

# РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ СУРОВОГО КЛИМАТА

текст доклада

М.М.Дубина

**Объект исследований:** система “сооружение - среда” (ССС) в условиях сурового климата.

**Актуальность и тема.** Актуальность проблемы обусловлена необходимостью повышения экономической эффективности хозяйственной деятельности на 50% территории России занимаемой криолитозоной и еще большей части характерной суровыми климатическими условиями.

**Теоретико-практическая проблема:** “Разработка теории количественной оценки и обеспечение параметров устойчивости системы сооружение-среда в условиях сурового климата”

**Прикладная цель:** *Повышение экономической эффективности строительства и эксплуатации сооружений в условиях сурового климата при обеспечении их надежности и безопасности.*

**Способ решения проблемы и достижения прикладной цели:** сокращение форм экспериментального строительства и адаптация проектных решений к локальным условиям площадки строительства за счет применения масштабного комплексного математического моделирования поведения СССР; построение оптимальных конструктивных проектных решений; разработка оптимальных технологий строительства и эксплуатации.

**Определяющие устойчивость СССР особенности:**

- 1) *высокая чувствительность СССР к тепло-массообменным (ТМО) и механическим возмущениям состояния;*
- 2) *активное ТМО и механическое взаимовлияние элементов этой системы: согласованные с термодинамическими условиями фазовые переходы содержащей растворенные водой примеси в грунтах и породах, материалах элементов и конструкций сооружений или в примыкающих к сооружению водных массах; суровый климат;*
- 3) *зависимость механических, тепло-массообменных и электродинамических характеристик грунтов, пород и материалов от структурных и текстурных особенностей включения водной компоненты и её фазового состава, зависящего от химического состава и концентрации примесей;*

Эти особенности являются следствием специфических свойств слабых, в том числе многолетнемерзлых, пород (ММП). В этих грунтах поровая влага существенно влияет на их прочность, а в ММП играет роль цемента. В ММП вода в порах находится одновременно в твердой и жидкой фазах. Баланс масс этих фаз зависит от химической активности минеральной составляющей ММП, структуры пористости, минерализации воды,

температуры и порового давления. Поэтому **любые возмущения термодинамических параметров слабых грунтов и ММП** (напряжений, давления, температуры, объема, концентрации растворенных примесей) **приводят к следующему:**

1) к изменению баланса масс, скелета и фаз воды в порах грунтов и ММП;

2) к тепломассопереносу в ССС;

3) к изменению теплофизических и механических характеристик грунтов и ММП, которые упрочняются с понижением температуры согласно увеличению доли льда в порах;

4) к изменению напряженно-деформированного состояния (НДС) за счет п.3, в т.ч. к объемным деформациям за счет уплотнения при разрушении структуры и скачка плотности при замерзании воды в порах и макрообъемах.

Следствием этих эффектов является перераспределение полей температуры, влажности, концентрации растворенных примесей и НДС в ССС. Поэтому требующими описания процессами взаимодействия элементов в объекте являются: *тепло-массообменные, термомеханические, электродинамические, физико-химические.*

Таким образом, **для решения проблемы обеспечения надежности и эффективности сооружений в условиях сурового климата нужна разработка методов прогноза ТМО и перераспределения НДС в ССС, и, на этой основе, методов управления конструктивными и технологическими параметрами строительства и эксплуатации ССС.**

В этой области в России исследования ведутся начиная от Петра Великого, но наиболее активно с 30-х гг. 20 века, когда началось активное освоение месторождений в районах с суровым климатом.

**Предшественники и коллеги:** Александровский С.В., Бабков В.Ф., Бакакин В.П., Батраков В.Г., Берг О.Я., Березин В.Л., Бондаренко В.М., Бородавкин П.П., Березовский Б. И., Булычев Н.С., Бурштейн Л.С., Васьковский А. П., Велли Ю.Я., Вотяков И.Н., Войтковский К.Ф., Власов О.Е., Вялов С.С., Гольдштейн М.Н., Гончаров Ю.В., Городецкий С.Э., Горчаков Г.И., Гречищев С.Е., Григорян С.С., Грязнов Г.С., Далматов Б.И., Дворкин Л.И., Добрецов В.Б., Дегтярев Б.В., Добшиц Л.М., Докучаев В.В., Докучаев В.И., Дульнев Г.Н., Дядькин Ю.Д., Еленевский В.В., Железняк И.И., Зарецкий Ю.К., Зильберборд А.Ф., Иванников С.М., Иванов Н.С., Ильичев В.А., Изаксон В.Ю., Истомин В.А., Казарновский В.Д., Капкин М.М., Комзина А.А., Коновалов А.А., Кузнецов И.К., Кунцевич О.В., Кутвицкая Н.Б., Красовицкий Б.А., Ливчак Т.Н., Макаров В.И., Малков Е.Н., Марамзин А.В.;

