

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. И.РАЗЗАКОВА**

Диссертационный совет Д.01.19.595

На правах рукописи  
УДК: 536.5.081 + 624.139.34 (043.3)

**Шекеев Кубан Рыспаевич**

**ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ СООРУЖЕНИЙ,  
РАСПОЛОЖЕННЫХ В УСЛОВИЯХ  
ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ**

Специальность: 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

**Автореферат диссертации**  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Бишкек – 2021

Работа выполнена на кафедре Прикладной математики и информатики КГТУ им. И.Раззакова

Научный руководитель:

**Джаманбаев Мураталы Джузумалиевич**

Член.-корр. НАН КР, д.ф.-м.н., профессор

Официальные оппоненты:

**Исманбаев Асанбай Исманбаевич**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Физика» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова

**Мукамбаев Нурбек Жээмбаевич**, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры «Информационные системы и технологии» Международной академии управления, финансов и бизнеса

Ведущая организация:

Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева, 720026, г. Бишкек, ул. Раззакова, 51А

Защита состоится «17» декабря 2021 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д.01.19.595 при Кыргызском государственном техническом университете им. И.Раззакова, адрес: 720044, г.Бишкек, ул. проспект Ч. Айтматова, 66, [www.kstu.kg](http://www.kstu.kg) и КРСУ им. Б.Ельцина, адрес: 720000, г.Бишкек, ул. Киевская,44, [www.krsu.edu.kg](http://www.krsu.edu.kg).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках КГТУ им. И.Раззакова по адресу: 720044, г.Бишкек, ул. проспект Ч. Айтматова, 66, и КРСУ им. Б.Ельцина, адрес: 720000, г.Бишкек, ул. Киевская,44.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2021года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, к.ф.-м.н.

Доталиева Ж.Ж.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Разработка месторождений, строительство сооружений расположенных в условиях вечной мерзлоты требует специальных исследований по изучению влияния процессов оттаивание и промерзание горных пород и техногенных воздействий на безопасность сооружений и на окружающую среду.

Тепловой режим горных пород формируется в результате процессов тепло- и массообмена с атмосферой, а также техногенными воздействиями. Нарушение теплового режима сооружений расположенные в зоне вечной мерзлоты (хвостохранилища, тела плотины, золоторудные фабрики и т. д.) может привести к потере устойчивости сооружений, которая приведет к колоссальным экономическим и экологическим последствиям. Поэтому исследования температурных и фильтрационных процессов в зоне вечной мерзлоты, совершенствование математических моделей и методов решения задач тепломассопереноса с учетом реальных факторов физических процессов является актуальной и важной научно-исследовательской задачей.

**Связь темы диссертации с научными и правительственными программами.**

- «Математическое моделирование процессов массотеплопереноса и методы их решения», 2012 – 2014гг. Проект по линии Департамента науки МОН КР.
  - Отчет о научно-исследовательской работе «Инновационные технологии решения физико-технических проблем в промышленности Кыргызской Республики», 2013 г.
  - Международный научный проект РФФИ № 14-05-90116 (совместно учеными из Института горного дела СО РАН, Новосибирск), 2014-2015гг.

**Целью диссертационной работы является** исследование температурного режима геотехнического сооружения, расположенного в условиях вечной мерзлоты, под влиянием совместного действия различных климатических и техногенных факторов.

**В соответствии с поставленной целью сформулированы следующие основные задачи исследования:**

- провести исследование при различных вариантах совместного действия климатических и техногенных факторов на изменение температурного режима мерзлого грунта;
- провести численный анализ процесса таяния и промерзания тела плотины и под основанием хвостохранилища, расположенного в зоне вечной мерзлоты.
- провести расчет температурных полей отхода комбината, отложенные в виде пульпы на дне хвостохранилища и температурных полей основания хвостохранилища для изучения глубины таяния мерзлого грунта.

### **Научная новизна работы заключается в следующем:**

- изучено влияние снежного, растительного покрова и рельефа местности на промерзание и протаивание горной породы изучаемой местности;
- численно исследован процесс протаивания основания водоема в зависимости от температуры воды;
- исследовано влияние водонепроницаемой и теплоизоляционной пленки на процесс протаивания основания хвостохранилища и верхнего бьефа тела плотины под влиянием температуры воды в пруде и температуры окружающей среды;
- исследованы взаимовлияния температуры воды, пульпы на процесс протаивания основания хвостохранилища;

**Теоретическая и практическая ценность.** Предложенный подход и алгоритм могут служить основой для решения прикладных задач температурного режима сооружений, расположенных в зоне вечной мерзлоты с учетом различных климатических факторов, которая является основой при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений и зданий в зоне вечной мерзлоты.

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Результаты исследований влияния различных климатических факторов и техногенных воздействий на температурный режим мерзлого грунта.
2. Процесс протаивания основания водоема в зависимости от температуры воды в пруду.
3. Численное моделирование методом конечных элементов (Comsol) процесса взаимовлияния температуры воды, пульпы на процесс протаивания основания хвостохранилища.

**Личный вклад соискателя** заключается в осуществлении численного анализа, в котором отражены особенности влияния климатических и техногенных факторов, взаимовлияние температурных полей пульпы и основания хвостохранилища. Определены наиболее значимые факторы, влияющие на температурный режим сооружений, расположенных в условиях вечной мерзлоты.

**Апробация результатов исследования.** Основные положения диссертационной работы опубликованы и докладывались на научно-практических конференциях Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, Бишкек, 2012, 2013 гг.; в республиканском научно-теоретическом журнале ВАК КР «Наука и новые технологии», Бишкек, 2014 г.; Международной научно-технической конференции молодых ученых «Инновация - вектор для молодежи» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (КГТУ), г. Бишкек, 2014 г., в журнале «Современные проблемы механики сплошных сред» Института геомеханики и освоения недр НАН КР, Бишкек, 2015 г., в журнале «Современная наука. Актуальные проблемы и пути их решения», Липецк, 2016 г., в журнале «Потенциал современной науки», Липецк, 2016 г., в журнале «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук», Москва, 2016 и

2017 годов, в международной научно-практической конференции КГТУ, посвященной 65-летию университета, г.Бишкек, 2019 г. на расширенном заседании научно-технического семинара кафедры, Бишкек, 2020 г.

### **Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.**

Результаты исследований и положения, отражающие основное содержание диссертационной работы, опубликованы в 10 печатных работах, в том числе 1 работа представлена в научно-теоретическом журнале ВАК КР, 1 работа в вестнике молодых ученых, 3 работы в Известиях КГТУ, 4 статьи в журналах РИНЦ Российской Федерации, а также в материалах и трудах Международных научно-практических конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, выводов, списка использованной литературы, содержит 177 страниц текста, 22 таблицы, 47 рисунков, список использованных источников из 116 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В введении** обосновывается актуальность проблемы, определены цели и задачи, а также основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту.

**Первая глава** посвящена анализу изученности вопросов и методов исследования температурных режимов сооружений в зонах вечной мерзлоты, изучены основные факторы, влияющие на температурный режим сооружений в условиях вечной мерзлоты, выполнен расчет глубины промерзания грунта и проведен анализ по определению фактора, оказывающего наибольшее влияние на глубину промерзания и протаивание грунта. Изучен и выполнен расчет по влиянию ветровой нагрузки на глубину промерзания грунта.

Большая часть месторождений полезных ископаемых в Кыргызской Республике расположены в высокогорных районах со сложными климатическими условиями, в зонах вечной мерзлоты. В связи с развитием добычи золоторудных и других месторождений полезных ископаемых в высокогорных районах научные и прикладные исследования ученых Кыргызстана для конкретных объектов в виду их особенности и не изученности требуют своеобразные подходы. В других странах, где развиты горнодобывающая отрасль и технологии, исследования задач в этом направлении изучены на достаточном уровне.

Вопросам гидротехнического строительства на северных территориях для нужд гидроэнергетики, водоснабжения, создания хвостохранилищ посвящены работы Г.Ф.Биянова, Н.А.Бучко, Я.А.Кроника, Г.И.Кузнецова, В.Л.Купермана, И.А.Максимова, Ю.Н. Мызникова, Б.А.Оловина, М.П.Павчича, Г.А.Распопина, Е.А.Смирнова, Н.Г.Трупака, Р.В.Чжана.

Расчетами температурного режима гидротехнических сооружений занимались Анискин Н. А., Биянов Г. Ф., Горохов Е. Н., Горохов М. Е.,

Кочубиевская Р. Л., Соболев С.В., Клейн И. С., Битюрин А. К., Оловин Б. А., Цвик А. М., Максимов И. А., Цыбина А.М., Шугаева Р.Т.

