

Вх. № 7/22  
от 31.01.2020

## ОТЗЫВ

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

### **Актуальность работы**

Теплофизические процессы играют важную роль в применении методов увеличения нефтеотдачи. В России для поддержания темпов добычи приходится вовлекать в разработку месторождения высоковязкой нефти, для которых эффективны тепловые методы увеличения нефтеотдачи. Одним из перспективных методов является парогравитационный дренаж (SAGD). Математическое моделирование этих процессов необходимо и актуально. Существующие модели, основанные на работах Батлера, не позволяют рассчитать все стадии процесса SAGD. Использование коммерческих симуляторов также не решает полностью эту проблему. Известно, что интегральные модели хорошо зарекомендовали себя при моделировании пароциклического воздействия на пласты. Поэтому задача разработки интегральной модели для анализа теплофизических процессов на всех стадиях парогравитационного дренажа является актуальной.

### **Анализ структуры и содержания диссертационной работы.**

Диссертация изложена на 125 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Имеется 19 рисунков и 6 таблиц.

**Во введении** приведена актуальность работы, её цель и поставленные задачи, научная новизна, практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приведён обзор различных тепловых методов увеличения нефтеотдачи. Отмечены физические основы применения этих методов, подробно рассмотрены преимущества и недостатки каждого из них.

Подробно рассмотрен метод парогравитационного дренажа. Проведено обобщение накопленного промышленного опыта применения SAGD на месторождениях Канады, Китая, России. Проанализированы эксперименты. Рассмотрены существующие модели парогравитационного дренажа, показано, каких результатов позволяет достичь применение тех или иных моделей, выделены пути совершенствования применяемых подходов. Указаны нерешённые проблемы моделирования SAGD.

**Во второй главе** представлена разработанная интегральная модель процесса парогравитационного дренажа. Перечислены допущения, введённые для записи уравнений сохранения массы фаз и теплового баланса в модели. Записаны необходимые уравнения роста паровой камеры, начальные условия. Проведено обезразмеривание модели, выделены критерии подобия. Описан алгоритм численной реализации системы уравнений модели.

**В третьей главе** исследуются основные особенности теплофизических процессов на различных стадиях SAGD. С использованием асимптотического анализа определен минимальный (критический) расход пара, необходимый для формирования связи между нагнетательной и добывающей скважинами. Смысл этого критерия заключается в необходимости превышения закачиваемой с паром теплоты над тепловыми потерями из канала.



Для основной стадии парогравитационного дренажа рассчитана модельная динамика коэффициента охвата пласта воздействием, обводнённости продукции и паронефтяного отношения, введены характерные времена стабилизации технологических параметров. Для квазистационарной стадии процесса получен максимальный коэффициент охвата пласта воздействием. Проведена верификация модели для динамики развития паровой камеры при SAGD путём сравнения расчётных данных с результатами экспериментов Батлера.

**В четвёртой главе** осуществлена верификация расчета на интегральной модели зависимости коэффициента извлечения нефти от времени с промысловыми данными месторождений Senlac (Канада) и Fengcheng (Китай). Результаты верификации показывают хорошую сходимость расчётных и фактических данных. Интегральная модель использована также для выработки практических рекомендаций по эксплуатации месторождений Celtic и Fengcheng, определён оптимальный размер элемента разработки для месторождения Fengcheng, позволяющий достичь значений КИН выше 50%.

**В заключении** сформулированы выводы по диссертационной работе.

### **Публикации и апробация**

Основные положения диссертации с достаточной полнотой отражены в автореферате, а также в 13 опубликованных работах, включая 6 статей в рекомендованных ВАК изданиях, зарегистрирована программа для ЭВМ «Программа для расчёта технологических показателей парогравитационного дренажа».

Результаты работы обсуждались на многочисленных международных и российских научно-технических конференциях.

