

Bx N 04/17
om 21.04.2017

УТВЕРЖДАЮ

Директор государственного научного
учреждения "Институт тепло- и массообмена
имени А.В. Лыкова Национальной академии
наук Беларуси" доктор физико-
математических наук, академик НАН
Беларуси,

О.Г. Пенязьков



« 12 » 04 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси» на диссертацию Ахметовой Оксаны Валентиновны на тему «Температурные поля турбулентных и ламинарных течений в скважинах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

1. Актуальность темы исследований для науки и практики

Диссертация О.В. Ахметовой посвящена актуальной научной и практически важной проблеме исследования теплообмена турбулентных и ламинарных потоков жидкости с окружающими скважину породами. В диссертационной работе исследуется также температурный сигнал нефтеносного пласта, формируемый за счет термодинамических процессов при фильтрации нефти, газа и воды в неустановившихся полях давления в природных коллекторах, характеризующихся пространственной неоднородностью и анизотропией.

Исследование температурных полей в пласте и скважине представляет важное научное направление в теплофизике, которое содержит ряд нерешенных проблем. До настоящего времени не созданы аналитические модели температурных полей в скважине с учетом распределения скорости по сечению скважины и зависимости теплофизических свойств от температуры и координат.

Недостаточно изучены термогидродинамические процессы в пласте, вызывающие изменение температуры поступающего в скважину флюида, которая оказывает влияние на температурное поле скважины, особенно в призабойной зоне. Например, в литературе преобладает точка зрения, что термодинамические процессы в пласте совпадают с процессом Джоуля – Томсона. Это положение вызывает глубокие сомнения, поскольку согласно классической термодинамической теории эффект Джоуля – Томсона это термодинамический эффект в стационарном поле давления. В то

же время в трудах Басниева К.С., Щелкачева В.Н. и др. отмечается, что в упругом режиме стационарное распределение поля давления в пласте недостижимо.

Исследование термодинамических эффектов в пласте порождает также проблему изучения полей давления в реальных пластах, обладающих вертикальной неоднородностью.

В предшествующих работах эти три проблемы исследовались в значительной степени независимо и каждой из них посвящено огромное количество публикаций. В действительности же термогидродинамические процессы в пласте и скважине неразрывно связаны между собой, поэтому необходимо рассматривать их совместно в рамках объединенной термогидродинамической модели.

Сложности в решении этих проблем связаны с тем, что соответствующие уравнения при указанном подходе являются нелинейными и содержат теплофизические параметры, зависящие от пространственных координат.

Решение указанных задач представляет важное научное направление в теплофизике, созданные модели и построенные решения представляют теоретическую основу совершенствования технологий добычи и исследования скважин и пластов, что представляет практическую важность в развитии нефтегазовой промышленности.

Автором разработана эффективная модификация асимптотического метода, позволившая при решении задач сопряжения с переменными коэффициентами снять ограничения, связанные с учетом радиальных профилей скорости и теплопроводности турбулентного и ламинарного потоков жидкости. Искомое решение представляется в виде асимптотических формул. Исходная задача преобразуется в последовательность краевых задач для коэффициентов разложения и остаточного члена. Также возникает необходимость реализации оригинальной процедуры расщепления, поскольку в уравнение конвективной теплопроводности, полученное после подстановки ряда, при соответствующей степени параметра разложения входят «соседние» коэффициенты.

Используемый метод позволяет эффективно решать задачи геофизики, терморазведки в осесимметричных горизонтально-слоистых кусочно-однородных средах, поиск аналитических решений которых осложнен наличием двух переменных коэффициентов и граничных условий четвертого рода, что позволяет осуществлять детальный термодинамический анализ полей турбулентных и ламинарных потоков жидкости в скважинах. Метод позволяет также учитывать зависимость теплофизических параметров от температуры.

Таким образом, представленные в работе результаты имеют научное и практическое значение, поскольку открывают перспективы для создания новых методов расчетов и термометрии в скважинах.

2. Научная новизна исследований и полученных результатов

1. Развита асимптотический метод пространственного по коэффициенту осреднения, пригодный для построения приближенных аналитических решений задач скважинной теплофизики, содержащих уравнения с теплофизическими параметрами, зависящими от пространственных координат. Основная идея метода заключается в применении разложения по формальному асимптотическому параметру в задаче для

остаточного члена и последующем интегральном осреднении в ограниченной области задач для коэффициентов. Представленные решения содержат два члена асимптотической последовательности: нулевое приближение соответствует решению задачи, осредненной по ограниченной центральной области, а первое уточняет зависимость от координаты в области осреднения. Важно отметить, что автором реализовано применение асимптотического метода для задач сопряжения для уравнений параболического типа, содержащих теплофизические параметры, зависящие от пространственных координат.

