



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Э.Ю. Абдуллазянов

«1» октября 2026г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ») по диссертационной работе

Уткина Максима Олеговича на тему «Методы решения задач стационарного
теплоотвода от подземных источников для оценки эффективности грунтовых
теплообменников», выполненной на кафедре «Автоматизация технологических
процессов и производств» ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Уткин Максим Олегович в 2020 году окончил федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский
государственный энергетический университет» с присвоением квалификации
бакалавр по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и
электротехника» по профилю «Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем».

В 2022 году окончил федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный
энергетический университет» с присвоением квалификации магистр по
направлению подготовки 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и
производств» по профилю «Автоматизация технологических процессов и

производств».

С 2017 по 2020 год соискатель Уткин Максим Олегович работал на кафедре «Инженерная графика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» в должности оператора ЭВМ.

В период с 2020 по 2023 годы Максим Олегович занимал должность инженера в научно-инженерном центре «Инкомсистем», с 2023 по 2026 годы – должность старшего инженера в том же центре. С 2026 года по сегодняшний день Максим Олегович продолжает свою карьеру в качестве ведущего инженера в «Инкомсистем».

С 2022 года является аспирантом кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» очной формы. Во время обучения в аспирантуре сдал все кандидатские экзамены. Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2026 году ФГБОУ ВО «КГЭУ».

Научный руководитель – Дмитриев Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

Актуальность работы обусловлена активным развитием подземных инженерных систем, таких как трубопроводы теплоснабжения, геотермальные контуры тепловых насосов, кабельные линии и системы аккумулирования тепловой энергии, для которых грунт выступает естественным теплоаккумулятором и средой рассеивания тепловых потоков. Надежное и энергоэффективное проектирование таких объектов требует достоверного прогнозирования стационарных температурных полей в грунте от одиночных и групповых источников сферической или цилиндрической геометрии, что напрямую определяет рациональную глубину заложения и шаг прокладки

коммуникаций. Существующие подходы к расчету теплоотвода имеют некоторые ограничения. Несмотря на развитие численного моделирования, достижение сеточной независимости для полуограниченного массива грунта требует расширения расчетной области, что делает такие методы вычислительно затратными и малопригодными для инженерного проектирования. Отсутствие научно обоснованных рекомендаций по выбору рациональных границ моделируемого массива и оценке погрешности вычислений обуславливает необходимость разработки простых, достоверных и верифицированных приближенно-аналитических методов расчета стационарного теплоотвода в грунте.

Научная новизна работы определяется следующим:

1. Получено и теоретически обосновано приближенно-аналитическое решение задачи стационарного теплоотвода от изотермического сферического тела в полуограниченном массиве грунта, учитывающее конвективный теплообмен на поверхности посредством эквивалентного слоя и позволяющее рассчитывать температурное поле, суммарный тепловой поток и погрешность принятого приближения.

2. Разработано аналитическое описание теплоотвода от одиночной горизонтальной цилиндрической трубы. Установлена связь между фактической глубиной заложения трубы и положением эквивалентного линейного источника, получены зависимости для теплового потока, температурного поля и температуры на поверхности грунта.

3. Получено приближенно-аналитическое решение для периодического ряда параллельных труб, учитывающее их взаимное тепловое влияние. Выведена зависимость для расчета теплового потока и распределения температуры и плотности теплового потока на поверхности грунта.

4. Установлены зависимости погрешности от безразмерных геометрических параметров и числа Био, а корректность полученных соотношений подтверждена анализом предельных переходов к частным расчетным случаям.

5. Получены экспериментальные данные о формировании температурного

поля вокруг одиночной нагретой трубы в сухом и увлажненном грунте. Подтверждена применимость разработанного аналитического описания к воспроизведенным лабораторным условиям.

Теоретическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы включает в себя развитие методов приближенно-аналитического моделирования стационарных тепловых полей в полуограниченных средах с учётом реальных граничных условий III рода на поверхности, вывод новых аналитических соотношений, описывающих связь между геометрическими параметрами системы и характеристиками теплового поля.