Решениям задач фильтрационных и тепловых процессов, гидротехнического строительства в горных условиях посвящены работы в Кыргызской Республике Ч.Дж. Джаныбекова, А.И. Исманбаева, М.Дж. Джаманбаева, Б.И. Бийбосунова, Чукина Б.А., Чукина Р.Б. и др.

Большая работа в рамках международного научного проекта по изучению температурного режима сооружений в криолитозоне проделана в совместном международном научном проекте с учеными из Института горного дела Сибирского отделения РАН Л.А. Назаровой, Л.А. Назаровым и кыргызских ученых Джаманбаева М.Дж., Чыныбаева М.К. Совместные исследования посвящены вопросам моделирования процессов теплопереноса в окрестности гидротехнических сооружений в криолитозоне.

Приведены результаты исследования влияния климатических факторов на процесс промерзания горных пород.

Для конкретного объекта численно показано влияние снежного покрова на процесс промерзания грунта по формуле Крылова [83].

1. Грунт – суглинок без учета снежного покрова при  $\tau = 5040$  час (210 дней или 7 месяцев);  $\theta = -13,4$  °С;  $i = 0,9$ ;  $\alpha = 20,0$  ккал/м<sup>2</sup>·г·час;  $W$  (суглинок) = 15%;  $\gamma_{ск} = 1540$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_T = 2,2$  ккал/м·град·час (из таблицы 4);  $q = 8,3$  ккал/м<sup>2</sup>·ч. Количество тепла, потребное для расплавления всего льда в грунте

$$Q = \lambda_{ск} \frac{W}{100} \cdot i \cdot 80 = 16632 \text{ ккал/м}^3$$

Толщина слоя грунта, эквивалентного по величине термического сопротивления

$$S = \lambda / \alpha = 0,11 \text{ м.}$$

Объемная теплоемкость грунта в мерзлом состоянии равна

$$C = \gamma_{ск} \cdot 0,20 + \gamma_{ск} \frac{W}{100} \cdot i \cdot 0,50 + \gamma_{ск} \frac{W}{100} (1-i) \cdot 1,0 = 435,05 \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{град.}$$

За 7 месяцев при условии отсутствие снежного покрова грунт промерзает до 2.61 м.

2. грунт-суглинок с учетом снежного покрова, При этом данные для расчета такие же, что и для предыдущего случая:  $\tau = 5040$  час;  $\theta = -13,4$  °С;  $i = 0,8$ ;  $\alpha = 20,0$  ккал/м<sup>2</sup>·г·час;  $W$  (суглинок) = 15%;  $\gamma_{ск} = 1540$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_T = 2,2$  ккал/м·град·час;  $q = 8,3$  ккал/м<sup>2</sup>·ч.

В этом случае грунт за такой же период времени грунт замерзает на глубину  $h = 0,92$  м. Достоверность полученных результатов подтверждается результатами расчетов, полученных другими учеными [83]. Результаты показывают, что снежный покров оказывает значительное отепляющее воздействие на глубину промерзания грунта.

Выявлен климатический фактор, который оказывает наибольшее влияние среди других факторов на глубину промерзания на основании вычислительных экспериментов. Наибольшее влияние на глубину промерзания грунта

оказывает величина теплового потока снизу. Так, уменьшение теплового потока снизу на 24% приводит к увеличению глубины промерзания на 12% (0,38м.). Вторым фактором, который оказывает наибольшее влияние на глубину промерзания грунта – влажность грунта. Так увеличение влажности грунта на 16% приводит к уменьшению глубины промерзания грунта на 4,2% (0,11м.). Наименьшее влияние на глубину промерзания грунта по результатам анализа оказал коэффициент теплоотдачи поверхности грунта (уменьшение коэффициента теплоотдачи грунта на 10% приводит к увеличению глубины промерзания на 3,8% (0,10 м.)).

Для учета влияния скорости ветра на глубину промерзания для данного объекта использовалась формула исследователей Антарктиды Пола Сайпла и Чарльза Пассела [117]

Результаты расчетов показали, что при скорости ветра, равном 5 км/ч глубина промерзания грунта увеличивается на 17% по сравнению с расчетом глубины без учета ветра. При скорости ветра, равном 10 км/ч глубина промерзания грунта по сравнению с безветренной погодой увеличивается от первоначального значения на 44,7%.

Для оценки влияния растительного покрова на температурный режим проведен вычислительный эксперимент на выше рассмотренном объекте.

Результаты расчета показали, что грунт зимой за 210 дней (7 месяцев) под влиянием растительного покрова промерзает на глубину  $h = 0,89$  м. Это означает, что растительный покров грунта благодаря своему утепляющему свойству уменьшает глубину промерзания. Так, как при отсутствии растительного покрова глубина промерзания равнялась 2,61 м., то наличие растительного покрова снижает глубину промерзания на 66% в отличие от оголенной площадки

В горных районах с изменением высоты рельефа связано различие состава отложений и их влажности, изменяются мощность снежного покрова, сплошность и видовой состав растительности и т.д., т.е. происходит изменение всех классификационных показателей типов сезонного промерзания (оттаивания) пород.

Значение глубины промерзания, равное 2,61 метрам, соответствует наветренным склонам, где сдувается снег (склонам с выпуклыми формами рельефа). Так как в понижениях из-за влияния ветра накапливается достаточное количество снежной массы, то в таких местах глубина промерзания уменьшится на 64,75% (0,92 м). Так как растительный покров, в отличие от оголенной поверхности накапливает снег, при совместном действии растительного и снежного покровов глубина промерзания уменьшится на 65,9% (0,89 м.).

**Во второй главе** изложены существующие методы исследования влияния климатических факторов на температурный режим процесса протаивания грунта.

К основным климатическим характеристикам, влияющими на процесс протаивания грунтов, исследователи относят: температуру воздуха, солнечную

радиацию, высоту снежного покрова, а также рельеф местности, состав и влажность грунтов.

**Оценка влияния различных климатических факторов на процесс протаивания грунта.** Для расчета глубины протаивания грунта применена методика расчета глубины протаивания В.В. Докучаева, И.А. Золотаря, В.Т. Балобаева, так как она учитывает наиболее важные составляющие теплового баланса, такие как радиационный баланс  $R$ , затраты тепла на испарение  $LE$ , температуру грунта и воздуха, коэффициент теплообмена между атмосферой и поверхностью грунта.

Оценка влияния снежного покрова на протаивание грунта. Глубина протаивания рассчитывалась по формуле [79]:

$$\frac{\lambda_T}{Q_3} \cdot t' \cdot \tau = \frac{\lambda_T}{\alpha_k} h + \frac{h^2}{2} \quad (2.1)$$

где

$$t' = t + \frac{R - LE}{\alpha_k} \quad Q_3 = L \cdot g \cdot \left( \frac{W - W_H}{100} \right) \quad (2.2)$$

Здесь:  $Q_3$  – количество теплоты, проходящее через поверхность грунта;  $t$  – средняя температура воздуха;  $R$  – радиационный баланс;  $LE$  – величина испарения;  $\alpha_k$  – коэффициент конвективного теплообмена;  $\lambda_T$  – коэффициент теплопроводности грунта;  $\tau$  – расчетный период (время);  $L$  – теплота фазового перехода;  $g$  – объемный вес;  $W$  – влажность;  $W_H$  – влажность, соответствующая содержанию не замерзшей воды.

Исходными данными для численного эксперимента послужили данные наблюдений местности и табличные данные [76].

На рис. 2.1 представлены результаты вычислительного эксперимента, показывающие влияние снежного покрова на глубину протаивания при одинаковых значениях радиационного баланса.

Наличие снежного покрова на объекте понижает температуру грунта и соответственно уменьшается глубина протаивания грунта. Из графика видно, что наличие снежного покрова в течении пяти месяцев уменьшает глубину протаивания на 39,4% (на 130 см.).

