

## ОТЗЫВ

официального оппонента **Михайлова Павла Юрьевича** на диссертационную работу Паздерина Дмитрия Сергеевича на тему «ДИНАМИКА ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИИ ЗАГЛУБЛЕННОГО ТРУБОПРОВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРОВ)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

### 1. Актуальность темы

Актуальность работы определяется тем, что при значительном распространении многолетнемерзлых грунтов на территории России (более 60%) их оттаивание в основании заглубленных трубопроводов является опасным процессом. При этом неоднородность грунтовых свойств по длине трассы горячего трубопровода обуславливает неравномерное нарушение теплового состояния грунтов, что приводит к неравномерным деформациям трубопровода и влечет повышенные напряжения в его конструкции.

В настоящее время существуют различные методы предотвращения неблагоприятного теплового воздействия подземного трубопровода на многолетнемерзлые грунты. К числу эффективных методов относится использование охлаждающих устройств – термостабилизаторов, совместно с теплоизоляционными материалами. В основе проектирования конструкции трубопровода в сочетании с термостабилизаторами вдоль его трассы лежат результаты теплотехнического прогноза динамики температурного поля грунта. Увеличение точности прогнозного расчета достигается возможностью учесть полную исходную информацию (неоднородность геологической среды, динамика климата, параметры тепловыделений трубопровода и охлаждающих устройств и т.д.). Однако, в настоящее время, имея такую информацию, получение достаточно точного прогноза затрудняется наличием ряда вопросов к самим способам решения поставленной задачи. К таким вопросам относятся: обоснование условий теплообмена на границах расчетной области и размеров последней, учет

конструктивных особенностей конденсатора и испарителя термостабилизатора при моделировании теплообмена устройства с грунтом, разработка алгоритмов учета совместного теплового влияния трубопровода и термостабилизаторов на грунты основания.

Автор диссертации решает задачу качественного улучшения методов геокриологического прогноза теплового состояния многолетнемерзлых пород в основании подземного трубопровода с применением термостабилизаторов. Таким образом актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

## **2. Научная новизна** заключается в следующем:

1) Разработана теплофизическая модель взаимодействия конденсатора с атмосферным воздухом при различных формах и материалах оребрения, способах их крепления к корпусу термостабилизатора в широком диапазоне скоростей ветра. Исследовано влияние воздушного зазора между корпусом термостабилизатора и оребрением (в случае биметаллического исполнения конденсатора) на интенсивность теплообмена.

2) Впервые предложен алгоритм корректного выбора параметров теплообмена на верхней границе грунтового массива и положения границ расчетной области, основанные на требовании обеспечения стабильности теплового состояния массива грунта в отсутствие сооружения. Выполнение этого требования повышает точность прогноза и увеличивает его надежность.

3) Разработана новая модель прогнозирования теплового состояния грунтов в системе «мерзлый грунт – заглубленный трубопровод – система термостабилизаторов – окружающий воздух», включающая: а) учет технологических факторов изготовления конденсатора охлаждающего устройства и особенности его конструкции; б) обоснование корректности выбора параметров сезонного теплообмена поверхности массива грунта с атмосферой и положения нижней границы расчетной области; в) теоретически обоснованное условие теплообмена на границе контакта испарителя термостабилизатора с вмещающим грунтом; г) учет совокупного действия всех источников тепла (трубопровода, системы термостабилизаторов, поверхностных факторов); д) учет строения

геологической среды (что увеличивает точность прогноза); е) разработанную на основе предлагаемой методики рабочую (вычислительную) программу для прогноза состояния грунтов основания заглубленного трубопровода на весь срок его эксплуатации.

По мнению оппонента, сформулированные в работе и приведенные в публикациях результаты, являются новыми научными знаниями и способствуют достижению поставленной цели исследований, а именно созданию расчетной модели теплового воздействия подземного трубопровода и вертикальных термостабилизаторов на многолетние грунты его основания.

### **3. Практическая ценность**

Разработанный способ подбора параметров конструкции ребрения конденсатора при различных способах крепления ребер к корпусу термостабилизатора с привязкой к конкретным ветровым нагрузкам позволяет проектировать наиболее эффективный с точки зрения теплопередачи конденсатор, в том числе разработать мероприятия по уменьшению негативного влияния воздушного зазора биметаллического конденсатора.

Предложенный алгоритм выбора параметров теплообмена на верхней границе массива грунта и положения границ расчетной области повышают точность прогнозных тепловых расчетов подземного трубопровода на многолетнемерзлых грунтах при проектировании применения средств термостабилизации грунтов. Этот алгоритм может быть применен и в других задачах прогноза динамики температурных полей в основании широкого класса инженерных сооружений, возводимых в районах распространения многолетнемерзлых грунтов.

Разработанные автором методы и методики позволяют прогнозировать температурное поле многолетнемерзлых грунтов для целей проектирования с применением средств термостабилизации в течении всего срока эксплуатации трубопровода. Применение этих методов позволяют заранее запланировать и предусмотреть в проекте мероприятия по геотехническому мониторингу трассы трубопровода на наиболее сложных участках.

Разработанные методы могут быть использованы проектными и строительными организациями для подземной прокладки систем транспорта углеводородов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов и для контроля их состояния в процессе эксплуатации.

**4. Апробация работы** проведена на всероссийских и международных конференциях. Содержание диссертации отражено в автореферате и опубликовано в 5 статьях в журналах из списка ВАК, 9 статьях и тезисах материалов отечественных и международных конференций.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

**5. Основное содержание диссертации.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложения и содержит 204 страницы машинописного текста, 129 рисунков, 9 таблиц, список литературы из 148 наименований.

