

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.418.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 17.12.2025 №9

О присуждении Ковальчук Татьяне Николаевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Методика комплексного исследования и физико-математическое моделирование процессов тепломассопереноса при пароциклическом воздействии в скважине и в пласте» по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 10 октября 2025 года, протокол заседания №7 диссертационным советом 24.2.418.02, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6. Приказ Минобрнауки России от 02.11.2012 № 714/нк.

Соискатель Ковальчук Татьяна Николаевна, 25.01.1999 года рождения, в 2022 г. окончила федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет» по специальности 16.04.01 – Техническая физика.

В период подготовки диссертации с 01.09.2022 соискатель Ковальчук Татьяна Николаевна обучалась в очной аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет» по направлению подготовки 1.3.14. Теплофизика

и теоретическая теплотехника и работала на кафедре моделирования физических процессов и систем Школы естественных наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет» в должности ассистента.

Справка № 22 от 10.09.2025 о сдаче кандидатских экзаменов по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки) выдана федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Тюменский государственный университет».

Диссертация выполнена на кафедре моделирования физических процессов и систем Школы естественных наук ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

Научный руководитель – Шевелёв Александр Павлович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры моделирования физических процессов и систем Школы естественных наук ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

Официальные оппоненты: 1) **Рамазанов Айрат Шайхуллинович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры геофизики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»; 2) **Жижимонтов Иван Николаевич** – кандидат физико-математических наук, начальник отдела петрофизического обеспечения ООО «НОВАТЭК НТЦ», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация общество с ограниченной ответственностью «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом технических наук, старшим менеджером Управления по нефтетитановому производству **Терентьевым Сергеем Эриковичем** и кандидатом физико-математических наук, главным специалистом Управления по мониторингу разработки ТРИЗ **Хисматуллиной Фаридой Сабигиярвной** и утвержденным заместителем генерального директора по научной работе в области разработки месторождений **Вячеславом Михайловичем Хмелевским**, указала, что диссертационная работа Ковальчук Татьяны Николаевны «Методика комплексного

исследования и физико-математическое моделирование процессов тепломассопереноса при пароциклическом воздействии в скважине и в пласте» по актуальности, научной новизне, основным положениям, научной, практической значимости и достоверности полученных результатов соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Ковальчук Татьяна Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Соискатель имеет 13 публикаций по теме диссертации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования, из них 4 работы в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. Общий объем научных изданий 8,4 п.л., из них вклад автора – 2,8 п.л. Недостоверные сведения об опубликованных Т.Н. Ковальчук работах в диссертации отсутствуют.

Статьи, опубликованные в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus:

1. Kovalchuk T.N. Determination of the main technological parameters of cyclic-steam stimulation of oil reservoirs with account of heat losses along the borehole / Gilmanov A. Y., Kovalchuk T.N., Shevelev A.P. // Computational Continuum Mechanics – 2023. – Vol. 16. – № 4. – P. 407–419.

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

2. Гильманов А. Я. Анализ влияния теплофизических параметров пласта и флюида на процесс пароциклического воздействия на нефтяные пласты / А. Я. Гильманов, Т. Н. Ковальчук, Р.М. Скобликов, А. О. Фёдоров, Ё. Н. Ходжиев, А.П. Шевелёв // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2023. – Т. 9. – № 3 (35). – С. 6–27.

3. Гильманов А. Я. Физико-математическое моделирование пароциклического воздействия на нефтяные пласты / А. Я. Гильманов, Т. Н. Ковальчук, А. П. Шевелёв // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2020. – Т. 6. – № 1 (21). С. 176-191.

4. Федоров К. М. Оптимизация технологических параметров при пароциклическом воздействии на нефтяные пласты / К. М. Федоров, А. П. Шевелёв, А. Я. Гильманов, Т. Н. Ковальчук // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2020. – Т. 6. – № 2 (22). С. 145-161.