Медведский Р.И., Минкин М.А., Миронов С.А., Могилевский Д.А., Москвин В.М., Насонов И.Д., Низовкин Г.А., Новиков Ф.Я., Орлов В.О., Петров Е.Е., Пехович А.И., Порхаев Г.В., Роман Л.Т., Ржевский В.В., Савельев Б.А., Савицкий А.Н., Скуба В.Н., Смирнов А.С., Стригоцкий С.В., Субботин М.И., Сумгин М.И., Тимофеева Л.М., Трупаков Н.Г., Ухов С.Б., Филиппов Г.С., Фотиева Н.Н., Фролов А.Д., Хрусталева Л.Н., Цытович Н.А., Чабан П.Д., Шестоперов С.В., Шейкин А.Е., Шувалов Ю.В., Щербань А.Н. и др.

**Большой вклад в решение проблемы внесли следующие организации:** МГУ; СО РАН (ИМЗ, ИКЗ, ИФТПС и ИГДС); НИИОСП; ПНИИС; ВНИИСТ; ФУНДАМЕНТПРОЕКТ; НИИЖБ; ЦНИИСК; ЛИСИ; МИСИ; СИБСТРИН; НИИЖТ; СОЮЗДОРНИИ; РОСДОРНИИ; ТомскГАСУ; ПермГТУ и т.д.

Как показала практика, **нагружение сооружений и опасность для них возникает при неравномерных осадках грунтов, в т.ч. при протаивании ММП вокруг сооружений, а также при замерзании талых пород или водосодержащих масс и материалов, контактирующих с элементами сооружений или в их элементах.**

Таким воздействиям подвергаются следующие виды сооружений:

Здания промышленного и гражданского назначения, шахтные стволы и выработки, поверхностные сооружения технологического комплекса, скважины и приустьевые сооружения, линейные сооружения (трубопроводы, плотины, дамбы), водопропуски, конуса мостовых переходов, отдельные опоры различного назначения.

Нарушения нормативных условий существования ССС проявляются в следующем:

- 1) в нарушении устойчивости стенок иссушаемых, замачиваемых или тепловыделяющих открытых и подземных выработок и их крепи, склонов и откосов, в т. ч. и при оттаивании ММП;
- 2) в виде неравномерных осадков при структурных нарушениях под нагрузкой, замачивании, иссушении и оттаивании мерзлых оснований, ведущих к нарушениям поверхностных сооружений;
- 3) в виде выпучивания замокающих, промерзающих после оттаивания или исходно талых стенок выработок и оснований сооружений, бортов карьеров и породных элементов сооружений;
- 4) в виде возникновения морозной деструкции или крионапора, когда замерзает поровая вода или водосодержащая масса, контактирующая с сооружением или в его элементах;
- 5) в виде проявления следствий предыдущих пп1-4.

Нами **разрабатываются математические модели термомеханического поведения ССС, методы решения и**

*соответствующие программные средства для ПЭВМ адекватных краевых задач математической физики.*

*Модели используются для следующего: 1) для прогноза поведения ССС в условиях сурового климата и в криолитозоне; 2) для разработки методов расчета параметров мер и средств управления таким поведением; 3) для проектирования при строительстве новых и ремонте и реконструкции эксплуатируемых сооружений.*

**В моделях учитываются следующие факторы:**

- 1) зависимость термомеханических характеристик грунтов и ММП от структурных особенностей грунта и фазового состава содержащей растворенные примеси поровой влаги;
- 2) упругий, пластический или реологический характер деформирования материалов конструкций, грунтов и ММП (с учетом микроповреждаемости и залечивания повреждений, дилатансии, различий сопротивления нагрузкам разного знака, деформирования на запредельной ветви диаграммы нагружения);
- 3) в необходимых случаях, взаимовлияние ТМО и НДС и фильтрационный перенос поровой влаги с растворенными примесями при наличии её фазовых переходов.