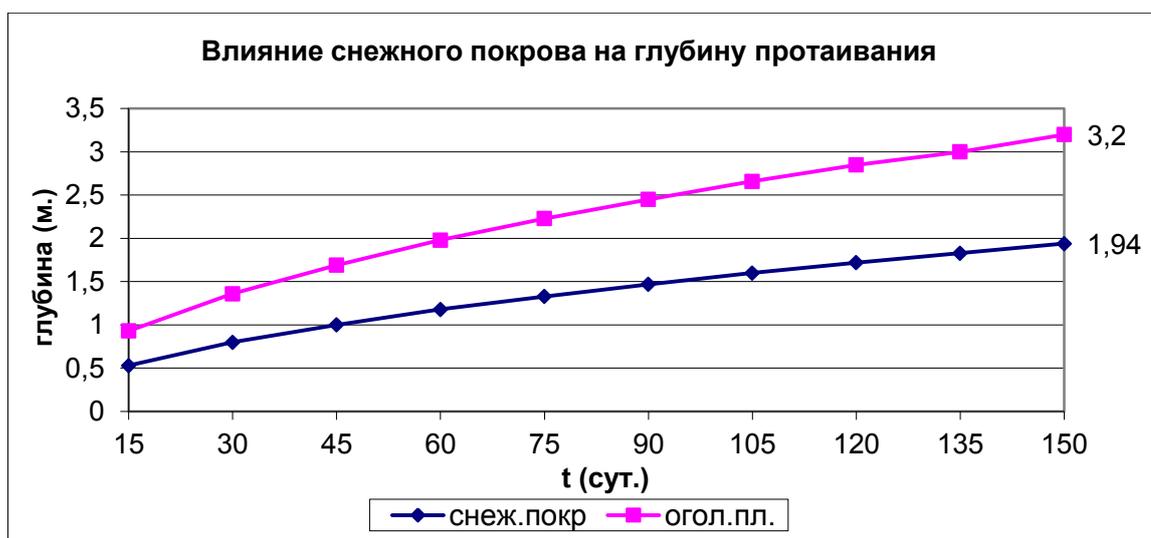


Рис. 2.1. Влияние снежного покрова на глубину протаивания

Для оценки влияния растительного покрова на глубину протаивания грунта за коэффициент теплопроводности покрова приняты следующие варианты значения: 0,64; 0,38; 0,27; 0,2 ( $\lambda_T = 1,91$  ккал/ м·град·час — коэффициент теплопроводности грунта).

Исходными данными для численного эксперимента послужили данные предыдущего примера.

Исходя из данных численного эксперимента и данных наблюдений по влиянию растительного покрова на температурный режим грунтов можно сделать следующие выводы:

1. растительный покров уменьшает глубину протаивания по сравнению с оголенной площадкой. Глубина протаивания уменьшилась по сравнению с оголенной площадкой на 55,5% и 68,31% (когда коэффициент теплопроводности растительного покрова принято меньшим в 5 и 9 раз соответственно).

2. совместное действие снежного и растительного покрова также способствует уменьшению глубины протаивания. Глубина протаивания уменьшилась на 58,76% и 71,64% (когда коэффициент теплопроводности принято меньшим в 5 и 9 раз соответственно).

**Влияние рельефа** на глубину протаивания грунта. Результаты предыдущих расчетов принимались как результаты для горизонтальной поверхности.

Для горизонтальной поверхности при таких исходных данных по формуле (2.1) глубина протаивания достигала 3,2 метров для оголенной площадки и 1,94 метра для площадки со снежным покровом. Если бы горизонтальная поверхность была покрыта растительным покровом, то глубина протаивания достигла бы 1,36 метров для оголенной площадки и 0,8 метра для площадки со снежным покровом.

Согласно экспериментальных данных [92] следует, что для склонов с уклоном  $\approx 40^\circ$ , радиационный баланс на 30% больше, чем горизонтальной поверхности. Используя эти экспериментальные данные можно рассчитать глубину протаивание для склонов  $\approx 40^\circ$ , используя формулы расчета для

горизонтальной поверхности с учетом на 30% больше радиационного баланса т.е.  $R = 149,5$  вместо  $R = 115$ . Расчеты показали, что глубина протаивания равнялась 3,68 метров для оголенной поверхности и 2,35 метров для площадки со снежным покровом при значении радиационного баланса, равном  $R=88,4$  вместо  $R = 65$ . Если склон покрыт растительным покровом, то соответственно глубина протаивания при значении радиационного баланса, равном  $R=149,5$  будет достигать 1,57 м. и 0,98 м. при значении радиационного баланса, равном  $R=88,4$ .

В горной местности глубина протаивания будет разной для склонов с различной ориентацией и формой, вследствие неравномерного притока солнечной радиации и распределения снежной массы.

Затраты тепла на испарение зависят от геофизических свойств местности, ее увлажнения, от географического положения, состояния атмосферы и характера растительного покрова.

**Оценка влияние затрат тепла на испарение на глубину протаивания грунта.** Для расчета использовались характеристики предыдущего объекта и методика расчета.

На рис. 2.2 представлены результаты численного эксперимента по выявлению влияния изменения затрат теплоты на испарения, на глубину таяния для оголенной поверхности. Как видно из графика уменьшение затрат тепла на испарение (изоляция) приводит к увеличению глубины таяния.

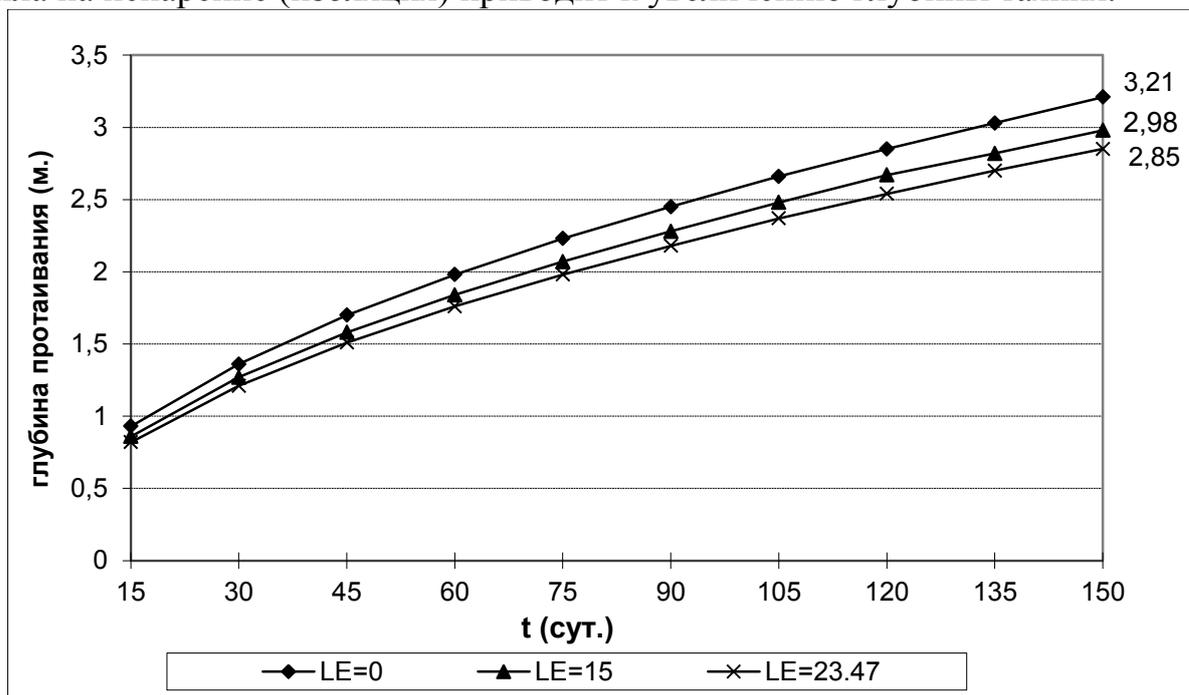


Рис. 2.2. Влияние затрат тепла на испарение на глубину протаивания

В предельном случае при  $LE = 0$ , которая соответствует значению затрат тепла на испарение при пленочной изоляции глубина таяния за сезон достигает до 3.21м

Результаты расчетов показали, что:

- наличие пленочной изоляции увеличивает глубину протаивания грунта, по сравнению с площадкой без пленки.
- если поверхность покрыта растительным покровом, глубина протаивания достигает 1,8 м. (при значении  $\lambda_T=0,64$ ) и 1,36 м (при значении  $\lambda_T= 0,38$ ). Это подтверждается сравнением результатов, полученных другими учеными [96].
- Если рассматривать данную поверхность со снежным покровом, то в этом случае протаивание грунта достигнет 1,94 м. Анализ разных случаев для грунта показывает, что наименьшая глубина протаивания достигается в случае совместного действия снежного и растительного покрова.

Проведены вычислительные эксперименты для выявления степени влияния влажности грунта на глубину протаивания мерзлого грунта.

На рис. 2.3 показаны результаты расчета, показывающие влияние влажности на глубину таяния. Как видно из графика увеличение влажности грунта приводит к замедлению таяния. Это объясняется большей теплоемкостью влажного грунта, чем сухой грунт. Расчеты проводились по формулам (2.1) и (2.2).

