

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Спасенниковой Клавдии Анатольевны «Компьютерное моделирование тепломассопереноса в грунтах под сооружениями, построенными на вечной мерзлоте с использованием сезонных охлаждающих устройств», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Строительство и эксплуатация различных сооружений в районах распространения многолетнемерзлых пород приводит к нарушению термического режима последних. В результате могут возникнуть серьезные осложнения, такие как просадки оттаивающих пород при эксплуатации зданий, которые оказывают решающее воздействие на устойчивость оснований под сооружениями и различным оборудованием, вследствие чего повышается вероятность возникновения нештатных и аварийных ситуаций. Для исключения таких нежелательных ситуаций в ряде случаев применяют сезонные охлаждающие устройства (СОУ), позволяющие поддерживать нужный уровень температур грунтов в основании сооружений.

Для качественного пользования СОУ необходим теоретический анализ процесса теплообмена в мерзлых грунтах, охлаждаемых с помощью таких устройств, с учетом различных факторов. Решение этих задач позволяет повысить качество строительства в районах залегания мерзлых пород и обеспечить надежную эксплуатацию зданий и сооружений с одновременным снижением капитальных и эксплуатационных затрат. В этой связи, диссертационная работа, направленная на теоретическое исследование процесса теплопередачи в грунтах под сооружениями, построенными на вечной мерзлоте, с учетом работы сезонных охлаждающих устройств, разработку методики прогнозирования температурного режима многолетнемерзлых пород под такими сооружениями является, несомненно, **актуальной.**

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертации** Спасенниковой К.А. соответствует общепринятой в рамках специальности 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение. Автор использует четкие постановки задач теплообмена в мерзлых грунтах, основанные на законах сохранения. Все численные алгоритмы подвергнуты тестированию, осуществляется контроль устойчивости и согласованности разностной схемы.

**Оценка новизны и достоверности.** Можно согласиться с формулировками автора о новизне работы. Наиболее существенными новыми элементами являются: 1) разработка методики расчета температурных полей, возникающих в результате теплообмена между системой охлаждающих устройств и грунтом, а также между грунтом, атмосферой и сооружением, построенном на вечной мерзлоте; 2) создание методики многовариантного прогноза состояния грунтов под сооружениями, позволяющей определять вероятность нахождения грунта в талом состоянии в широком диапазоне изменения случайных параметров и на основании этого прогноза оценить эффективность работы сезонных охлаждающих устройств. Постановки ряда конкретных задач, рассмотренных в диссертации, также обладают высокой степенью новизны. Достоверность основных результатов не вызывает сомнений, поскольку она обеспечена убедительной демонстрацией, где это возможно, совпадения результатов численного эксперимента с результатами натурных наблюдений.

**Научная и практическая ценность** диссертации обусловлена, прежде всего, важностью практических приложений, послуживших мотивацией для изучения процессов протаивания грунтов под сооружениями, построенными на вечной мерзлоте. Проведенные исследования охватывают достаточно широкий спектр задач данной проблемы и позволяют решать актуальные практические задачи. Полученные результаты могут быть использованы для создания научных основ прогнозирования температурного режима многолетнемерзлых пород, а также для практического решения многих

других нелинейных задач движения межфазной границы. Предложенная методика решения задачи Стефана с учетом теплового взаимодействия грунта с атмосферой заслуживает упоминания в теоретических курсах мерзлотоведения, а разработанные автором пакеты прикладных программ, оформленные соответствующими свидетельствами госрегистрации, могут быть использованы при проведении исследований процесса протаивания вечномерзлых пород в Институте мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН, Институте криосферы Земли СО РАН, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ООО НПО «Фундаменстройаркос» и в других научных и проектных организациях.

**Оценка содержания диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 154 страницы с 108 рисунками и 40 таблицами. Список литературы содержит 108 наименований.

Во введении обоснована актуальность, научная новизна и практическая значимость проведенного в работе исследования, сформулированы его цели и задачи; представлены положения, выносимые на защиту, описана структура диссертации.

В первом разделе диссертации представлены классификация и описание сезонных охлаждающих устройств, а также области их применения. Сформулирована нелинейная задача Стефана, выписаны граничные условия, приведены соотношения, позволяющие рассчитать тепловое взаимодействие поверхности грунта с атмосферой и тепловой обмен между испарительной системой охлаждающих устройств и атмосферой, а также записана соответствующая разностная схема.