## ПЕРЕЧЕНЬ РЕШАЕМЫХ ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ

**1. Прогноз НДС заглубленных и подземных сооружений в ММП и оптимизация их крепления, теплофизических параметров и теплового режима.**

Лист1-2(Форм). Общие интегралы. Квазистатистический подход.

Лист3(Форм). Уравнения термопластичности в скоростях.

Лист4(Форм). Схема задачи устойчивости ствола.

Лист5(Форм). Зависимость радиуса каверн от глубины при разных радиусах протаивания вокруг неподкрепленного ствола.

Лист6(Прзр). Зависимость давления на крепь при разных радиусах оттаивания и глубинах (3 рисунка).

Лист7(Прзр). Сопоставление эксперимента и расчета на ползучесть (2 рисунка).

Лист8(Прзр). НДС вокруг круговых выработок.

Лист9(Прзр). НДС вокруг прямоугольных выработок.

Для случаев осевой и центральной симметрии *получены общие интегралы деформационной теории термопластичности*, выражающие решение в области пластических деформаций через две постоянные интегрирования подобно решению Ляме-Гадолина. Построены решения задач устойчивости тепловыделяющих полостей в ММП с круговой формой

поперечного сечения и классическими условиями текучести типа Шлейхера-Мизеса.

Формирование границы пластических деформаций пород и нагрузок на крепь в зависимости от глубины и радиуса протаивания приведены на Рис. Сравнение с натурными данными коллег из ИГД и ИГДС СО РАН, ТЮМЕННИИГИПРОГАЗ, ВНИИГАЗ по устойчивости выработок и скважин показывают, что расчет по полученным нами формулам величин перемещений и давления на крепь дает оценку сверху с запасом до 20%.

Для учета реальной геометрии сооружений и реальных, описанных выше, особенностей термомеханического поведения ММП построен ряд моделей для решения многомерных задач ТМО и НДС для ССС. Построен соответствующий вычислительный комплекс численного решения граничных задач теории термопластичности. На Рис. представлены уравнения постановок граничных задач и примеры расчета НДС. Анализ данных вычислительного эксперимента показал следующее.

1. Без развития ореола протаивания увеличение расстояния между выработками свыше 5-7 максимальных размеров поперечного сечения выработок приводит к их обособленному деформированию;
2. При развитии ореолов оттаивания ММП вокруг сближенных выработок до 7-10 размеров максимального поперечного сечения выработок, НДС достигает своего максимума, а затем снижается до асимптотического уровня, соответствующего ситуации полностью протаявшего массива пород.

## ВЫВОДЫ.

1. Разработан вычислительный комплекс для ПЭВМ решения задач прогноза НДС тепловыделяющих заглубленных и подземных сооружений в ММП и оптимизации их крепления, теплофизических параметров и теплового режима.

2. Вычислительным экспериментом выявлены особенности развития НДС во времени, которые позволяют назначить меры повышения устойчивости выработок и рассчитать значения соответствующих параметров температурного режима, теплоизоляции, хладозарядки и крепления.

*Обобщенные результаты опубликованы в [1-4,9-12] и использованы для выполнения работ по госзаказам и хоздоговорам.*

*Результаты исследований по теме использованы при защите 3-х кандидатских и 3-х докторских диссертаций.*

## **2. Расчет и предупреждение опасности проявлений крионапора и ледообразования в замкнутых объемах (ЛЗО) для ССС и её элементов.**

Лист 10(Форм). Моделирование НДС при ЛЗО.

Лист 11(Форм). Уругопластическая модель ЛЗО.

Лист 12(Форм). Максимальные давления ЛЗО.

Лист 13(Прзр). Расчеты по упругопластической модели с ФДЛО.

Лист 14(Прзр). Сравнение с экспериментом.

Лист 15(Прзр). Переходный режим.

ЛЗО может приводить к смятиям и разрывам обсадных колонн скважин, разрывам трубопроводов и резервуаров, разрушениям элементов конструкций подземных и наземных сооружений и иметь последствия с ущербом, сравнимым со стоимостью сооружений.