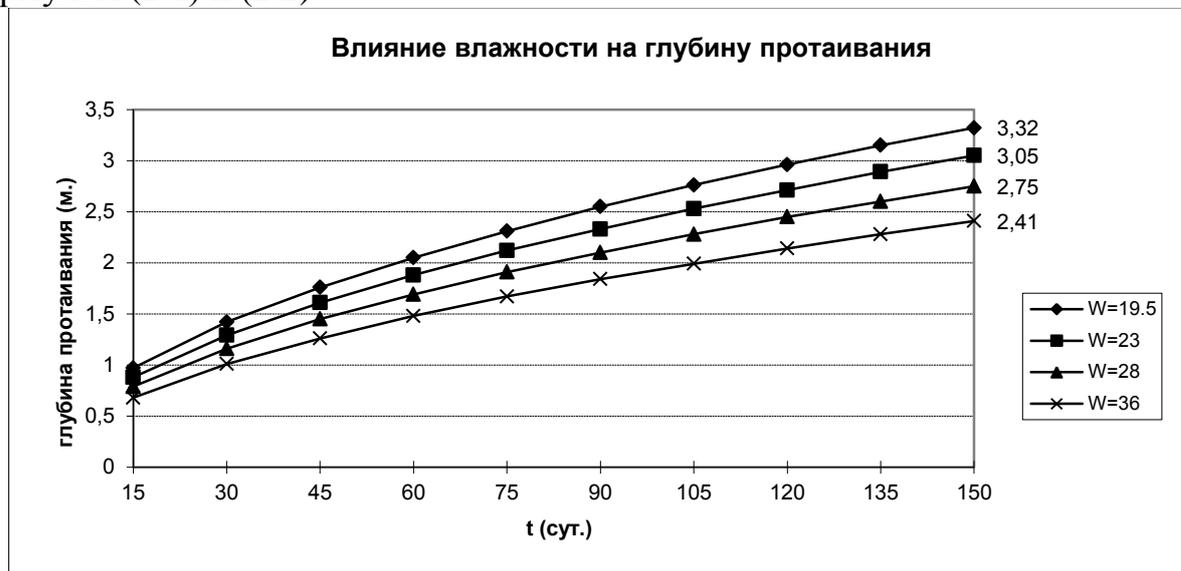


Рис. 2.3. Влияние влажности на глубину протаивания мерзлого грунта для оголенной поверхности.

Анализ результатов расчета показывает, что увеличение влажности грунта приводит к уменьшению глубины протаивания. Теплоемкость влажной почвы всегда выше теплоемкости сухой почвы. Поэтому влажные почвы медленнее нагреваются, чем сухие, и более медленно охлаждаются.

Увеличение влажности грунта влияет на теплофизические характеристики грунта, так как при этом изменяется не только масса грунта, но и в связи с тем, что вода заполняет самые мелкие поры, увеличивается плотность и значительно улучшается теплопередача. Такая закономерность прослеживается и в экспериментальных данных.

**В третьей главе** выполнены исследования температурных полей отхода комбината, отложенные в виде пульпы на дне хвостохранилища, основания хвостохранилища и тела плотины для изучения глубины таяния мерзлого грунта и их взаимовлияния в зависимости от температуры воды в пруде.

Исследование температурного режима хвостохранилища проведена по следующей схеме: вначале исследуется температурный режим хвостохранилища как водоем, образованный на мерзлом грунте. Затем случай когда основание хвостохранилища и верхний бьеф тела плотины покрыты пленкой, затем случай когда основание водоема подстилан отходами фабрики в виде пульпы различной высоты.

Современные требования к качеству математических расчётов, а также к программному обеспечению с каждым годом возрастает. В наших исследованиях были использованы вычислительные эксперименты с

использованием табличного процессора Microsoft Excel, а также программный комплекс Comsol Multiphysics 3.5.

**Методика исследования.** В известных работах ученых А.И. Воейкова, В.Н. Будыко, Г.М. Фельдмана, Н.А. Цытовича, А.В. Павлова процесс теплопереноса в мерзлом грунте моделируется как перенос тепла в сплошной среде без учета фазового перехода.

Поскольку в начальный момент грунт под основанием считается мерзлым, то теплоперенос в этой среде моделируется уравнением

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right), \quad (3.1)$$

начальными условиями при  $t=0, T(0,x,y) = T_i = \text{const}, (x,y) \in D_1$ .  
и граничными условиями:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0, (x, y) \in \Gamma_1, \Gamma_3, \Gamma_{11};$$

$$T_r = -2^\circ \text{C}, x \in \Gamma_2;$$

$$T_r = T_e = 4^\circ \text{C}, (x, y) \in \Gamma_4, \Gamma_6; \quad (3.2)$$

$$T_r = 8^\circ \text{C}, (x, y) \in \Gamma_7, \Gamma_{9,8,10}.$$

Как следует из технического отчета [71] по руднику, дамба хвостохранилища была запроектирована и сооружена с целью урегулирования условий вечной мерзлоты на руднике и согласно стандартам по сейсмической активности в регионе. Дамба хвостохранилища состоит из утрамбованного заполнителя длиной приблизительно три километра. Ширина гребня дамбы составляет десять метров, а боковые откосы составляют приблизительно 3 по горизонтали и 1 по вертикали (3H:1V).

**1. Исследование температурного режима основание водоема, расположенного в зоне вечной мерзлоты.** Для материала дамбы использовались теплофизические характеристики гравийного наполнителя: коэффициент теплопроводности =  $0,4 \div 0,93$  Вт/(м\*град), плотность =  $1850$  кг/м<sup>3</sup>, теплоемкость =  $850$  Дж/(кг\*град). (область 1 на рис. 3.2). Размеры дамбы также приближены к реальным данным.

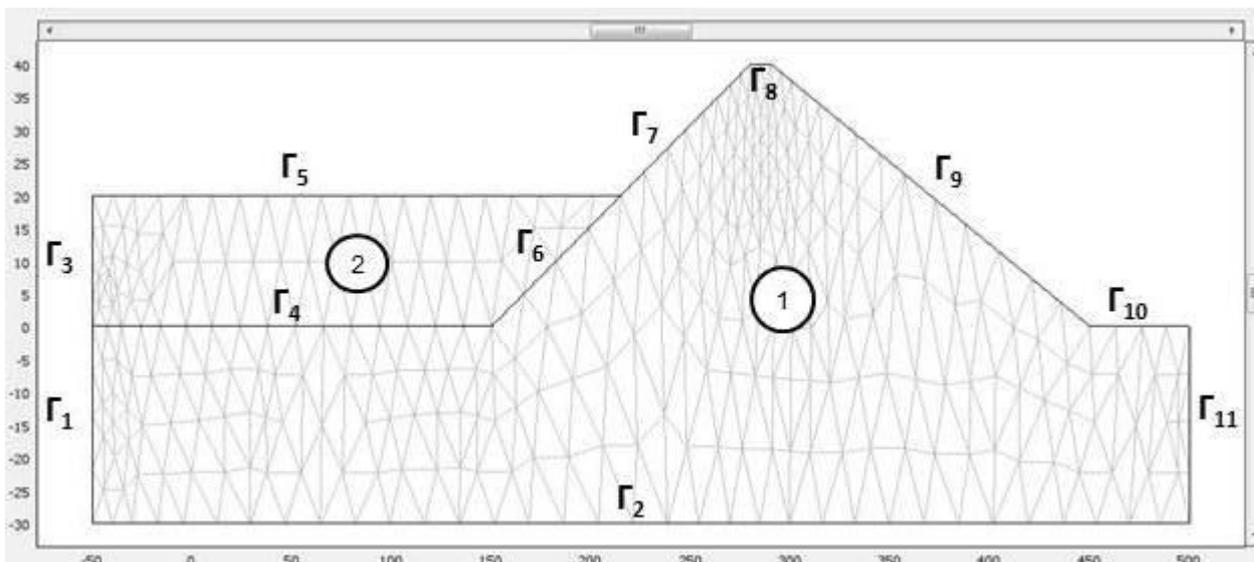


Рис. 3.2. Разбивка области на конечные элементы

Для области 2 использовались теплофизические характеристики воды: коэффициент теплопроводности =  $0,57 \text{ Вт/(м*град)}$ , плотность =  $1000 \text{ кг/м}^3$ , теплоемкость =  $4204 \text{ Дж/(кг*град)}$ . Начальную температуру области дамбы и основание водоема равной  $0^\circ\text{C}$ , а для температуру воды равной  $+4^\circ\text{C}$ . Расчеты проводились на основе математической модели (3.1), (3.2) с помощью программы COMSOL методом конечных элементов (МКЭ). Область представляет собой прямоугольную форму размера  $70 \times 500 \text{ м}$ . Уровень воды в пруду считалась равной  $20 \text{ м}$ .

