

Вх. №6/22
от 31.01.2020

ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н. Пяткова Александра Александровича на диссертационную работу Гильманова Александра Яновича «**Интегральная модель теплопереноса при парогравитационном дренаже**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника

Актуальность темы диссертационной работы

Использование технологий увеличения нефтеотдачи без предварительного моделирования показывает низкую степень эффективности. Использование аналитических моделей применительно к реальным условиям и объектам зачастую является невозможным, а подробное численное моделирование требует существенных временных затрат и точного определения теплофизических параметров во всех точках пласта. Поэтому актуальной задачей является создание интегральных моделей тепловых методов увеличения нефтеотдачи, в частности метода парогравитационного дренажа.

В основе интегральных моделей, как правило, лежат полуаналитические решения, позволяющие моделировать технологический процесс в реальном времени. На сегодняшний момент времени не существует интегральных моделей, позволяющих подробно описать все стадии развития теплового поля при процессе парогравитационного дренажа. Большинство предлагаемых моделей не содержат критериев оптимизации основных технологических параметров. В случае традиционных систем разработки существенное влияние на развитие теплового поля оказывает интерференция скважин от соседних элементов разработки. Поэтому разработка интегральной модели, позволяющей в короткие сроки проанализировать все стадии процесса и оптимизировать этот процесс, является актуальной.

Цели и задачи исследования

Автор ставит целью работы создание интегральной модели парогравитационного дренажа, детализирующей общий тепловой баланс в элементе разработки, и выявление основных теплофизических особенностей формирования, развития и стабилизации паровой камеры. Для этого были решены следующие задачи:

1. Проанализированы механизмы теплопередачи и фазовых переходов, происходящих при парогравитационном дренаже в паровой камере и на её границах.
2. Разработана интегральная модель парогравитационного дренажа, детально учитывающая общий тепловой баланс паровой камеры в предположении о её треугольной геометрии в ячейке разработки.

3. Установлен критерий формирования термогидродинамической связи пары скважин для развития паровой камеры.
4. Исследованы основные этапы процесса парогравитационного дренажа от стадии вертикального роста паровой камеры до установления динамического равновесия между теплом, вводимым в пласт, и тепловыми потерями из паровой камеры.
5. На основе анализа динамики теплового поля процесса парогравитационного дренажа с использованием интегральной модели разработана методика оптимизации процесса и выработаны рекомендации для применения технологии на практике.
6. Проведена верификация модели на промысловых данных.

Научная новизна и практическая значимость полученных результатов

Автором впервые разработана интегральная модель процесса парогравитационного дренажа, позволяющая провести анализ всех стадий развития теплового поля. Научную новизну представляют критические параметры, введённые автором: минимальный расход пара, необходимый для формирования теплового канала между нагнетательной и добывающей скважиной, и максимальный коэффициент охвата пласта воздействием, соответствующий стадии динамического теплового равновесия.

Предложенная автором модель учитывает неравномерную интенсивность теплообмена в вертикальном и горизонтальном направлениях. Автор также впервые предлагает методику оптимизации развития теплового поля по критерию коэффициента извлечения нефти. В работе установлено эффективное расстояние между парами скважин, при котором закачанное в пласт тепло используется наиболее полно.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанного алгоритма для определения минимального расхода пара, при котором устанавливается тепловая связь для пары скважин, характеризующих элемент разработки на месторождении.

Оценка содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации – 125 страниц, имеется 19 рисунков и 6 таблиц.

В первой главе рассматриваются теоретические основы современных тепловых методов увеличения нефтеотдачи. Детально проанализированы механизмы развития теплового поля для различных технологических процессов, в том числе для методов непрерывной закачки теплоносителя, пароциклического воздействия, внутрипластового горения, парогравитационного дренажа, СВЧ-воздействия. Указаны достоинства и недостатки этих методов. Показаны преимущества метода парогравитационного дренажа,

закрывающиеся в небольшом в сравнении с другими методами времени установления тепловой связи между нагнетательной и добывающей скважинами (времени Ньюмена) и большой площади дренирования.

Обозначены границы применимости существующих подходов к моделированию парогравитационного дренажа. Проанализированы фундаментальные эксперименты по определению динамики развития теплового поля при парогравитационном дренаже. Рассмотрен промысловый опыт успешного применения технологии.

Во второй главе приведена разработанная автором интегральная однотемпературная модель парогравитационного дренажа. Обоснованным для пористой среды является использование однотемпературного приближения за счёт большой площади контакта фаз с поверхностью пористой среды и между собой. Введены необходимые допущения, сформулирована постановка задачи, начальные условия. В главе описаны законы сохранения массы фаз и тепловой баланс, лежащие в основе разработанной модели. Получено дополнительное уравнение, описывающее динамику вертикального развития паровой камеры на основе пропорциональности скорости её роста соответствующим удельным тепловым потокам.

В результате обезразмеривания предлагаемой системы уравнение получены критерии подобия, характеризующие тепловые процессы и систему разработки. Подробно описан теплофизический смысл введённых критериев.