Практическая значимость работы:

1. Разработаны инженерные методики расчета стационарного теплового потока и температурного поля от заглубленного сферического тела, одиночной трубы и периодического ряда труб, пригодные для предварительных проектных расчетов без выполнения длительного численного моделирования.

2. Полученные зависимости и погрешности позволяют выбирать глубину заложения и шаг труб, оценивать взаимное влияние соседних трубопроводов, неравномерность теплового потока на поверхности грунта и допустимость используемых упрощений.

3. Разработан алгоритм расчета теплоотвода от одиночной трубы и создана программа для ЭВМ (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026618567).

4. Разработанные методики могут быть использованы при расчете грунтовых теплообменников, тепловых потерь подземных тепловых сетей, систем подогрева дорожных покрытий и антиобледенения, кабельных линий.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Приближенно-аналитический метод расчета стационарного теплоотвода от изотермического сферического тела в полуограниченном грунтовом массиве при конвективном теплообмене на поверхности.

2. Аналитическая модель стационарного теплоотвода от одиночной горизонтальной цилиндрической трубы, устанавливающая связь между геометрическими и теплофизическими параметрами системы, положением эквивалентного источника, отводимым тепловым потоком и распределением температуры и плотности теплового потока в грунте и на его поверхности.

3. Приближенно-аналитическая модель периодического ряда параллельных труб с учетом взаимного теплового влияния, включая зависимость смещения эквивалентного источника от радиуса, глубины заложения и шага труб.

4. Результаты численной и экспериментальной проверки температурного поля от одиночной трубы в сухом и увлажненном грунте, подтверждающие применимость разработанных моделей и инженерных алгоритмов в исследованном диапазоне параметров.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в анализе литературных источников и написании на их основе литературного обзора по тематике проводимых исследований. Соискатель настоящей работы принимал непосредственное участие в анализе и обсуждении полученных результатов, оформлении и предоставлении докладов на научных конференциях, написании рукописей статей.

Степень достоверности результатов исследования. Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов математических моделей обусловлена использованием фундаментальных уравнений стационарной теплопроводности при граничных условиях I и III рода с применением методов зеркальных отображений и суперпозиции. Достоверность научных положений, теоретических выводов и практических рекомендаций диссертации обусловлена хорошим совпадением результатов математического моделирования, выполненного методом конечных объёмов в ANSYS Fluent, с экспериментальными данными, полученными методами многоточечной контактной термометрии и тепловизионной съёмки, а также широкой публикацией результатов и их обсуждением на международных и российских конференциях.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Уткина Максима Олеговича представляет собой завершённый научный труд, выполнена на достаточно высоком научном и методическом уровне. Полученные результаты обладают новизной и практической значимостью, поскольку позволяют решить актуальные задачи в области теоретической и прикладной теплотехники и представляют научный и практический интерес для промышленности.

Ценность научной работы соискателя ученой степени.

Ценность научной работы соискателя ученой степени заключается в разработке комплекса инженерных методик расчёта стационарного теплового режима для заглублённых сферических тел, одиночных труб и их периодических рядов, позволяющих проводить оценки без ресурсоёмкого численного 3D-моделирования. Полученные аналитические зависимости и оценки погрешностей дают проектировщикам возможность оптимизировать глубину заложения и шаг труб, прогнозировать неравномерность теплового потока на поверхности грунта и учитывать взаимное тепловое влияние соседних коммуникаций. На базе разработанного алгоритма создана программа для ЭВМ (св. о гос. регистрации № 2026618567), обеспечивающая оперативный расчёт теплоотвода от подземных трубопроводов, а сформированный лабораторный стенд и массив эмпирических данных о температурных полях в грунтах различной влажности подтверждают достоверность предложенных моделей. Практическая применимость методик доказана на примере расчёта системы обогрева зимней теплицы, при этом результаты работы обладают высокой адаптивностью и могут быть использованы при проектировании грунтовых теплообменников, оценке тепловых потерь подземных сетей, устройстве систем антиобледенения дорог и подогрева кабельных линий.

Перспективы развития темы диссертации заключаются в дальнейшем совершенствовании разработанного математического аппарата на случай трубопроводов с теплоизоляцией и учёта неоднородности теплофизических

свойств грунта, что позволит применять предложенные методы к более широкому классу подземных теплоэнергетических систем.