На автореферат поступили положительные отзывы от:

1) Доктора технических наук, профессора, директора по науке ПАО «Газпром нефть» **Хасанова М.М.** с замечаниями:

1. В качестве замечания можно отметить, что из текста автореферата не понятно, в чем преимущество отыскания распределения сухости пара вдоль ствола скважины по сравнению с определением его забойных параметров из балансовых соотношений?

2) Кандидата технических наук, доцента, главного эксперта по разработке ООО «СамараНИПИнефть» **Дуркина С.М.** с замечаниями:

1. На рис.5 представлен трехмерный график для оценки дополнительной добычи нефти от ПЦО скважины. Чем обусловлено наличие двух локальных экстремумов (максимумов)? Т.е. при решении оптимизационной задачи по полученной корреляционной зависимости оптимальных максимальных значений будет как минимум два, какой из них будет предпочтительнее?

2. В модели не учитываются капиллярные давления и относительные фазовые проницаемости при пропитке пласта после закачки скважины? Учитывались ли капиллярные давления в ГДМ, созданной в tНавигаторе?

3. Из текста автореферата не понятно, позволяет ли разработанная модель (методика) оценить оптимальные продолжительности циклов закачки-пропитки-добычи?
4. Возможно ли с помощью разработанной модели обосновать оптимальную конструкцию скважины с учетом различных темпов закачки пара?

3) Кандидата технических наук, генерального директора ООО «ИЦ-Проект»

**Киселева Д.А.** с замечанием:

1. По работе имеется не критическое замечание, не умаляющее научной и практической значимости проведенных исследований. В тексте автореферата методика описывается в последней главе, что несколько затрудняет прослеживание связи отдельных ее пунктов с предлагаемыми в работе моделями.

4) Кандидата технических наук, доцента ВАК, профессора кафедры РиЭНиГМ Института Нефти и Газа ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет»  
**Нухаева М.Т.** без замечаний.

5) Кандидата физико-математических наук, доцента, эксперта ООО «Газпромнефть НТЦ» **Кадочниковой Л.М.** с замечанием:

1. На рис. 4 приведено сравнение дополнительной накопленной добычи нефти при различных соотношениях естественных и вынужденных конвективных потоков, однако приведено значение  $A1=5$  только для одной из двух кривых. Исходя из текста можно предположить, что разница в 7% по максимальному дополнительно добытому объему нефти получено при условии отсутствия естественной конвекции ( $A1=10$ ). Разница результатов в 7% конкурирует с погрешностями расчета, получаемыми за счет других неопределенностей входных данных. Демонстрация более показательного примера могла бы повысить интерес к работе с точки зрения практического применения модели.

6) Кандидата технических наук, доцента, старшего эксперта управления НИОКР в области исследования керна и пластовых флюидов Центра исследования керна ООО «РН-ГИР» **Морозюка О.А.** с замечаниями:

1. Из автореферата остается не ясным, в чем заключается преимущества прокси моделирования по сравнению с гидродинамическим симулятором?
2. Из автореферата остается не ясным, в чем заключается преимущества прокси моделирования по сравнению с гидродинамическим симулятором?

7) Кандидата физико-математических наук, доцента, заведующего научно-исследовательской лабораторией петрофизики ПАО «Сургутнефтегаз» Тюменского отделения «СургутНИПИнефть» **Вольфа А.А.** с замечаниями:

1. На рисунке 4 представлены результаты численного эксперимента на основе разработанной модели по определению дополнительной накопленной добычи нефти. В автореферате не объясняется причины падения накопленной добычи нефти после 200 суток.
2. В пункте 2 выводов автор утверждает, что созданная физико-математическая модель увеличить точность моделирования до 8%. К сожалению, из текста автореферата не понятно, что имеет ввиду автор под термином «точность моделирования» и каким образом она увеличивается на 8%?

8) Доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой нефтегазовой и подземной гидромеханики Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И.М. Губкина **Кадега В.В.** с замечаниями:

1. Из текста автореферата не понятно, в чем состоит преимущество использования полученных автором безразмерных комплексов? И почему критерием сопоставимости вкладов соответствующих процессов для комплекса  $A_2$  является 1, что вполне естественно, а для комплекса  $A_1$  - 10? И как при этом понять, что «При значениях  $A_1 < 10$  естественные и вынужденные конвективные потоки сопоставимы»? Получается, что они сопоставимы и при  $A_1=9$ , и при  $A_1=1$  и при  $A_1=0$ ?
2. Из рисунка 1 следует, что погрешность в определении распределения давления в теплоносителе вдоль ствола скважины по полученной модели с

увеличением глубины скважины растет. Как этот факт учитывался при расчете дополнительной накопленной добычи нефти?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются специалистами высокого уровня в области теплофизики и механики жидкостей, а ведущая организация известна своими достижениями в области теплофизики и математического моделирования, что позволяет им оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны** две физико-математические модели, позволяющие повысить точность расчетов объема дополнительно извлекаемой нефти, расширить границы применимости полученных результатов; корреляционная зависимость, позволяющая проводить экспресс-оценку дополнительно извлекаемого объема нефти; безразмерные комплексы, позволяющие оценить вклад естественной конвекции в процесс теплообмена и определить доминирующий механизм теплообмена в насыщенной пористой среде; а также методика исследования процессов тепломассопереноса при пароциклическом воздействии на всех участках движения теплоносителя в системе скважина-пласт;

**предложены:**

- физико-математическая модель тепломассопереноса пароводяной смеси, которая построена на основе учета данных кратковременных динамических температурных исследований и, соответственно, сокращения количества эмпирических замыкающих соотношений, и которая позволяет рассчитать радиальные тепловые потоки вдоль скважины;
- новые безразмерные комплексы, позволяющие на основе технологических параметров определять интенсивность тепломассопереноса за счет естественной и вынужденной конвекции и выделять доминирующий механизм теплообмена в насыщенной пористой среде; предложена новая физико-математическая модель пароциклического воздействия на пласт, насыщенный высоковязкой нефтью, учитывающая особенности распространения фронта конденсации пара при

сопоставимых естественных и вынужденных конвективных потоках в рамках интегрального балансового подхода к описанию процессов тепломассопереноса, в которой вклад естественной конвекции учитывается наклоном одной из осей системы координат от первоначального вертикального положения;

- физико-математическая модель процесса пароциклического воздействия на нефтяные пласты, насыщенные высоковязкой нефтью, которая учитывает вынужденные и естественные конвективные потоки, содержит безразмерные комплексы и дает возможность оценить влияние естественной и вынужденной конвекции, а также доминирующий механизм теплообмена в процессе тепломассопереноса в насыщенной пористой среде;

- методика исследования процессов тепломассопереноса при пароциклическом воздействии на всех участках движения теплоносителя в системе скважина-пласт, учитывающая распределение температуры по результатам геофизических исследований скважин и дающая возможность оценить влияние теплоизоляции насосно-компрессорных труб на фазовый состав теплоносителя и эффективные длительности выделенных этапов процесса пароциклического воздействия;

- функциональная двухпараметрическая зависимость четвертого порядка для прироста объема дополнительно добытой нефти от основных теплофизических параметров теплоносителя;

**доказано**, что созданная физико-математическая модель движения пароводяной смеси на основе данных кратковременных динамических температурных исследований позволяет минимизировать количество эмпирических корреляционных зависимостей, что приводит к увеличению точности моделирования до 8% по сравнению с известной моделью, которая дает точность в 13% относительно экспериментальных данных;

**проведено** исследование влияния естественных конвективных потоков на значение дополнительно извлекаемого объема нефти;

**изучено** влияние полученного в работе коэффициента  $A_1$  на расчетное значение дополнительно извлекаемого объема нефти;