Рассмотрена одна из важнейших проблем при использовании метода парогравитационного дренажа – риск прорыва теплоносителя в добывающую скважину. Уравнения модели модифицируются с учётом введённого разбиения паровой камеры на область жидких фаз и область паровой фазы. Динамика границы между этими областями позволяет сделать вывод о возможности прорыва пара в добывающую скважину.

Кроме того, приведён численный метод решения системы уравнений модели, который использовал автор, указано условие устойчивости метода.

В третьей главе проведён анализ развития теплового поля на всех стадиях процесса парогравитационного дренажа. Автором работы использован метод асимптотического анализа уравнений модели для установления минимального расхода пара, необходимого для формирования тепловой связи скважин в элементе разработки, и максимального коэффициента охвата пласта воздействием, соответствующего стабилизации развития теплового поля. В работе всесторонне проанализирован теплофизический смысл введённого критического параметра – минимального расхода пара. Впервые введена стадия динамического теплового равновесия, заключающаяся в выравнивании тепловых потерь с закачиваемой теплотой.

Установлено несоответствие времён стабилизации коэффициента охвата пласта воздействием и обводённости продукции и времени начала нерентабельной разработки.

Результаты расчётов показали удовлетворительное соответствие динамики развития паровой камеры с фундаментальными экспериментами Чанга и Батлера.

Автором предложена процедура оптимизации развития теплового поля по критерию коэффициента извлечения нефти. Указанная процедура позволяет определить эффективный размер элемента разработки для наиболее полного использования теплоты, закачиваемой с паром в пласт.

В четвёртой главе проведена верификация разработанной модели парогравитационного дренажа по сопоставлению динамики технологических параметров с промысловыми данными месторождений Senlac и Fengcheng. Показано удовлетворительное соответствие расчётных и промысловых зависимостей.

Проведены прогнозные расчёты времени прорыва теплоносителя в добывающую скважину для условий месторождения Celtic. Определён конечный коэффициент извлечения нефти при оптимальном расстоянии между парами скважин для месторождения Fengcheng. Показано, что оптимизация позволяет повысить этот показатель в пределах 10%.

В заключении приводятся непротиворечивые выводы, соответствующие полученным результатам. Приведены введённые критические параметры, указан их теплофизический смысл. Сделанные по работе выводы имеют высокую степень практической значимости, особенно рекомендации, данные по прогнозному расчёту технологических параметров.

Соответствие паспорту специальности

Представленные в диссертационной работе результаты разработки интегральной модели тепломассопереноса при парогравитационном дренаже соответствуют «п. 1 Фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах», «п. 2 Исследование и разработка рекомендаций по повышению качества и улучшению теплофизических свойств веществ в жидком, твердом (кристаллическом и аморфном) состояниях для последующего использования в народном хозяйстве», «п. 6 Теория подобия теплофизических процессов», «п. 8 Численное и натурное моделирование теплофизических процессов в природе, технике и эксперименте, расчет и проектирование нового теплотехнического оборудования» паспорта специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертационная работа по содержанию, научной и практической значимости, объёму и оформлению соответствует требованиям ВАК РФ.

Замечания по диссертационной работе

1. Автор сравнивает объем паровой камеры, рассчитанный с помощью модели с объемом паровой камеры, полученным в эксперименте Чанга и Батлера. В эксперименте не приводится значение расхода пара. Поэтому в качестве управляющего параметра автор выбирает скорость вертикального роста паровой камеры, подбирая значение расхода пара. При этом этап вертикального роста паровой камеры в модели автор никак не верифицирует.
2. В работе не выполнено сопоставление результатов расчетов разработанного алгоритма с результатами расчетов гидродинамических симуляторов.
3. В работе не приведен итоговый вид системы уравнений, используемой в расчетном алгоритме, в конечно-разностном виде.
4. Каков физический смысл условия устойчивости численной схемы (уравнение 80)?
5. В работе не указано какая остаточная нефтенасыщенность использовалась в расчетах. При начальной пластовой температуре или при температуре закачиваемого пара?

Заключение

Диссертационная работа Гильманова Александра Яновича «Интегральная модель тепломассопереноса при парогравитационном дренаже» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. Результаты, полученные автором, обладают научной новизной и имеют высокую практическую ценность. Работа соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842.

Считаю, что Гильманов Александр Янович, автор диссертации «Интегральная модель тепломассопереноса при парогравитационном дренаже», заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Официальный оппонент
Ведущий специалист
ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
кандидат физико-математических наук
(специальность 01.04.14 «Теплофизика и
теоретическая теплотехника»)

Пятков Александр Александрович

«26» января 2022 г.

Общество с ограниченной ответственностью
«Тюменский нефтяной научный центр»
ПАО «НК «Роснефть», Сайт: www.rosneft.ru
Почтовый адрес: 625000, а/я 747 г. Тюмень,
ул. Максима Горького, 42
Тел. +7 3452 52 90 90 (доб. 0201)
E-mail: aapyatkov@tnc.rosneft.ru

Подпись Пяткова Александра Александровича заверяю:

Ведущий специалист *Мух С. В. Ушермарз*