### **Научная новизна работы**

Научная новизна полученных в диссертации результатов сводится к следующим пунктам:

1. Впервые разработана интегральная модель парогравитационного дренажа для осредненных по объему паровой камеры параметров и учитывающая баланс тепла и масс. Модель позволяет рассчитать все стадии процесса и может использоваться в проектах SAGD.
2. Определен критический расход закачиваемого пара для запуска процесса парогравитационного дренажа.
3. Впервые введены критерии подобия процесса SAGD, которые разделены на две группы: теплофизические критерии и критерии, содержащие параметры системы разработки.
4. Предложена методика оптимизации процесса парогравитационного дренажа для достижения максимального конечного коэффициента извлечения нефти.

### **Достоверность работы**

Достоверность работы подтверждается использованием для численной реализации системы уравнений апробированных алгоритмов, сравнением расчётов динамики КИН с опубликованными промысловыми данными. Проведена также верификация расчетной динамики формы паровой камеры с данными классических экспериментов Чанга и Батлера.



### **Практическая значимость работы**

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке проектов SAGD для расчёта динамики КИН, коэффициента охвата пласта воздействием, обводнённости продукции для российских месторождений.

Разработанная модель позволяет подобрать оптимальные параметры для эффективной инициации процесса парогравитационного дренажа и последующей эксплуатации месторождения.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Один из важных параметров модели, коэффициент теплоотдачи через верхнее основание и боковую поверхность паровой камеры. В расчетах использованы не только отношение этих коэффициентов, но и их абсолютные значения. На мой взгляд недостаточно ссылки на монографию Чекалюка Э.Б., следовало оценить влияние неопределенности этого параметра на результаты моделирования.
2. Предполагается, что свойства пористой среды, насыщенной высоковязкой нефтью, пористость, проницаемость, насыщенность постоянны вдоль горизонтального ствола скважины, что в реальной ситуации может не выполняться. Непонятно, как учитывать это при подборе оптимальных параметров для процесса, в диссертации этот вопрос не рассматривается.
3. В работе не обсуждаются вопросы контроля разработки месторождения методом SAGD путем проведения измерений в нагнетательной и добывающей скважине.
4. В диссертации подробно анализируются промысловые данные применения технологии SAGD по месторождениям Канады и Китая, сравнение результатов расчетов на разработанной автором модели также проведено по ним. Был бы интересен анализ применения технологии SAGD на месторождениях Татарстана. Автором разработан эффективный инструмент для составления проектов с применением парогравитационного дренажа, возможно, следует более активно вести работу по внедрению его в практику Российских месторождений.

### **Заключение по работе**

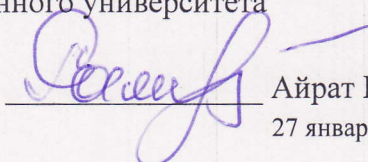
Диссертационная работа Гильманова Александра Яновича «Интегральная модель теплопереноса при парогравитационном дренаже», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, является актуальной и законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. В работе решены актуальные задачи, она написана строгим научным языком, иллюстрирована достаточным количеством графического материала, представлены достоверные результаты, обладающие научной новизной, проведён корректный анализ теплофизических процессов. Текст диссертации и автореферата свидетельствуют о высокой квалификации Гильманова А.Я. как сложившегося научного исследователя в области моделирования теплофизических процессов в сложных природных системах, способного решать актуальные научно-прикладные задачи. Работа соответствует паспорту специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Приведенные в моем отзыве замечания не носят принципиального характера и могут рассматриваться как рекомендации к дальнейшим исследованиям соискателя.



Диссертационная работа «Интегральная модель теплопереноса при парогравитационном дренаже» по актуальности, практической значимости, научной новизне, защищаемым положениям, достоверности результатов соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842., а её автор – Гильманов Александр Янович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры геофизики Башкирского государственного университета



Айрат Шайхуллович Рамазанов  
27 января 2022 г.

E-mail: [ramaz@bsunet.ru](mailto:ramaz@bsunet.ru)

Телефон: +7-917-34-56034

Номер и наименование научной специальности:

01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

«Подпись А.Ш. Рамазанова заверяю»

Секретарь Ученого Совета БашГУ



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный университет»

Юридический адрес: 450074, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32

Факс: +7 (347) 273-67-78

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <http://bashedu.ru/>

Адрес электронной почты: [rector@bsunet.ru](mailto:rector@bsunet.ru)