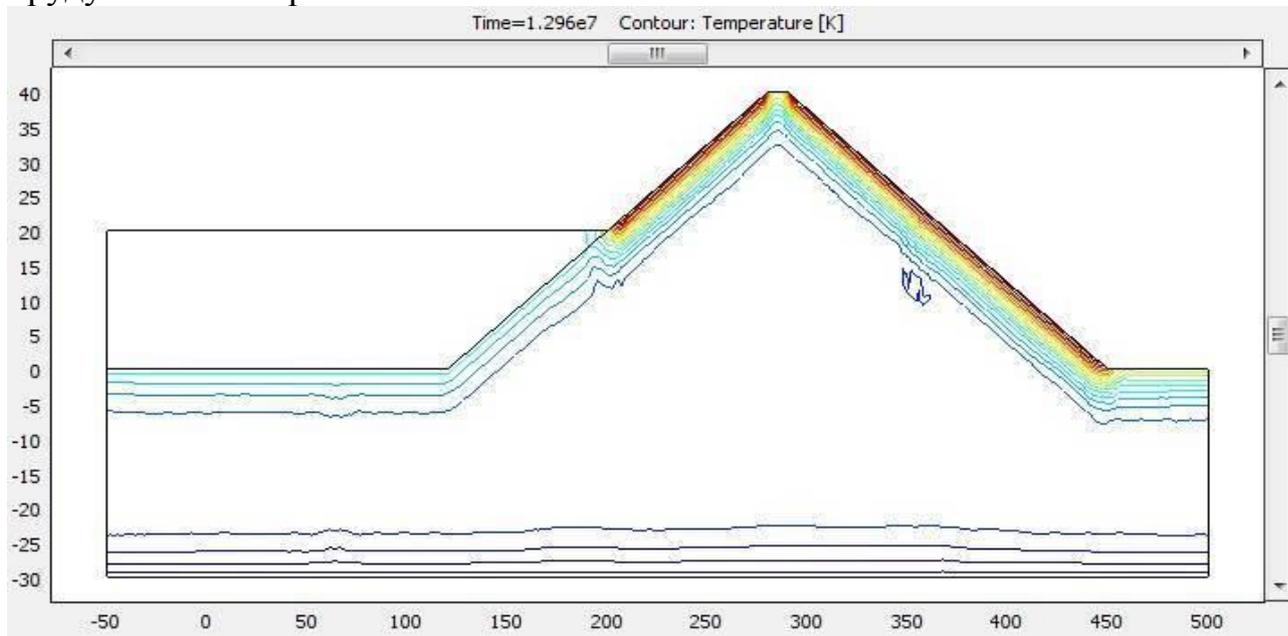


Рис. 3.3. Поле градиента температуры

Для исследования взаимовлияния температуры воды в пруду и основания тела дамбы был проведен численный эксперимент (рис. 3.3.): начальное температурное поле основания дамбы была принята равной от  $0$  до  $-2^\circ\text{C}$ . В качестве граничного условия для водоема принимались различные значения температуры воды в пруду ( $+2^\circ\text{C}$ ,  $+4^\circ\text{C}$  и  $+6^\circ\text{C}$ ). Расчеты проводились в течении 5 месяцев.

## Расчет при разных начальных значениях температуры воды в пруду

При температуре воды в пруду, равном  $+2^{\circ}\text{C}$ , плюсовая температура распространилась от дна водохранилища  $\Gamma_4$  примерно до 3,0 метров (за 5 месяцев), а на верхнем бьефе  $\Gamma_7$ , граничащее с атмосферой, температура которой принималась равной  $8^{\circ}\text{C}$  доходило до 7,2 м., также на верхнем бьефе  $\Gamma_6$ , граничащей с водоемом плюсовая температура дошла до 3,8 м., на гребне плотины границе  $\Gamma_8$  плюсовая температура распространилась до 6,5 м. Температура окружающей среды принималась равной  $T = 8^{\circ}\text{C}$ . (при значении коэффициента теплопроводности грунта дамбы, равном  $0,93 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{град})$ ).

Расчеты по аналитическим формулам во второй главе за такой же период времени дают похожие результаты. Для горизонтальной поверхности при таких исходных данных по формуле (2) глубина протаивания достигала 3,2 метров для оголенной площадки, для откоса с уклоном при значении радиационного баланса, равном  $R=149,5$  глубину протаивания была равной 3,68 метров. Разница между результатами, полученными при использовании аналитической формулы и программного комплекса не превышает 3-6%.

Результаты расчета при других значениях температуры воды в пруду показаны на рис. 3.4 и 3.5.

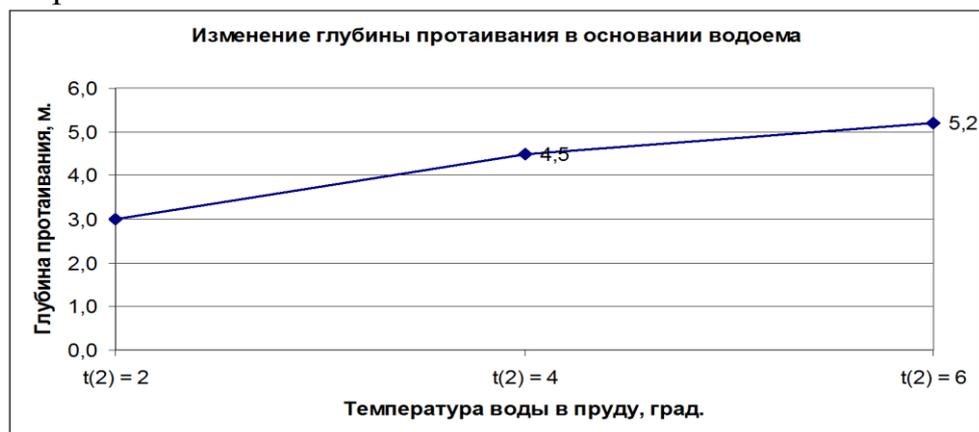


Рис. 3.4. Результаты численного эксперимента при различных начальных значениях температуры воды для основания водоема



Рис. 3.5. Результаты численного эксперимента при различных начальных значениях температуры воды для бокового откоса

Результаты расчетов показывают, что для основания дамбы (для границы  $\Gamma_4$ ) увеличение начальной температуры воды в пруду на  $2^\circ$  ( $+4^\circ\text{C}$ ), приводит к увеличению глубины протаивания на 46,7% (4,4м.). Последующее увеличение температуры воды в пруду на  $2^\circ$  ( $+6^\circ$ ) приводит к увеличению глубины протаивания на 18,2% (5,2м.) за 5 месяцев.

Для верхнего бьефа, граничащее с водоемом (для границы  $\Gamma_6$ ) увеличение первоначальной температуры воды в пруду на  $2^\circ$  ( $+4^\circ\text{C}$ ) приводит к увеличению глубины протаивания на 36,8% (5,2м.) Последующее увеличение температуры на  $2^\circ$  ( $+6^\circ$ ) для этой границы приводит к увеличению глубины протаивания до 5,9м. в течении расчетного времени равной 5 месяцам теплосезонного периода.

**2. Исследование температурного режима основание хвостохранилища под влиянием пленочного покрытия.** Пленка покрывает мерзлую породу для того, чтобы вода с цианидами в пруду не просочилась через основание и сквозь тело дамбы. Чтобы учесть влияние пленки на глубину протаивания на соответствующих границах ( $\Gamma_4$ ,  $\Gamma_6$  и  $\Gamma_7$ ) использовалась граничное условие третьего рода.

$$q|_w = \alpha(T_f - T_w) \quad (3.3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;  $T_f$  – температура флюида;  $T_w$  – температура поверхности тела.

Коэффициент теплоотдачи находят экспериментально. Так, для условий свободной конвекции воздуха:  $5 \leq \alpha \leq 25$  (Вт/м<sup>2</sup>К), воды:  $20 \leq \alpha \leq 100$  (Вт/м<sup>2</sup>К).

Для исследования взаимовлияния высоты воды в пруду и основания тела дамбы при наличии на границах пленочной изоляции был проведен численный эксперимент при следующих условиях, что начальное температурное поле основания дамбы была принята как предыдущем случае. Для исследования влияния температура воды в пруду было принято равным  $+2^\circ\text{C}$ ,  $+4^\circ\text{C}$  и  $+6^\circ\text{C}$  и для каждого случая проводились расчеты.