**исследовано** изменение основных параметров теплоносителя при его движении по стволу скважины;

**показана** значимость развития классических моделей пароциклического воздействия на пласт высоковязкой нефти для более корректного и точного моделирования теплофизических процессов при добыче нефти.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**расширены** границы применимости интегральных физико-математических моделей пароциклического воздействия на пласт высоковязкой нефти с помощью учета одновременно поступательного и вращательного движения фронта конденсации;

**доказана** корректность предложенной физико-математической модели процесса пароциклического воздействия на пласт путём сопоставления расчетных данных глубины проникновения теплового поля с результатами моделирования в предыдущих работах в симуляторе tНавигатор;

применительно к проблематике диссертации эффективно **использованы** классические подходы к моделированию теплофизических процессов, а также классические численные методы, такие как метод Эйлера и метод простой итерации;

**изложены** доказательства важности учета естественных конвективных потоков в насыщенной пористой среде при моделировании процессов пароциклического воздействия на пласт в рамках интегрального подхода;

**раскрыты** проблемы использования интегральных моделей, не учитывающих естественные конвективные потоки;

**изучены** основные особенности процессов тепло- и массопереноса в пласте, с использованием модели пароциклического воздействия, в которой фронт конденсации совершает поступательное и вращательное движения;

**показано**, что пренебрежение естественной конвекцией при моделировании может приводить к значительным погрешностям, при моделировании пароциклического воздействия, для случаев, когда полученный в работе безразмерный комплекс  $A_1$  много меньше десяти.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны** две физико-математические модели, позволяющие повысить точность измерений, позволяющие расширить границы применимости полученных

результатов и повысить точность расчетов объема дополнительно извлекаемой нефти, корреляционная зависимость, позволяющая проводить экспресс-оценку дополнительно извлекаемого объема нефти, безразмерные комплексы, позволяющие оценить вклад естественной конвекции в процесс теплообмена и определить доминирующий механизм теплообмена в насыщенной пористой среде, а также методика исследования процессов тепломассопереноса при пароциклическом воздействии на всех участках движения теплоносителя в системе скважина-пласт;

**определены** пределы и перспективы практического использования методики комплексного исследования и физико-математического моделирования процессов тепломассопереноса при пароциклическом воздействии в скважине и в пласте;

**созданы** физико-математические модели движения двухфазного теплоносителя внутри скважины с зонально-неоднородными теплофизическими свойствами и пароциклического воздействия на пористую среду, насыщенную высоковязкой нефтью, с учетом вынужденных и естественно конвективных потоков, в которой фронт конденсации совершает поступательное и вращательное движения;

**предложен** безразмерный комплекс, который дает возможность оценить влияние естественной и вынужденной конвекции, а также безразмерный комплекс, который позволяет определить доминирующий механизм теплообмена в процессе тепломассопереноса в насыщенной пористой среде;

**выведено** два безразмерных комплекса на основе обезразмеривания конвективного уравнения теплопроводности, позволяющих оценить возможность пренебрежения естественными конвективными потоками при моделировании пароциклического воздействия на пласт и определить доминирующий механизм теплообмена;

**показано**, что предложенная методика исследования процессов тепломассопереноса при пароциклическом воздействии на всех участках движения теплоносителя в системе скважина-пласт позволяет повысить прогнозную накопленную добычу нефти за год за счет применения пара на 79%, а за счет применения горячей воды на 22%;

**выявлено**, что установленная функциональная двухпараметрическая зависимость четвертого порядка для прироста объема дополнительно добытой

нефти от основных теплофизических параметров теплоносителя имеет точность более 70%, а при учёте коэффициентов удельной теплоёмкости и скрытой теплоты фазового перехода эта зависимость уже пятого порядка имеет точность более 80%.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория** построена на основе фундаментальных законов теплофизики и опирается на ранее разработанные физико-математические модели для пароциклического воздействия на пласт, учитывающие по отдельности поступательное либо вращательно движение фронта конденсации, а также физико-математическую модель движения пароводяной смеси, не учитывающую данные кратковременных динамических температурных исследований;