На **Рис.** приведены данные натуральных замеров давлений ЛЗО, расчетная схема их возникновения и математическая модель при развитии этого процесса в цилиндрических и сферических полостях.

В математической модели учитывается: 1) неупругий характер деформирования пород; 2) зависимость температуры замерзания от давления и концентрации растворенных примесей; 3) влияние растворимости газов в незамерзшей фазе воды.

*Учет пластического деформирования запирающих замерзающую водосодержащую массу пород дает оценку сверху по давлениям с запасом до 20% против замеренных в натуральных условиях величин и показывает существование максимума давлений при продолжающемся ЛЗО (**Рис.**). Учет влияния перераспределения растворенных примесей на температуру фазового перехода приводит к уточнению этого максимума и описывает возникновение стабилизации параметров ЛЗО на конечном интервале времени (**Рис.**). Дополнительный к перечисленным факторам учет растворимости газов дает *высокое согласование математической модели с данными эксперимента* (**Рис.**), что позволило разработать рекомендации по предупреждению опасного уровня ЛЗО и рассчитывать параметры мер предупреждения в виде:*

1) применения способов ограничения длительности процесса путем управления температурным режимом;

2) применения приемов управления объемной деформацией и сжимаемостью замерзающей массы;

3) применение способов управления температурой замерзания;

4) применения конструктивных решений, обеспечивающих надежность сооружения при проявлении ЛЗО.

Нами выявлено аналитически и подтверждено вычислительным и физическим экспериментом существование эмпирически известного асимптотического максимума давлений ЛЗО при учете пластического характера деформирования пород. Учет реологического поведения пород показывает, что существует не только максимум давлений, но и переходный режим с промежуточными экстремумами давления и положения фронта затвердевания в случае учета зависимости температуры фазового перехода от давления (**Рис.**).

## ВЫВОДЫ.

1. Разработаны средства **расчета и предупреждение опасности проявлений крионапора и ледообразования в замкнутых объемах (ЛЗО) для ССС и её элементов.**

2. На основе данных вычислительного и физического эксперимента и разработанных моделей ЛЗО **разработаны методы расчета допустимых параметров проявления ЛЗО по условию обеспечения надежности ССС.**

Обобщенные результаты опубликованы в [1-4,7,9-12] и использованы для выполнения работ по госзаказам и хоздоговорам.

Результаты исследований по теме использованы при защите 3-х кандидатских и 3-х докторских диссертаций.

## **3. Прогноз и управление проявлениями морозной деструкции конструктивных элементов зданий и сооружений.**

Лист 16(Ион). Математическая модель расчета циклов замерзания-таяния.

Лист 17(Ион). Графики T воздуха.

Лист 18(Ион). Расчет циклов в свае.

Лист 19(Ион). Характерные расчетные случаи.

Лист 20(Ион). Фундамент, чердак, примыкание.

Лист 21(Ион). Выводы по моделированию морозной деструкции.

На **Рис.** показан график среднесуточной температуры воздуха для г. Якутска. Метеостанции делают замеры через 3 часа и количество пиков графика еще больше. Соответственно растет и число волн в теле сооружений и сопряженное с ними число фазовых переходов в материалах конструкций, а также число циклов замерзания-таяния (ЧЦЗТ) каждого элементарного объема материала. Разработан принцип защиты каменных и армокаменных зданий и сооружений от морозной деструкции их конструкций заключающийся в совмещении в облицовке здания функции частотного фильтра для тепловых волн.

На **Рис.** показано распределение числа циклов замерзания-таяния в типовых конструкциях без и с применением разработанного принципа защиты.

Примером практического выполнения описанного подхода экранирования стен от высокочастотного температурного воздействия, которым может служить утепление кирпичных стен здания Окружного Центра национальной культуры в г. Салехарде.

## ВЫВОДЫ.

1. Сформулировано и методами вычислительного эксперимента доказано положение о том что: 1) соответственно колебаниям температуры

наружного воздуха происходят колебания температуры и в теле конструкций, граничащих с внешней средой и зачастую имеющих положительное значение на некоторой части своей массы; 2) что даже при отрицательной температуре наружного воздуха ее колебания приводят к распространению температурных волн и соответственно к колебаниям в каждом элементарном объеме материала конструкций количества поровой влаги претерпевшей фазовый переход, что не учитывается методами СНиП при расчете рекомендаций применения по их морозостойкости; 3) что реально имеющее место число циклов замерзания-таяния воды в порах в теле конструкции значительно больше, чем это предполагают нормативные документы.