*Во введении* обоснована актуальность темы диссертации, изложена цель, сформулированы задачи исследования, научная новизна, практическая значимость, методы исследования, достоверность научных положений и выводов, личный вклад, защищаемые положения, апробация результатов работы, список публикаций, информация о структуре и объеме работы.

*Первая глава* – аналитический обзор литературы из 148 источников, включая иностранных авторов. В четырех параграфах главы рассмотрены: методы расчета теплообмена в многолетнемерзлых грунтах с учетом фазовых переходов, внешняя задача на контакте испарителя термостабилизатора с вмещающим грунтом, внутренние процессы в корпусе термостабилизатора, теплообмен оребренного конденсатора с атмосферным воздухом.

Автор показал, что вопросы температурной стабилизации грунтов оснований с использованием естественно-конвективных охлаждающих устройств достаточно подробно изучались отечественными и зарубежными учеными. Однако в известной литературе остаются не до конца изучены вопросы о корректности выбора граничного условия на контакте грунт-воздух, недостаточно подробно освещены методы расчета динамики температурных полей в мерзлых

грунтах оснований горячего подземного трубопровода с учетом влияния термостабилизаторов, влияния контактных термических сопротивлений на коэффициент теплопередачи от конденсатора термостабилизатора в воздух. Существующие методы прогнозирования теплового состояния многолетнемерзлых грунтов оснований с применением термостабилизаторов требуют повышения их надежности и точности, что и является результатом работы автора.

**Вторая глава** содержит описание методики расчета теплообмена конденсатора охлаждающего устройства с воздухом. Автор разработал алгоритм и методику выбора наиболее эффективных (с точки зрения теплоотдачи) параметров конструкции оребрения для конкретных ветровых условий проектирования. Полученная автором методика позволяет учесть влияние контактного термического сопротивление на теплопередачу через биметаллический конденсатор. Так при наличии воздушного (таблица 2.3 диссертации) контактное термическое сопротивление вносит определяющее влияние на интенсивность теплопередачи биметаллического конденсатора.

**В третьей главе** изложена численная математическая модель динамики теплового состояния грунта вблизи установленного одиночного термостабилизатора. Полученные в ходе моделирования результаты расчетов сопоставлялись с известными точными зависимостями, а также сопоставлялись с промышленными данными и в целом подтверждают эффективность предлагаемой автором модели.

С целью повышения точности прогнозного расчета автором предложен алгоритм корректного выбора параметров теплообмена на верхней границе расчетной области и положения нижней границы расчетной области. Алгоритм заключается в итерационном подборе коэффициента теплообмена поверхности грунта и воздуха в зимнее и летнее время таким образом, что при заданном законе сезонного изменения температуры воздуха расчетная температура в массиве грунта на глубине нулевых колебаний (полученные при инженерных изысканиях) при отсутствии сооружения будет оставаться постоянной с определенной

точностью. Положение нижней границы расчетной области автор предлагает определять на основе тех же критериев.

*В четвертой главе* диссертации изложены результаты применения разработанной методики для решения прикладных задач. Показано влияние установки двух термостабилизаторов на тепловое поле грунта. Автор расчетом доказал, что учет взаимного влияния охлаждающего действия термостабилизаторов позволяет сократить их количество примерно на 50%, что производит значительный экономический эффект.

Заключает четвертую главу изложение структуры и элементов теплового воздействия подземного трубопровода и вертикальных термостабилизаторов на многолетнемерзлые грунты его основания. Данная модель учитывает весь спектр влияния значимых внутренних и внешних факторов и может быть рекомендована для использования в подготовке учебных программ подготовки в высших учебных заведениях и при проектировании термостабилизации грунтов оснований.

*В заключении* изложены основные результаты и выводы по диссертации.

#### **6. Замечания по диссертационной работе:**

1) Во втором выводе по второй главе (стр. 64) говорится о разработанном программном комплексе, позволяющем определять оптимальную конструкцию и параметры конденсаторной части термостабилизатора, но в тексте диссертации и автореферата не приведен алгоритм разработанного программного комплекса.

2) Граничное условие  $(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r}_{r=r_s})$  на стыке вертикального термостабилизатора с грунтом, в летний период, поставлено не совсем корректно, при температуре воздуха большей температуры грунта возможен перенос тепла за счет фазовых превращений хладагента в подземной части термостабилизатора, при условии повышения локальной температуры грунта по глубине.

3) В диссертационной работе не представлены результаты тестирования разработанного метода расчета, в части влияния линейных размеров расчетных контрольных объемов на корректность определяемых температур грунта.

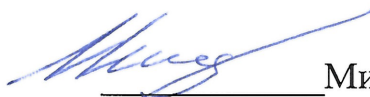
Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

## 7. Заключение

Диссертация Паздерина Д.С. выполнена на хорошем научном уровне, представляют собой законченное научное исследование, в котором решены задачи, имеющее существенное значение для инженерной геокриологии. В автореферат включены основные положения и содержание работы.

Считаю, что диссертационная работа Паздерин Дмитрия Сергеевича «Динамика теплового состояния многолетнемерзлых грунтов в основании заглубленного трубопровода с применением охлаждающих устройств (термостабилизаторов)» по своим квалификационным признакам соответствует требованиям ВАК РФ п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

Официальный оппонент,



Михайлов Павел Юрьевич

Кандидат физико-математических наук

Заведующий кафедрой «Механики многофазных систем»

ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»

625003, Россия, Тюмень, ул. Перекопская 15-А, Физико-технический институт,  
кафедра «Механики многофазных систем»

Тел. 8-912-994-53-14, e-mail: pav84369437@yandex.ru



27.04.2017