами в терригенных отложениях. Одна из главных причин состоит в наличии развитой трещиноватости. В результате имеет место сильный контраст фильтрационных свойств первичного порового пространства матрицы и разномасштабной трещинной системы. Поиск эффективных способов воздействия на основные запасы нефти и газа в низкопроницаемой матрице через высокопроводящие каналы вторичной пустотности представляет непростую задачу как в теоретическом, так и в практическом плане.

Не менее сложную проблему представляет адекватное моделирование фильтрации флюидов в карбонатных коллекторах. Трудности связаны со значительным контрастом линейных размеров и фильтрационно-емкостных свойств матрицы и каверново-трещинной системы, а также сложностью прогнозирования параметров трещиноватости по керну, данным геофизических исследований скважин (ГИС) и ее развития в межскважинном пространстве. Наибольшее распространение получили различные разновидности модели двойной пористости, рассматривающей матрицу и каверново-трещинную систему как две вложенных сплошных среды. Такой подход позволяет избежать необходимости задания геометрии трещин и учесть основные особенности взаимодействия двух систем пустотности, однако не всегда адекватно описывает движение флюидов в окрестности отдельных скважин или при наличии крупномасштабной трещиноватости.

В последние годы некоторое развитие получили численные модели фильтрации с явным геометрическим представлением трещин – так называемые модели дискретных трещин (discrete fracture models). Они используются, в основном, для учета тектонической трещиноватости на масштабе залежи в целом. Однако такие модели пока не применяются для описания фильтрации в окрестности отдельных скважин, например, для численного решения прямых и обратных задач гидродинамических исследований скважин (ГДИС). Поэтому выбранное соискателем направление исследований – создание численных моделей работы скважины в трещинно-поровом коллекторе с явным учетом геометрии трещин – является актуальным в теоретическом и практическом плане.

Структура работы и публикации

Диссертация Дуркина С.М. включает введение, 4 главы, заключение, список литературы из 156 наименований. Текст работы изложен на 151 странице, написан квалифицированным, грамотным языком.

Первая глава посвящена обзору публикаций по теме работы и обоснованию выбранной тематики. Обзор литературы отличается большим охватом как отечественных, так и зарубежных публикаций, включая работы последних лет, по проблемам разработки, моделирования и исследования скважин применительно к неоднородным и, в частности, трещиноватым коллекторам. Приведенный в диссертации анализ публикаций более чем достаточен для обоснования актуальности выбранной автором тематики, целей и задач работы, хотя и изложен не вполне последовательно.

Во второй главе диссертации представлены основные предпосылки и уравнения предлагаемой модели, сначала в двумерной, а затем в трехмерной постановке. Уравнения выводятся сразу в разностной форме в виде балансовых соотношений для ячеек расчетной сетки. Из данной главы можно получить общее представление о модели, хотя некоторые моменты удастся прояснить только после прочтения последующих глав.

В третьей главе описаны особенности разработанной соискателем вычислительной программы, задания входных данных к ней и применяемых численных методов для реализации предложенной модели. Следует отметить, что, видимо, вследствие и так немалого объема работы некоторые особенности используемых алгоритмов подробно не разъясняются, и представление о них удастся получить только из сведений о формате входных файлов для программы. Кроме того, в финальной версии работы изложение применяемых численных схем сильно сокращено. Однако уточнить необходимые детали удалось по дополнительным материалам и публикациям автора.

Четвертая глава работы весьма обширна. Разъяснены особенности оригинального алгоритма моделирования режимов работы скважины с учетом взаимосвязи "пласт-скважина-шлейф". Представлены результаты тестирования программы на различных примерах. С использованием разработанной вычислительной программы исследовано влияние различных геолого-физических и технологических факторов на динамики давления при проведении ГДИС. Приведены результаты интерпретации ГДИС трех скважин различного типа для месторождений Тимано-Печерской провинции с применением предложенной модели.

Основные положения диссертации полностью отражены в публикациях и выступлениях соискателя: 15 печатных работах, включая 4 статьи в рекомендованных ВАК изданиях, и 25 выступлениях на конференциях и семинарах, включая ряд всероссийских и

международных. На созданную вычислительную программу для ЭВМ получено свидетельство о государственной регистрации.

Научная новизна

Научная новизна результатов диссертации состоит в следующем.

1. Разработана оригинальная фильтрационная модель "пласт-скважина-шлейф" для трещинно-порового коллектора с явным учетом геометрии трещин в околоскважинной области.

2. Показано, что нестационарный приток к скважине, вскрывающей систему трещин в трещинно-поровом коллекторе, в зависимости от схемы фильтрации "матрица-трещины-скважина" может характеризоваться на определенных промежутках времени проявлением линейного или билинейного режима фильтрации.

3. Показано, что использование предложенной численной модели "скважина – трещиновато-пористый пласт" с учетом дополнительных факторов (зависимости проницаемости от давления, нелинейного закона фильтрации с предельным градиентом сдвига) позволяет адекватно интерпретировать результаты ГДИС для месторождений с трещинно-поровыми коллекторами, а также при наличии высоковязких нефтей.

4. По результатам моделирования выявлены особенности кривых восстановления давления (КВД) для горизонтальных скважин в трещиновато-пористых пластах, ствол которых пересекается с системой трещин.