Результаты расчета при температуре воды в пруду равной  $+2^\circ\text{C}$ . плюсовая температура распространилась от дна пруда  $\Gamma_4$  примерно на 3 метра, на верхнем бьефе, граничащей с водоемом  $\Gamma_6$  плюсовая температура дошла до 3,9 м., на верхнем бьефе, граничащей с атмосферой температура, которой принималась равной  $+8^\circ\text{C}$   $\Gamma_7$  плюсовая температура распространилась до 7,8 м.

Расчеты показывают, что за короткий срок влияние пленочной изоляции довольно заметно. За большой период времени (5 месяцев) влияние пленочной изоляции на температурный режим дамбы почти сводится к минимуму. Это подтверждается также результатами других исследователей [115].

Анализ результатов численного эксперимента показывает, что:

1. увеличение температуры воды в пруду без учета пленочного покрытия приводит к увеличению глубины протаивания на границах, имеющих соприкосновение с областью воды:

а) для основания водоема

- увеличение температуры воды в 2 раза приводит к увеличению глубины протаивания на 46,7% (от начального значения температуры воды 2°C);
- увеличение температуры воды в 3 раза приводит к увеличению глубины протаивания на 73,3% (от начального значения температуры воды, равной 2°C);

а) для бокового откоса, граничащего с водой

- увеличение температуры воды в 2 раза приводит к увеличению глубины протаивания на 36,8% (от начального значения температуры воды, равной 2°C);
- увеличение температуры воды в 3 раза приводит к увеличению глубины протаивания на 55,3%;

### 3. Расчет взаимовлияния температурных полей пульпы и основания дамбы с учетом температуры пульпы.

Под влиянием положительной температуры придонного слоя воды требуется построить температурное поле в двухслойной среде, состоящей из слоя пульпы и мерзлого грунта. Затем произвести расчеты при различных значениях начальной температуры пульпы и температуры грунта основания хвостохранилища. Схематически расчетная область представлена на рис. 3.6.

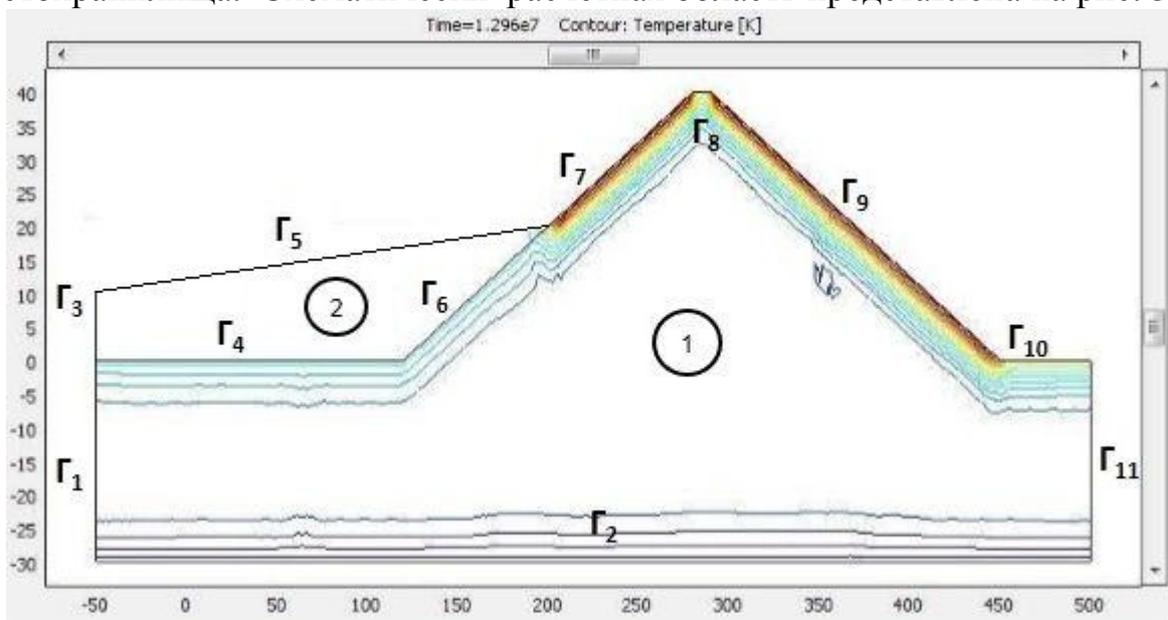


Рис. 3.6. Расчетная область модели

В данном расчете рассматривается перенос тепла отдельно для зоны отложения пульпы и отдельно для зоны грунта основания хвостохранилища, а на стыке границ области ставится условие непрерывности температуры грунта. Математическая модель приведена ниже.

$$C_{II} \rho_{II} \frac{\partial T_{II}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_{II} \frac{\partial T_{II}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_{II} \frac{\partial T_{II}}{\partial y} \right) \quad (3.4)$$

$$C_{\Gamma} \rho_{\Gamma} \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_{\Gamma} \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_{\Gamma} \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial y} \right) \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \text{Начальное условие} \quad T_{\Pi}(x,y,0) &= T_{\Pi 0} & (x,y) \in D_2 \\ T(x,y,0) &= T_{\Gamma}, & (x,y) \in D_1 \end{aligned}$$

И граничными условиями

$$\lambda \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial t} = 0 \quad (x,y) \in \Gamma_1, \Gamma_3, \Gamma_{11} \quad (3.6)$$

$$T_{\Gamma}(x, y, t) = -2^{\circ} C \quad (x, y) \in \Gamma_2 \quad (3.7)$$

$$T_{\Gamma}(x, y, t) = +4^{\circ} C \quad (x, y) \in \Gamma_5 \quad (3.8)$$

$$T_{\Gamma}(x, y) = T_2(x, y) \quad (x, y) \in \Gamma_4, \Gamma_6 \quad (3.9)$$

$$T_{\Gamma}(x, y, t) = +8^{\circ} C \quad (x, y) \in \Gamma_7, \Gamma_{9,8,10} \quad (3.10)$$

$$T_{\Gamma}(x, y, 0) = om - 2^{\circ} \partial o 0 \quad (x, y) \in D_1 \quad (3.11)$$

$$T_{\Pi}(x, y, 0) = 2^{\circ} C \quad (x, y) \in D_2 \quad (3.12)$$

Область представляет собой форму размерами 70x500 м, глубина под основанием хвостохранилища составляет 30 м., высота отложения пульпы и воды в пруде принята в разных вариантах (5м., 10м., 15м., 20м. и 25 м.). На границах двух сред ставится условие непрерывности температуры ( $\Gamma_4, \Gamma_6$ ), на боковых границах области ставится условие отсутствия теплового потока ( $\Gamma_1, \Gamma_3, \Gamma_{11}$ ), на дне хвостохранилища температура воды  $+4^{\circ}C$  ( $\Gamma_5$ ), на границах ( $\Gamma_7, \Gamma_9, \Gamma_8, \Gamma_{10}$ ) значение температуры, равной  $+8^{\circ}C$ , а на глубине 30 м. от основания хвостохранилища ставится условие вечной мерзлоты ( $\Gamma_2$ ). Численная реализация данной математической модели выполнена в пакете Comsol Multiphysics. В проведенном численном эксперименте физические свойства грунтов учитывались в следующем образом: тело дамбы состоит из гравийного наполнителя, коэффициент теплопроводности =  $0,4 \div 0,93$  Вт/(м\*град), плотность =  $1850$  кг/м<sup>3</sup>, теплоемкость =  $850$  Дж/(кг\*град). В следующих расчетах за коэффициент теплопроводности грунта тела дамбы мы взяли среднее значение, равное  $0,93$  Вт/(м\*град). Физические свойства пульпы принимались как усредненное значение физических свойств шлака, коэффициент теплопроводности =  $0,29$  Вт/(м\*град), плотность =  $1000$  кг/м<sup>3</sup>, теплоемкость =  $700$  Дж/(кг\*град). Из источников известно, что в отличие от сухого грунта влажный грунт имеет коэффициент теплопроводности в 4-5 раз большее значение. Так как пульпа поступает в виде жидкой массы, мы для пульпы примем значение, равное  $1,5$  Вт/(м\*град). Теплофизические характеристики грунтов взяты из известных табличных данных. Область  $D_2$  представляет собой область отложения пульпы.

Для исследования взаимовлияния температурных полей пульпы и основания хвостохранилища проведен следующий численный эксперимент.

1. Проведено вычисление поля температуры грунта области в самом начале, когда еще нет поступления пульпы, а начальное значение температуры грунта области была равна 0. Температура на боковых откосах считалась равной  $+8^{\circ}C$ ,

а на дне водоема  $T = 4^{\circ}\text{C}$ .