2. Получены новые аналитические зависимости пространственно-временных распределений давления в слоисто-неоднородной анизотропной пористой среде, которые можно широко использовать для практических расчетов полей давления в природных коллекторах и уточнения представлений о процессах нефтеотдачи неоднородных и анизотропных пластов, которыми реальные природные коллекторы нефти и газа чаще всего являются. Применение асимптотического метода позволило существенно уточнить развитые ранее модели фильтрации в неоднородных пластах и уточнить усредненные по толщине пласта значения давления аналитическими поправками, учитывающими вертикальные распределения полей.

3. Построены асимптотические решения задач о температурном поле в неоднородном анизотропном нефтяном пласте, учитывающие теплообмен пласта с окружающими породами и баротермический эффект, в нулевом и первом приближениях. Найденные формулы позволили определить величину температурного сигнала пласта, определяющего граничное условие в задаче о температурном поле в стволе действующей скважины.

4. Получены новые решения нелинейных задач сопряжения о теплообмене восходящего потока с произвольным аксиально-симметричным радиальным профилем скорости в скважине, учитывающие изменение коэффициента теплопроводности от радиальной координаты, в нулевом и первом асимптотических приближениях. Из решения задач для первых коэффициентов разложения получены зависимости радиальных перепадов температуры при теплообмене потока между любой точкой внутри скважины и ее стенкой. На основе развитого метода найдено решение задачи о температурном поле в интервалах скважины с изменяющимся проходным сечением с учетом различных режимов течения жидкости. Выявлены закономерности формирования температурного поля в окрестности зоны изменения площади сечения потока.

Автору удалось построить теорию решения многослойных взаимосвязанных нелинейных задач сопряжения скважинной теплофизики и гидродинамики асимптотическим методом и оценить учет нелинейности физических процессов в инженерных расчетах.

Полученные результаты можно считать оригинальными и соответствующими специальности «01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника».

3. Обоснованность и достоверность результатов проведенных исследований

Представленные в диссертационной работе постановки задач и выбор методов решения хорошо обоснованы. Постановки физико-математических задач базируются на законах сохранения и других фундаментальных физических законах. Используемые в диссертации методы решения обладают математической строгостью.

Подтверждению достоверности в работе уделено достаточное внимание, полученные результаты не вызывают сомнений. Это достигнуто следующими факторами. В работе проиллюстрирована идентичность решений, полученных различными способами. Показано, что коэффициенты асимптотического разложения совпадают с соответствующими членами разложения точного решения в ряд Маклорена в частных случаях, когда возможно точное решение. Полученные в диссертации решения хорошо согласуются с результатами других исследователей и экспериментальными зависимостями.

4. Теоретическое и прикладное значение результатов диссертационной работы

Диссертация посвящена построению объединенной термогидродинамической модели температурного поля жидкости, текущей по скважине, окруженной сплошным массивом среды для ламинарного и турбулентного течений флюида. Рассматривается диапазон температур и давлений, соответствующих реальным условиям скважинной эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. Созданная модель включает описание температурного поля, индуцированного нестационарными полями давления упругого режима течения в нефтяных пластах, которое выступает в качестве граничного условия задачи о температурном поле в скважине. При решении соответствующих задач зависимости скорости и коэффициента теплопроводности от радиальной координаты записываются в общем виде. Таким образом, полученные решения являются справедливыми для любых аксиально-симметричных типов течения. Автором предложен способ определения вклада зависимости теплоемкости и теплопроводности от температуры в температурное поле скважинного флюида.

Теоретическое значение имеют следующие результаты диссертационной работы:

- разработка процедуры, позволившая осуществить корректно подход в реализации асимптотического метода для задач с переменными коэффициентами;
- способ построения приближенного решения задач сопряжения, содержащих нелинейные уравнения;
- создание обобщенной процедуры построения стабилизированных решений задач теплопроводности и пьезопроводности в ограниченных пространственных областях.