2. Методами вычислительного эксперимента разработан принцип защиты каменных и армокаменных зданий и сооружений от морозной деструкции их конструкций заключающийся в совмещении в облицовке здания функции частотного фильтра для тепловых волн, снижающего проникновение в ограждающие конструкции высокочастотных гармоник колебаний температуры наружного воздуха и, тем самым, предупреждающего их преждевременное морозное разрушение.

3. Проанализированы данные о местах проявления морозной деструкции в зданиях и сооружениях обобщены и на их основе разработан каталог типовых расчётных случаев проектирования защиты от морозной деструкции.

*Обобщенные результаты опубликованы в шести статьях и монографии [5] и использованы для выполнения работ по хоздоговорам.*

*Результаты исследований по теме использованы при защите кандидатской диссертации Ионова А.В.*

#### **4. Управление температурным режимом грунтовых оснований в криолитозоне.**

Лист 22(отчБашня). Раскладка теплоизоляции и определение её толщины.

Лист 23(отчБашня). Расчет размеров экрана в плане.

Лист 24(Ион). Применение СОУ.

Лист 25(Ион). Короб.

Лист 26(Ион). Заморозка техногенного талика.

#### **ВЫВОДЫ.**

1. Особенности применения СОУ:

- а) одиночные термосваи не могут повлиять на хладозарядку;*
- б) одиночная термосвая с теплоизоляцией поверхности грунта позволяет хладозарядать грунт под теплоизоляцией в окрестности термосваи;*
- в) наибольший эффект хладозарядки достигается при сочетании термосвай с тепло-полупроницаемой изоляцией.*

2. Вычислительным экспериментом и практически показана эффективность применения средств пассивного управления температурным режимом и механическими свойствами грунтов основания (СОУ, тепловые экраны) для стабилизации деформаций оснований.

3. Резервным эффективным средством активного управления температурным режимом оснований является вентилируемый короб.

*Обобщенные результаты опубликованы в 9 статьях и монографиях [4,5] и использованы для выполнения работ по хоздоговорам.*

*Результаты исследований по теме использованы при защите кандидатской диссертации.*

### **5. Прогноз НДС в ССС с учетом взаимовлияния соседствующих сооружений, теплового и механического взаимовлияния элементов системы, а также оптимизация их конструктивных и технологических параметров эксплуатации, в т.ч. и при их ремонте и реконструкции в районах сурового климата.**

Лист 27(Надым). Заглубленная кровля ММП в основании дома по Стрижова -1 в г.Надым.

Лист 28(Надым). Фото дома или модель.

Лист 29(Надым). Трещины в армопоясе.

Лист 30(Надым). Крены по парапету крыши.

Лист 31(Надым). Геотехнический разрез основания фасад с трещинами.

Лист 32(Надым). Изолинии осадок фундамента при их стабилизации достаточной заморозкой основания.

Лист 33(Надым). Расчетные крены.

Лист 34(ОтчетЯктск). Фото разрушений здания типографии.

Лист 35(Список 8 ИллЯктск)..

Лист 36(Список 8 ИллЯктск)..

Лист 37(Список 8 ИллЯктск)..

Лист 38(Список 8 ИллЯктск)..

Лист 39(Список 8 ИллЯктск)..

Лист 40(Список 8 ИллЯктск)..

Лист 41(Список 8 ИллЯктск)..

Лист 42(Список 8 ИллЯктск)..

Лист 43(Список 8 ИллЯктск)..