Соответствие диссертации требованиям, установленным п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней». В диссертационной работе отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора и (или) источник заимствования, а также результаты научных работ, выполненных Уткиным Максимом Олеговичем в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Научная специальность и отрасль науки, которой соответствует диссертация. Диссертация соответствует паспорту специальности 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника» по пунктам паспорта:

Пункту 6. Научные основы повышения эффективности использования энергетических ресурсов в теплотехническом оборудовании и использующих теплоту системах и установках.

Пункту 8. Новые конструкции теплопередающих и теплоиспользующих установок и оборудования, обладающих улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками. Совершенствование методов расчета и оптимизация параметров использующих теплоту технологических процессов, оборудования и систем.

Пункту 9. Системы обеспечения теплового режима теплоэнергетических, промышленных и коммунальных объектов, теплопотребляющего и тепловыделяющего оборудования, методы их совершенствования. Математическое моделирование и оптимизация энерготехнологических систем промышленных предприятий и систем теплоснабжения зданий, районов и городов.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени. По теме диссертационной работы опубликовано 15 работ, из них 7 – в научных изданиях, входящих в перечень ВАК и приравненных к ним, в том числе 4 по научной специальности 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника»; 7 работ в материалах

конференций различного уровня; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В изданиях из перечня ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и приравненных к ним:

1. Уткин М.О. Численное и экспериментальное исследование теплопереноса от цилиндрической трубы в грунте тепличного хозяйства / М.О. Уткин, А.В. Дмитриев, В.Э. Зинуров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2025. Т. 27. № 5. С. 153-167. DOI 10.30724/1998-9903-2025-27-5-153-167.

2. Dmitriev A.V. Calculation of heat removal from a pipe buried in the soil / A.V. Dmitriev, N.D. Iakimov, V.V. Kharkov, M.O. Utkin // Bulletin of Donetsk National University. Series G: Technical Sciences. 2025. No. 3. P. 184-197. DOI 10.5281/zenodo.17395045.

В изданиях, включенных в международную базу цитирования SCOPUS и Web of Science:

3. Utkin M.O. Approximate-Analytical Solution for Heat Removal from a Spherical Body in the Ground / Utkin M.O., Yakimov N.D., Kharkov V.V., Badretdinova G.R., Dmitriev A.V. // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2025. Vol. 98. No. 5. Pp. 1362-1370. <https://doi.org/10.1007/s10891-025-03214-y>

4. Dmitriev A.V. Analytical Solution for Heat Removal from a Ground Tubular Heat Exchanger / Dmitriev A.V., Yakimov N.D., Kharkov V.V., Utkin M.O. // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2026. Vol. 99. No 3. P. 715-724. <https://doi.org/10.1007/s10891-026-03352-x>

Публикации в других изданиях и материалах конференций:

5. Дмитриев А.В. Численное моделирование нагрева теплового накопителя энергии для обогрева тепличного хозяйства / А.В. Дмитриев, В.Э. Зинуров, М.О. Уткин, Д.Т. Халиуллин, О.С. Дмитриева // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2025. – Т. 20, № 1(77). – С. 47-53. – DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-47-53.

6. Зинуров В.Э. Моделирование циркуляции теплоносителя с фазовыми переходами в замкнутом контуре для обогрева теплиц на базе высокотемпературного накопителя энергии / В.Э. Зинуров, М.О. Уткин, А.В. Дмитриев, Д.Т. Халиуллин, О.С. Дмитриева // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2025. – Т. 20, № 4(80). – С. 93-99. – DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-4-93-99.

7. Попкова О.С. Численное моделирование теплопередачи и циркуляции теплоносителя в системе отопления тепличных хозяйств на основе тепловых накопителей энергии / О.С. Попкова, М.О. Уткин, В.С. Атлы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 208. – С. 303-310. – DOI 10.21515/1990-4665-208-028.

8. Уткин М.О. Моделирование распределения тепла в грунте / М.О. Уткин // Электронные системы и технологии: материалы 61-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 21–25 апреля 2025 года. – Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2025. – С. 700-702.