Диссертантом на примере конкретных промышленных объектов, построенных в зоне распространения вечной мерзлоты, осуществлено тестирование методики расчета нестационарных температурных полей, эволюционирующих в результате теплообмена между системой охлаждающих устройств и грунтом, а также между грунтом, атмосферой и

сооружением. Результаты этого тестирования, а также сравнение расчетных значений с данными термометрии представлено во втором разделе диссертации. Показано, что разработанный диссертантом метод расчета позволяет с достаточной для практического применения точностью прогнозировать динамику изменения температурных полей в грунтах под сооружениями с учетом эксплуатации сезонных охлаждающих устройств.

Третий раздел по уровню значимости результатов, их новизне и объему материала представляется наиболее значимым в диссертационной работе. На основе метода Монте-Карло предложена методика многовариантного прогноза по нахождению грунтов под сооружениями в мерзлом или талом состоянии. В данной методике использован ряд случайных величин, таких как среднемесячная температура воздуха, среднемесячная скорость ветра и среднемесячная толщина снежного покрова. С учетом этих данных и технических параметров охлаждающих устройств вычисляется вероятность нахождения грунта в талом состоянии для произвольной точки расчетной области в различные моменты времени. Затем по итогам таких расчетов автором проанализирована эффективность работы сезонных охлаждающих устройств по температурной стабилизации и обеспечению несущей способности многолетнемерзлых грунтов для конкретных сооружений.

По работе имеются следующие замечания.

1. Диссертация перегружена графиками, иллюстрирующими распределение температурных полей в грунтах под сооружениями. На мой взгляд, их количество без ущерба для раскрытия материала можно было бы сократить, при этом больше внимания уделить описательному анализу этих графиков.

2. Сделанный диссертантом на стр. 121 вывод об «... избыточности охлаждающей системы ...» следует признать недостаточно обоснованным, т.к. из таблицы 3.2.9 видно, что на расстоянии 3 метров от кромки емкости диаметром 40 метров вероятность нахождения грунта в талом состоянии

близка к 100 %. Это обстоятельство указывает на возможное снижение несущей способности мерзлых грунтов под емкостью.

3. Для построенной математической модели теплообмена в грунтах под объектами, сооруженных на вечной мерзлоте с использованием сезонных охлаждающих устройств, не представлен анализ чувствительности модели к задаваемым параметрам.

4. Диссертация не свободна от орфографических и стилистических погрешностей. Для рис. 3.2.1а, 3.2.1в, 3.3.8 и 3.4.2а их графическое представление и подпись к рисунку разнесены по разным страницам. Для ряда таблиц при записи одной и той же физической величины используется разное количество значащих цифр, например, для средней температуры для одинакового момента времени в одной и той же точке пространства в таблицах 3.1.4 и 3.1.5 представлены значения  $-1.55$  и  $-1.6$  °С соответственно.

Сделанные замечания не влияют на общую оценку работы, которая заключается в следующем.

Диссертационная работа Спасенниковой Клавдии Анатольевны выполнена на хорошем научном уровне, представляет собой законченное научное исследование, имеющее важное практическое значение. Материалы диссертационной работы докладывались на научных конференциях различного ранга, опубликованы в научных статьях, в том числе в рецензируемых научных журналах, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации, а основные результаты работы в полной мере опубликованы в научной печати. Материалы диссертации характеризуют автора как сложившегося исследователя, владеющего современными научными методами.

Считаю, что выполненное исследование по своим квалификационным признакам соответствует требованиям Положения о порядке присуждения

ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Спасенникова Клавдия Анатольевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

Официальный оппонент,  
заведующий лабораторией гидродинамики  
многофазных сред Тюменского филиала  
Института теоретической и прикладной механики  
им. С.А. Христиановича СО РАН –  
заместитель директора по научной работе,  
(625026, г.Тюмень, ул.Таймырская, 74)  
доктор физ.-мат. наук, доцент  
(тел: 8 (3452) 682745, e-mail: [timms@tmn.ru](mailto:timms@tmn.ru))

16.03.2015

Мусакаев Наиль Габсалимович