Помимо подземных сооружений, нами рассматривались и наземные сооружения технологического и жилого комплекса. На **Рис.** приведены примеры прогноза НДС жилого и производственного зданий с «Г-образной» формой пятна застройки при неравномерном протаивании пластически деформирующихся ММП в его основании. В первом случае здание имело ленточный фундамент, а во втором сваи-стойки с опорной пятой. Сравнение результатов расчета с натурными данными дает завышение расчетных деформаций зданий по перемещениям до 10%. Для сооружений подобного типа нами *разработан вычислительный комплекс расчета НДС и ТМО в ССС с учетом сопряженного теплообмена и механического взаимовлияния элементов системы друг на друга.*

## ВЫВОДЫ.

1. Разработан вычислительный комплекс решения задач **прогноза НДС в ССС** с учетом влияния соседствующих сооружений, теплового и механического взаимовлияния элементов системы, **а также оптимизации их конструктивных и технологических параметров эксплуатации.**

2. В качестве средств повышения устойчивости сооружений апробированы: 1) варианты управления их термомеханическим состоянием путем закрепления основания хладозарядкой и применения теплоизоляции; 2) меры закрепления конструкций и 3) *выявлено наиболее эффективное сочетание этих мер управления НДС в ССС.*

*Результаты опубликованы в пяти статьях и использованы для выполнения работ по госзаказам и хоздоговорам.*

*Результаты исследований по теме использованы при защите кандидатской диссертации и подготовке докторской диссертации.*

## **6. Защита зданий и сооружений от касательных сил морозного пучения и морозобойного растрескивания.**

Лист 44(Ион). Расчетная схема формирования защитной противопучинной оболочки.

Лист 45(Ион). Расчетная схема формирования защиты фундаментов от морозобойного растрескивания.

Экспериментально установлено разупрочнение мёрзлого грунта введением в него полиэтиленовых плёнок свыше 5 раз, что соответствует уменьшению касательных сил пучения более чем в 2 раза.

**А. Цель защиты фундамента здания, сооружения от воздействия сил морозного пучения грунта достигается образованием противопучинного экрана на глубину сезонного промерзания из прилегающего к поверхности сооружения разупрочненного естественного грунта.** Эффект разупрочнения грунта можно получить введением в него разупрочняющей структуры из структурообразующих элементов, имеющих гидрофобную поверхность, в пределах зоны максимальной концентрации напряжений вблизи фундамента. Эта зона ограничена областью предельного равновесия грунта, размеры которой определяют расчетом в зависимости от физико-механических прочностных характеристик талого и мерзлого грунта.

**В. Опасность для сооружения представляют максимальные деформации вызываемые морозобойными трещинами с максимальной шириной раскрытия. Расстояние между трещинами, ширина раскрытия, а следовательно их глубина проникновения в грунт и длина уменьшаются с уменьшением прочности грунта. Защитить сооружение возможно, создав вокруг него защитный экран с периодическими вдоль наружного периметра сооружения зонами локально уменьшенной прочности грунта, в которых заведомо возникнут трещины со значениями параметров трещин, при которых не будут нарушены сооружения.**

На **Рис.** показаны: 1) расчетная схема формирования защитной противопучинной оболочки; 2) расчетная схема формирования защиты фундаментов от морозобойного растрескивания.

### ВЫВОДЫ.

Предложен и защищен патентом принцип адаптивной защиты и реализующее его простые, экологически чистые и экономичные технические решения для защиты сооружений на мёрзлых грунтах от касательных сил морозного пучения и морозобойного растрескивания грунта.

*Обобщенные результаты опубликованы в 2 статьях и монографии [5] и использованы для выполнения работ по хоздоговорам.*

*Результаты исследований по теме использованы при защите кандидатской диссертации.*

## **7. Прогноз устойчивости поперечных каналов в дорожных насыпях и оптимизация их конструктивных решений и технологии эксплуатации.**

Лист 46(Нов). Расчетная схема ПКДН.

Лист 47(Нов). Разбивка расчетной области с боковым подтоплением.

Лист 48(Нов). Разрез поля температуры.

Лист 49(Нов). Применение теплоизолирующих экранов.

Разработаны методы расчета оптимальных конструктивных и технологических параметров строительства и эксплуатации насыпей различного назначения в криолитозоне **в месте пересечения дорожной насыпи поперечным каналом различного назначения (ПКДН)** с применением средств хладозарядки и теплоизоляции и учетом: 1) засоленности; 2) трехмерности объекта; 3) влияния потепления климата; 4) влияния осадок уплотнения при оттаивании на формирование температурного режима и конструкцию насыпи.

На **Рис.** показаны: 1) схема ПКДН; 2) пример разбивки расчетной области ПКДН; 3) пример расчета температурного разреза в области ПКДН; 4) применение теплоизолирующих экранов.