В этом случае, за пять месяцев (теплосезонный период) плюсовая температура (фронт таяния) была распространена от основания ( $\Gamma_4$ ) на 9,6 метров под воздействием температуры воды (высота пульпы равна 10 м.). На боковом откосе, граничащем с водой ( $\Gamma_6$ ) глубина протаивания достигла 10,1 м. На боковом откосе ( $\Gamma_7$ ) глубина протаивания достигла отметки в 11,0 м.

Этот же расчет в случае, когда начальное значение температуры основания дамбы была принята равной от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$  ), а начальное значение температуры воды было принято равным  $+2^{\circ}\text{C}$  ,  $+4^{\circ}\text{C}$  и  $+6^{\circ}\text{C}$  дает следующие результаты: для случая, когда температура воды была равна  $+2^{\circ}\text{C}$  за пять месяцев (теплосезонный период) плюсовая температура (фронт таяния) была распространена от основания ( $\Gamma_4$ ) на 3,0 метров под воздействием температуры воды (высота воды в пруду равна 10 м.). На боковом откосе ( $\Gamma_7$ ) глубина протаивания достигла 7,2 м.

Когда температура воды была  $+4^{\circ}\text{C}$  плюсовая температура (фронт таяния) была распространена от основания ( $\Gamma_4$ ) на 4,4 метров, а боковом откосе, граничащем с водой ( $\Gamma_6$ ) глубина протаивания достигла 5,2 м.

При температуре воды  $+6^{\circ}\text{C}$  плюсовая температура (фронт таяния) была распространена от основания ( $\Gamma_4$ ) на 5,2 метров, а боковом откосе, граничащем с водой ( $\Gamma_6$ ) глубина протаивания достигла 5,9 м.

Для исследования взаимовлияния температуры воды, пульпы и основания хвостохранилища на процесс таяния мерзлого основания были проведены численные расчеты при следующих предположениях:

- а) высота отложения пульпы варьировалась в пределах от 5м. до 25 м.;
- б) начальное значение температуры пульпы равно  $+2^{\circ}\text{C}$  ,  $+4^{\circ}\text{C}$  и  $+6^{\circ}\text{C}$ ;
- в) начальное значение температуры основания дамбы было принято равной от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$  (область  $D_1$ ).

### **Расчет при разных начальных значениях температуры пульпы.**

1. начальное значение температуры основания дамбы была принята равной  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$  (область  $D_1$ ), а начальное значение температуры пульпы было принято равным  $+2^{\circ}\text{C}$  ,  $+4^{\circ}\text{C}$  и  $+6^{\circ}\text{C}$  (область  $D_2$ ).

При температуре пульпы, равном  $+2^{\circ}\text{C}$  увеличение высоты отложения пульпы от 5м. до 10м. для границы  $\Gamma_4$  (основание дамбы) приводит к уменьшению глубины протаивания на 20,9% (рис. 3.7.), дальнейшее увеличение высоты отложения пульпы до 15м. приводит к уменьшению глубины протаивания на 5,9% от значения глубины протаивания при высоте пульпы, равном 10м. При дальнейшем увеличении высоты пульпы от 15м. до 25м. значение глубины протаивания при высоте пульпы, равном 15м остается постоянной (3,2 м.).

При температуре пульпы, равном  $+2^{\circ}\text{C}$  увеличение высоты отложения пульпы от 5м. до 10м. для границы  $\Gamma_6$  (боковой откос, граничащий с пульпой) приводит к уменьшению глубины протаивания на 29,8% (4м.), дальнейшее увеличение высоты отложения пульпы до 15м. приводит к уменьшению глубины протаивания на 20,0% от значения глубины протаивания при высоте

пульпы, равном 10м. (3,2м.).

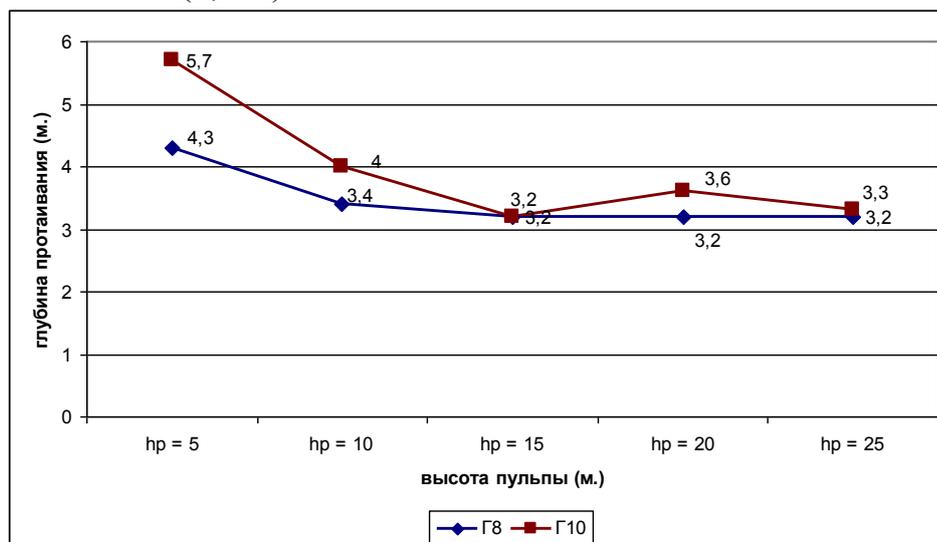


Рис. 3.7. Результаты численного эксперимента при различных значениях высоты пульпы ( $t$  пульпы равна  $2^{\circ}\text{C}$ )

При увеличении высоты пульпы от 15м. до 20м. приводит к увеличению глубины протаивания на 12,5% от значения глубины протаивания при высоте пульпы, равном 15м.(3,6м). При дальнейшем увеличении высоты пульпы от 20м. до 25м. наблюдается уменьшение значения глубины протаивания на 8,3% от значения глубины протаивания при высоте пульпы, равном 20м.(3,3м.)

2. При температуре пульпы, равном  $+6^{\circ}\text{C}$  увеличение высоты отложения пульпы от 5м. до 10м. для границы  $\Gamma_4$  (основание дамбы) приводит к увеличению глубины протаивания на 6,0% (5,3 м.). При увеличении высоты пульпы от 10м. до 15м. наблюдается увеличение значения глубины протаивания на 1,9% от значения глубины протаивания при высоте пульпы, равном 10м. (5,4м.). При дальнейшем увеличении высоты пульпы от 15м. до 25м. значение глубины протаивания при высоте пульпы, равном 15м остается постоянной (5,4 м.).

3. При температуре пульпы, равном  $+4^{\circ}\text{C}$  увеличение высоты отложения пульпы от 5м. до 10м. для границы  $\Gamma_4$  (основание дамбы) приводит к уменьшению глубины протаивания на 2,1%, а для границы  $\Gamma_6$  (боковой откос, граничащий с пульпой) приводит к уменьшению глубины протаивания на 15,5%. При дальнейшем увеличении высоты пульпы от 10м. до 25м. значение глубины протаивания основания хвостохранилища при высоте пульпы, равном 10м остается постоянной (4,6 м.).

Следует отметить, что в начальный период эксплуатации зона оттаивания будет наибольшей, т.е. предельной, так как влияние придонных отложений отходов (пульпа) не учитывалась. В действительности же придонный слой пульпы будет нарастать, и будет оказывать влияние на температурный процесс под основанием водоема. Затем по мере завершения срока эксплуатации зона оттаивания основания водоема будет стягиваться к дневной поверхности, т.к. источник тепла будет удаляться от дневной поверхности с нарастанием мощности намывного слоя.

#### **4. Расчет при разных начальных значениях температуры пульпы с учетом пленочной изоляции**

Вариант расчета, когда начальное значение температуры основания дамбы была принята равной от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$  (область  $D_1$ ), а начальное значение температуры пульпы было принято равным  $+2^{\circ}\text{C}$ ,  $+4^{\circ}\text{C}$  и  $+6^{\circ}\text{C}$

Расчеты показывают, что для обеих границ с увеличением высоты пульпы наблюдается небольшое изменение значений глубины протаивания (от 0,1 м. до 0,3 м.), т.е. наличие пленочной изоляции при больших сроках стабилизирует температурный режим в грунтах.

Увеличение начальной температуры пульпы от  $2^{\circ}\text{C}$  до  $6^{\circ}\text{C}$  при наличии пленочной изоляции на соответствующих границах при большом периоде времени (5 месяцев) стабилизирует процесс теплообмена и имеет одинаковые значения глубины протаивания.