Прикладное значение имеют следующие результаты диссертационной работы:

- асимптотические формулы для расчета реальных радиальных перепадов температуры ламинарных и турбулентных потоков между любой точкой внутри скважины и ее стенкой;

- новые способы расчетов переходных температурных полей, возникающих в скважинах и пластах при фильтрации флюида;
- выявленные особенности влияния температурного сигнала пласта на динамику температурных аномалий в добывающих скважинах:
 - a) зависимость времени подхода температурного сигнала пласта от глубины расположения термометра, дебита скважины, теплофизических свойств флюида и окружающей среды,
 - b) критерий для оценки интервала влияния температурного сигнала на входе в интервал измерений и его зависимости от времени, теплофизических и гидродинамических параметров сред и размеров скважины;
- специфика эволюции температурного поля в окрестности зоны изменения проходного сечения скважины;
- зависимости размеров зоны температурного влияния от соотношения площадей и расположения точки изменения проходного сечения, теплофизических свойств жидкости и окружающих пород;
- поле давления в слоисто-неоднородной среде, осредненное по толщине нефтяного пласта зависит от горизонтальной составляющей проницаемости этого пласта и от проницаемостей настилающего и подстилающего пластов.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что полученные в диссертации результаты представляют новое эффективное направление использования асимптотических методов в теплофизике, подземной гидродинамике и физике нефтяного пласта при решении задач сопряжения математической физики и открывают перспективы для новых исследований.

5. Полнота опубликования результатов

Основные результаты диссертации Ахметовой О.В. опубликованы в печатных и электронных изданиях. Среди них 2 монографии, 15 статей в журналах, входящих в международные базы цитирования, 16 – в журналах, входящих в перечень изданий ВАК РФ. Общее количество публикаций 65.

Результаты докладывались на всероссийских и международных конференциях по теплофизике и математическим методам физики, включая крупные зарубежные конференции.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные результаты необходимо учитывать при выборе оптимальных температурных условий работы скважин, прогнозировании температурных аномалий в процессе пуска скважины, они также могут применяться при расчете теплообмена в трубопроводах и каналах, по которым перемещаются углеводороды.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при дальнейшем развитии теории, методов интерпретации и создании аппаратуры термометрии скважин в таких научных центрах, как МГУ им. М.В. Ломоносова, РГУ нефти и газа

им. И.М. Губкина, Казанский ГУ, Челябинский ГУ, Башкирский ГУ, Тюменский государственный нефтегазовый университет, Уфимский государственный нефтяной технический университет, а также нефтепромысловых и геофизических предприятиях.

Считаем целесообразным продолжить работу по исследованию температурных полей в случае многофазных потоков в скважинах, возможного образования газового конденсата, гидратообразования, отложения парафинов. Эти случаи являются также интересными для промышленного использования на реальных месторождениях.

7. Замечания по диссертации

По тексту диссертации и ее автореферату имеются следующие замечания.

1. Название диссертации не совсем точно отражает ее содержание, желательно было бы отразить наличие газовой фазы в виде ключевой фразы.
2. Трехфазная система в скважине сведена к однофазной с эффективными коэффициентами, что не позволяет изучать различия температур фаз.
3. Где в (1.4.2) текста диссертации содержится вклад теплоты растворения и как учитывается газирование нефти?
4. Решение в пространстве оригиналов найдено для малых времен и при постоянстве температурного сигнала пласта, рекомендуется обратное преобразование Лапласа произвести численно, если нет возможности аналитического перехода в оригиналы для больших времен и при изменяющемся во времени температурном сигнале пласта.
5. Не представлены расчеты температурного поля окружающего скважину массива выше интервала перфорации.
6. Сопоставление с экспериментальными данными желательно было бы расширить и рассмотреть поведение кривых также на более протяженных интервалах скважины.
7. Не приведены оценки диссипативного члена в уравнении энергии.
8. Перепад давления на стр. 25 текста диссертации обозначен ΔP . Это совпадает с обозначением оператора Лапласа от поля давления в дальнейшем тексте диссертации.

Отмеченные недостатки не снижают качество исследований и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

8. Общее заключение по работе

Диссертация Ахметовой О.В. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение и актуальны для нефтегазодобывающей и смежных отраслей промышленности, геологии и т.д. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Работа отвечает требованиям Положения о порядке присуждения научным и научно-педагогическим работникам ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на собрании физико-энергетической секции ученого совета ИТМО им. Лыкова НАН Беларуси "12" апреля 2017 г. *протокол №214*

Председатель научного собрания,
доктор физико-математических наук

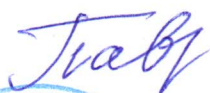


С.П. Фисенко

Секретарь собрания

Е.А. Баштовая

Эксперт,
главный научный сотрудник,
доктор физико-математических наук,
член-корреспондент Национальной
академии наук Беларуси



Н.В. Павлокевич

Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси»

Адрес: 220072, г. Минск, ул. П.Бровки, 15

Телефон: +375(17)2842136