9. Шарипов И.И. Исследование передачи тепла в накопителе энергии для агропромышленного комплекса / И.И. Шарипов, М.О. Уткин, И.Г. Кулай, М.Г. Кузнецов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 204. – С. 326-334. – DOI 10.21515/1990-4665-204-033.

10. Уткин М.О. Низкопотенциальное тепло от энергетических установок и его утилизация / М.О. Уткин, А.В. Дмитриев // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: Материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и специалистов. В 2-х томах, Тюмень, 18–20 декабря 2024 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2024. – С. 252-254.

11. Уткин М.О. Применение возобновляемых источников энергии для электроснабжения удаленных объектов нефтегазовой отрасли / М.О. Уткин, Н.С.

Россамахина, А.В. Дмитриев // Наука и творчество: вклад молодежи: Сборник материалов всероссийской молодежной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Махачкала, 10–11 ноября 2022 года. – Махачкала: Типография ФОРМАТ, 2022. – С. 168-170.

12. Уткин М.О. Низкопотенциальное тепло и его утилизация в грунте / М.О. Уткин // Тинчуринские чтения - 2025 «Энергетика и цифровая трансформация»: Материалы докладов Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах, Казань, 23–25 апреля 2025 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2025. – С. 563-565.

13. Уткин М.О. Практический эксперимент и математическое моделирование по теме исследования распределения тепла в грунте / М.О. Уткин, Е.В. Федорова // Проблемы и перспективы развития энергетики: сборник материалов VII Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Казань, 22–23 октября 2025 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2025. – С. 820-823.

14. Уткин М.О. Применение низкопотенциального тепла в сельском хозяйстве / М.О. Уткин, Е.В. Федорова, А.В. Дмитриев, А.А. Любишев // Теоретические и прикладные задачи энергетики: Труды Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 50-летию первого выпуска инженеров-промтеплоэнергетиков, Воронеж, 28–29 октября 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2025. – С. 198-201.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026618567 Российская Федерация. Программа для получения расчета теплового потока для одиночно проложенной трубы в грунте: заявл. 19.03.2026: опубл. 26.03.2026 / М.О. Уткин, Н.Д. Якимов, А.В. Дмитриев, Г.Р. Бадретдинова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

Диссертация «Методы решения задач стационарного теплоотвода от подземных источников для оценки эффективности грунтовых теплообменников»

соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства № 842 от 24 сентября 2013 г. (в действующей редакции), в т.ч. п. 14.

В диссертации отсутствуют неправомерные заимствования.

Диссертация «Методы решения задач стационарного теплоотвода от подземных источников для оценки эффективности грунтовых теплообменников» Уткина Максима Олеговича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Заключение подготовлено и рассмотрено на расширенном заседании кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» ФГБОУ ВО «КГЭУ», протокол №48 от 28.09.2026г. Присутствовало на расширенном заседании кафедры – 24 человека, из них 5 человек – члены диссертационного совета 24.2.310.03, созданного на базе КГЭУ. Результаты голосования: «за» – 24 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Председатель заседания, профессор
кафедры «Автоматизация технологических
процессов и производств», д.х.н.,
профессор



Халитов Фарит
Гусманович

Секретарь заседания, доцент кафедры
«Автоматизация технологических
процессов и производств», к.т.н., доцент

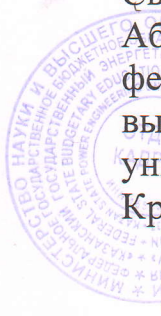


Попкова Оксана
Сергеевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» 420066, Республика Татарстан, г. Казань ул. Красносельская, 51, телефон/факс +7 (843) 519-49-20, kgeu@kgeu.ru, www.kgeu.ru.

Свидетельство о лице, утвердившем заключение

Абдуллазянов Эдвард Юнусович: доктор технических наук, профессор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», ректор, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51. Тел. (843) 519-42-20, e-mail: kgeu@kgeu.ru


Подпись *Абдуллазянов Э. Ю.*
Специалист ОК *Абдулрахманова О. А.*