**идея** исследования базируется на развитии интегральной модели процесса пароциклического воздействия на пласт, основанной на балансовых соотношениях;

**использованы** классические законы сохранения при составлении системы уравнений для расчета параметров теплоносителя, при этом учтены данные кратковременных динамических температурных исследований, численные решения были получены с помощью метода Эйлера;

**установлено**, что точность воспроизведения расчетных данных глубины проникновения теплового поля гидродинамического симулятора tНавигатор составляет более 95% в границах применимости предлагаемой модели;

**результаты верифицированы** путем сопоставления расчетных данных глубины проникновения теплового поля с результатами гидродинамического моделирования и сравнения расчетных значений распределения давления по стволу скважины с экспериментальными данными.

**Личный вклад соискателя состоит** в самостоятельной разработке физико-математических моделей и получении корреляции для объема дополнительно добытой нефти в зависимости от основных теплофизических параметров; численном решении уравнений полученных математических моделей; анализе полученных результатов; написании статей и тезисов, выступлениях на конференциях.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- 1) На практике значения для  $t_1$  (оптимальное время закачки в пласт),  $t_2$  (оптимальное время выдержки на паротепловую пропитку),  $t_3$  (оптимальное время добычи нефти), как правило, больше в несколько раз, чем те, которые получены в расчетах. С чем это связано?
- 2) В главе 3, на рисунках 3.2.2 - 3.2.4 показано сравнение с tНавигатором результатов расчетов границы прогретой зоны пласта по цилиндрической, конусоидальной и новой интегральной моделям для различных теплопроводностей пород. Не ясно из текста, как они получены, интегральная модель ведь не учитывает теплопроводность ни пласта, ни окружающих пород.
- 3) Чем вызвана необходимость применения для измерения температуры именно кратковременных динамических температурных исследований с учетом того, что во второй главе записана стационарная модель для определения изменения параметров теплоносителя при его движении по стволу скважины?

Соискатель Ковальчук Т.Н. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию:

- 1) В работе получены эффективные времена первого, второго и третьего этапа пароциклического воздействия, исходя из физических соображений, не учитывающих реалий проведения технологических операций, связанных с заменой насосного оборудования. Значительное превышение реальными значениями эффективных обусловлено несвоевременностью таких процедур.
- 2) Расчеты проводились с учетом формулы для связи коэффициентов температуропроводности и теплопроводности, в которой температуропроводность прямо пропорциональна теплопроводности и обратно пропорциональна плотности и изобарной теплоемкости.
- 3) Кратковременные динамические температурные исследования позволяют судить, какое распределение температуры соответствует выходу на стационарное распределение температур, которое в дальнейшем закладывается в предлагаемую модель.

Диссертационный совет подтверждает соответствие диссертационной работы специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки). В работе представлена методика исследования процессов тепломассопереноса при пароциклическом воздействии на всех участках движения теплоносителя в системе скважина-пласт, основанная на разработанных физико-математических моделях, в которых соискатель учёл данные кратковременных динамических температурных исследований при определении параметров пароводяной смеси, а также одновременное поступательное и вращательное движения фронта конденсации при моделировании пароциклического воздействия на пласт (п.1 и п. 8 паспорта специальности).

На заседании 17.12.2025 диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей значение для понимания и моделирования теплофизических процессов, происходящих при пароциклическом воздействии на пласт высоковязкой нефти, и разработку физико-математической модели, впервые на основе балансовых соотношений позволяющей описать тепломассоперенос в процессе естественной и вынужденной конвекции, а также определить доминирующий механизм теплообмена в насыщенной пористой среде путем введения безразмерных комплексов, присудить Ковальчук Т. Н. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении электронного тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 11, против – 0.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета

17.12.2025



Шабаров Александр Борисович

Удовиченко Сергей Юрьевич