Практическая значимость

Практическую значимость полученных в диссертационной работе Дуркина С.М. результатов можно охарактеризовать следующими положениями.

1. Показано, что разработанная численная модель скважины, вскрывающей трещинно-поровый коллектор, и ее программная реализация могут быть использованы для моделирования и интерпретации ГДИС, прогнозирования работы скважины на различных режимах для реальных месторождений нефти и газа с учетом геометрических параметров системы трещин, геолого-физических свойств пласта и пластовых флюидов. В том числе, при наличии нестандартных для традиционных моделей эффектов – различных законов фильтрации, нелинейной зависимости свойств пласта и флюидов от давления и т.д.

2. На основе интерпретации фактических результатов ГДИС по скважинам ряда месторождений Тимано-Печерской провинции получены оценки фильтрационно-емкостных параметров и геометрических характеристик системы трещин.

3. Оригинальный подход к моделированию системы "скважина – штуцер (диафрагма) – шлейф" позволяет адекватно воспроизводить фактические технологические режимы работы скважин и эффекты влияния ствола скважины при проведении ГДИС.

4. Созданная программа для ЭВМ прошла государственную регистрацию и готова к применению специалистами. Имеются возможности ее дальнейшего обобщения и развития для учета дополнительных факторов.

Обоснованность результатов диссертации

Разработанные в рамках диссертационной работы модель, алгоритм и вычислительная программа опираются на известные методы подземной гидромеханики, численного решения уравнений в частных производных, решения нелинейных и линейных систем алгебраических уравнений. Представленное в диссертации описание позволяет утверждать, что автором использованы современные подходы в соответствующих областях, а приводимые результаты тестирования вычислительных модулей (линейного "солвера") подтверждают корректность их реализации.

Проведенное соискателем многовариантное моделирование ГДИС для пластов с различным сочетанием особенностей и исходных данных показало, что результаты применения предлагаемой модели и ее вычислительной реализации согласуются с известными особенностями кривых изменения давления с учетом различных режимов течения, характера неоднородности, влияния ствола скважины.

Приводимые в диссертации результаты интерпретации данных ГДИС по ряду месторождений с использованием модели и программы соискателя демонстрируют адекватное воспроизведение особенностей реальных динамик изменения давления в различных геолого-физических условиях.

Таким образом, можно утверждать, что полученные в диссертации результаты и основные выводы достаточно обоснованы.

Замечания и рекомендации по работе

1. Соискатель в качестве пористости и проницаемости матрицы для моделей реальных пластов использует в ряде случаев данные стандартных исследований керна, то есть открытую пористость и абсолютную проницаемость. На самом деле, учитывая однофазную постановку задачи, необходимо учитывать наличие остаточной водонасыщенность за счет перехода к эффективной пористости и эффективной проницаемости.

2. Ряд интересных особенностей модели и вычислительной программы не раскрыты в тексте диссертации, а об их наличии можно догадаться только по приводимым примерам расчетов и формату входных файлов. В частности, не описан способ учета работы соседних скважин; метод (и цель) учета устьевого и забойного давлений при задании начальных условий; возможность использования сетки с несколькими ячейками матрицы между сегментами трещин или с трещинами ограниченной протяженности; способ учета граничных условий вдоль ствола для горизонтальных скважин.

3. Выявление автором на графике производной давления участков, соответствующих линейному и билинейному режимам течения, не всегда очевидно. В ряде случаев возможна иная их интерпретация.

4. В ряде случаев приводимые результаты оценки параметров модели по результатам ее адаптации к динамикам изменения давления при проведении ГДИС представляются не единственно возможным решением. Например, не вполне очевидно, как одновременно удастся оценить проницаемость и раскрытость трещин, или отдельно скин-фактор для трещин и матрицы. Автору следовало бы из физических соображений зафиксировать некоторые параметры, чтобы обеспечить единственность решения для остальных с получением эквивалентной модели.

Оценка работы в целом

Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки работы в целом. Диссертация Дуркина С.М. представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решена имеющее существенное значение задача в области моделирования работы и исследования скважин в пластах с трещинно-поровым типом коллектора. Диссертация посвящена актуальной теме, ее результаты характеризуются научной новизной и практической значимостью и с достаточной полнотой отражены в публикациях и выступлениях на международных и всероссийских конференциях. Текст диссертации и автореферата позволяют отметить высокую квалификацию Дуркина С.М. в области численного моделирования процессов фильтрации в нефтегазоносных пластах и исследования скважин, способность формулировать и творчески решать актуальные научные и практические задачи.

Считаю, что диссертационная работа Дуркина Сергея Михайловича "Математическая модель скважины, дренирующей трещиновато-пористый коллектор" отвечает требованиям п. 9 Положения ВАК Российской Федерации "О порядке присуждения ученых степеней", а ее автор заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальностям 25.00.17 "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений".

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
ведущ. научн. сотр. ИПНГ РАН

И.М. Индрупский



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем нефти и газа Российской академии наук	
Подпись (и) <i>Индрупский</i>	заверяю
Специалист отдела кадров ИПНГ РАН	
С.М. Невешкина <i>Невешкина</i>	14.05.2014 <i>Индрупский</i>
тел.: 8(499) 135-72-63	(подпись)