### **ВЫВОДЫ**

Наиболее существенные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Оценены степень влияния ветра, видов покрова и их совместные действия на изменение температурного режима грунта;
2. Складирование отходов в хвостохранилище целесообразно начинать при мерзлом состоянии основания, для того, чтобы не допустить фильтрацию отходов через основание хвостохранилища;
3. увеличение высоты отложения пульпы приводит к уменьшению глубины протаивания основания хвостохранилища и верхнего бьефа, граничащего с пульпой (от 25,6% до 42,1%);
4. расчеты с пленочной изоляцией на границах с увеличением высоты пульпы изменяют значение глубины протаивания в пределах до 9 % (от 0,1 м. до 0,7 м.) от значений глубин протаивания при отсутствии пленочной изоляции;
5. расчеты с пленочной изоляцией показали, что за большой период времени температурный режим почти не изменяется. Пленочное покрытие предохраняет дамбу от воздействия фильтрационных течений, которые влияют на устойчивость сооружений.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Шекеев К.Р. Управление процессом взаимодействия сооружений с мерзлыми грунтами. // Известия КГТУ им. И. Раззакова №30, г. Бишкек, 2013. - С. 183-188.
2. Шекеев К.Р. Влияние влажности на температурный режим грунта. // Наука, новые технологии и инновации №1, г. Бишкек, 2014. – С. 10-12.
3. Шекеев К.Р. Численное моделирование протаивания мерзлого грунта под основанием хвостохранилища. // Известия КГТУ им. И. Раззакова №31, г. Бишкек, 2014. - С. 329-331.
4. Шекеев К.Р. Численное моделирование взаимовлияния температурных полей пульпы и основания хвостохранилища. // Современные проблемы механики сплошных сред № 21, г. Бишкек, 2015. - С. 141-148.
5. Шекеев К.Р. Изучение влияния факторов на глубину промерзания грунта. // Потенциал современной науки №3, г. Липецк, 2016, стр. 45-49.
6. Шекеев К.Р. Влияние вида теплообмена поверхности с окружающей средой на протаивание вечной мерзлоты. // Современная наука. Актуальные проблемы и пути их решения №2 (24), г. Липецк, 2016, стр. 8-11.
7. Шекеев К.Р. Исследование влияния климатических и техногенных факторов на температурный режим грунтов. / Джаманбаев М.Дж. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук №08, г. Москва, 2016, стр. 7-11.
8. Шекеев К.Р. Исследование влияния фильтрационного потока в зоне протаивающих грунтов. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук №1-1, г. Москва, 2017, стр. 30-33.
9. Шекеев К.Р. Оценка степени влияния природных факторов на промерзание грунта. / Джаманбаев М.Дж., Душенова У.Дж. // Известия КГТУ им. И. Раззакова Вып. 2(50), г. Бишкек, 2019. - С. 163-168.

01.02.05 – суюктук, газ жана плазманын механикасы адистиги боюнча физика-математикалык илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденип алуу үчүн Шекеев Кубан Рыспаевичтин «Түбөлүктүү тоңдун шартында жайгашкан курулуштардын температуралык режими» темасындагы диссертациясынын

## КЫСКАЧА КОРУТУНДУСУ

**Негизги сөздөр:** температура, температуралык режим, түбөлүктүү тоң, кар катмары, өсүмдүк катмары, шамал, тоңуу тереңдиги, эрүү тереңдиги, дамба, жер туюккап, жер катмары, жер туюккабынын негизи, каптал жак жантаймасы.

**Изилдөө объектиси болуп** түбөлүктүү тоңдун шартында жайгашкан курулуштардын температуралык абалы эсептелет.

**Изилдөө предмети** болуп сандык үлгүлөөнүн жардамы менен суунун жана пульпанын температураларынын жер туюккабынын температуралык режимине эки жактан бирдей болгон таасир этүүсүн окуп үйрөнүү эсептелет.

**Диссертациянын максаты:** ар түрдүү климаттык жана техногендик факторлордун биргелешип таасир этишинин натыйжасында түбөлүктүү тоңдун шартында жайгашкан геотехникалык курулуштардын температуралык режимин изилдөө.

**Изилдөө ыкмасы:** диссертациялык иште философиялык, теориялык, атайын (сандык үлгүлөө, көп фактордуу анализ) ыкмалар колдонулду.

**Изилдөөнүн илимий жактан жаңычылдыгы:** кар катмарынын, өсүмдүк катмарынын жана аймактын рельефинин жер туюккабынын тоңушуна жана эришине тийгизген таасири изилденди; сандык үлгүлөөнүн жарадамы менен суунун температурасына жараша жер туюккабынын негизинин эриши изилденди; суу өткөрбөгөн жана жылуулук сактоочу пленканын жер туюккабынын негизинин жана абанын температурасы менен суунун температурасынын таасири астында жер туюккабынын каптал жак жантаймасынын эрүү процессине тийгизген таасири изилденди; суунун, пульпанын температурасынын бирдей аракеттенишинин жер туюккабынын негизинин эрүү процессине тийгизген таасири изилденди.

**Колдонуу жааты:** илимий жоболор, алынган жыйынтыктар жана иштелип чыккан методикалар практикалык жана теориялык мааниге ээ, жалпы теориялык жана практикалык деңгээлде илимдин бул жаатындагы кийинки изилдөөлөрдү жүргүзүүгө пайдасын тийгизет, алынган жыйынтыктарды, бүтүмдөрдү жана сунуштарды нормативдик документацияда жана долбоордук ишмердүүлүктө колдонууга болот.

## РЕЗЮМЕ

диссертации Шекеева Кубана Рыспаевича на тему: «Температурный режим сооружений, расположенных в условиях вечной мерзлоты» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

**Ключевые слова:** температура, температурный режим, вечная мерзлота, снежный покров, растительный покров, ветер, глубина промерзания, глубина протаивания, дамба, хвостохранилище, грунт, основание хвостохранилища, боковой откос.

**Объектом исследования** диссертации являются температурный режим сооружений, расположенных в условиях вечной мерзлоты.

**Предметом исследования** является изучение взаимовлияния температуры воды, пульпы на температурный режим хвостохранилища с помощью численного моделирования

**Целью диссертации** является исследование температурного режима геотехнического сооружения, расположенного в условиях вечной мерзлоты, под влиянием совместного действия различных климатических и техногенных факторов.

**Методы исследования:** в диссертационной работе использовались философские, общенаучные, теоретические, специальные (численное моделирование, многофакторный анализ).

**Научная новизна исследования:** изучено влияние снежного, растительного покрова и рельефа местности на промерзание и протаивание тела плотины хвостохранилища; численно исследовано протаивание основание водоема в зависимости от температуры воды; исследовано влияние водонепроницаемой и теплоизоляционной пленки на процесс протаивания основание хвостохранилища и верхнего бьефа тела плотины под влиянием температуры воды в пруде и температуры окружающей среды; исследованы взаимовлияния температуры воды, пульпы на процесс протаивания основание хвостохранилища.

**Область применения:** научные положения, полученные результаты и разработанные методики имеют практическое и теоретическое значение, и могут служить для дальнейших исследований в данной области науки на общетеоретическом и практическом уровнях, сформулированные выводы и предложения могут быть использованы в нормативной документации и проектной деятельности.

## SUMMARY

dissertations of Shekeev Kuban Ryspaevich on the topic: "Temperature regime of structures located in permafrost conditions" for the degree of candidate of physical and mathematical sciences in specialty 01.02.05 - mechanics of liquid, gas and plasma

**Key words:** temperature, temperature regime, permafrost, snow cover, vegetation cover, wind, freezing depth, thawing depth, dam, tailing dump, soil, tailing dump base, side slope.

**The object of research** of the dissertation is structures located in permafrost conditions.

**The subject of the research** is the study of the mutual influence of water temperature, pulp on the temperature regime of the tailing dump using numerical modeling

**The aim of the dissertation** is to study the temperature regime of a geotechnical structure located in permafrost conditions, under the influence of the combined action of various climatic and technogenic factors.

**Research methods:** in the dissertation work, philosophical, general scientific, theoretical, special (numerical modeling, multivariate analysis) were used.

**Scientific novelty of the research:** the influence of snow, vegetation cover and terrain on the freezing and thawing of the body of the tailings dam; the thawing of the base of the reservoir was numerically investigated depending on the temperature of the water; the influence of a waterproof and heat-insulating film on the thawing process of the base of the tailing dump and the upper head of the dam body under the influence of the temperature of the water in the pond and the ambient temperature was investigated; investigated the mutual influences of water temperature, pulp on the thawing process of the tailing dump base.

**Scope:** scientific provisions, the results obtained and the developed methods have practical and theoretical significance, and can serve for further research in this field of science at the general theoretical and practical levels, the formulated conclusions and proposals can be used in normative documentation and project activities.