### ВЫВОДЫ.

1. Методами вычислительного эксперимента *доказано положение о том, что является эффективным применение способов хладозарядки грунтов вокруг ПКДН путем управления температурными граничными условиями и теплофизическими характеристиками элементов конструкции ПКДН с помощью простых в исполнении технических средств и с использованием теплоизолирующих и тепло-полупроводящих экранов.*

2. Аналитически *доказано положение о том, что при расчетах высоты насыпей из комковатых грунтов требуется вводить поправку на её размеры, соответствующую влиянию изменения теплопроводящей*

способности грунта при его уплотнении, а также разработана методика расчета такой поправки.

3. Методами вычислительного эксперимента доказана эффективность резерва компенсационных мер хладозарядки грунтов вокруг ПКДН в существующих районах территориальной границы криолитозоны при возможном рациональном уровне потепления климата до среднегодовой температуры  $0^{\circ}\text{C}$ .

4. Сформулировано и методами вычислительного эксперимента доказано положение о том, что при обоснованном временными рядами наблюдений значении параметров потепления климата до среднегодовой температуры  $0^{\circ}\text{C}$  в существующих районах территориальной границы криолитозоны возможно продолжение применения принципа строительства дорожных насыпей с сохранением мерзлого ядра.

Обобщенные результаты опубликованы в 6 статьях и монографии [8] и использованы для выполнения работ по хоздоговорам.

Результаты исследований по теме использованы при защите кандидатской диссертации.

## **8. Постановка противofильтрационных экранов в грунте методом замораживания.**

Лист 50(стат). Перенос загрязнения.

Лист 51(стат). Замораживающий противofильтрационный экран.

Для разработки мер повышения экономической эффективности строительства противofильтрационных, удерживающих отходы горного производства, плотин и прогноза растекания в грунте водорастворимых загрязнений нами построена математическая модель фильтрационного тепло-массопереноса с фазовыми переходами поровой влаги и зависимостью температуры фазового перехода от концентрации при учете сорбционных эффектов. Модель использована для расчета параметров формирования ледогрунтовых противofильтрационных экранов и растекания жидких загрязнений в ММП, а также для прогноза формирования ММП на шельфе арктических морей.

На Рис. показаны результаты расчета формирования ледопородных тел в засоленном фильтрационном потоке.

### ВЫВОДЫ.

1. Разработана математическая модель и программа расчета фильтрационного тепло-массопереноса с фазовыми переходами поровой влаги и зависимостью температуры фазового перехода от концентрации.

2. Методика позволяет: 1) рассчитывать формирование ледопородных тел в засоленном фильтрационном потоке; 2) выбирать схемы замораживания грунта с оптимальными показателями.

3. С помощью вертикальных заградителей можно лишь перераспределять поток загрязнителя.

4. Локализация возможна применением полного охвата экраном всего источника загрязнения.

*Обобщенные результаты опубликованы в 4 статьях и использованы для выполнения работ по хоздоговорам.*

*По теме готовится защита кандидатской диссертации.*

## **9. Обеспечение надежности эксплуатации приустьевых сооружений и скважин в криолитозоне.**

Лист 52(отчГГ). Расстановка колонок и поле температуры вокруг скважины при хладозарядке.

Лист 53(отчГГ). Расстановка нагрузок и разбивка области.

Лист54(отчГГ). Расчет оптимальных параметров хладозарядки приустьевой зоны эксплуатационной скважины в ММП.

Разработана методика и программа расчета 3-мерного теплового и механического взаимодействия в системе «скважина-породы» в криолитозоне с учетом: 1) сопряженного теплообмена в стволе скважины; 2) спектра температуры замерзания и засоленности влаги в порах; 3) пластических свойств пород в рамках параметров принятых в СНИП; 4) зависимости теплофизических и механических свойств пород от температуры.

На основе вычислительного эксперимента запатентованы способ и устройства по обеспечению устойчивости системы «скважина-породы» в криолитозоне.

На **Рис.** показаны: 1) схема устья скважины с расстановкой СОУ и теплоизоляции; 2) пример расчета температурного разреза вокруг скважины; 3) пример расчета НДС вокруг ствола скважины с наличием талой зоны и формированием зоны неустойчивости пород; 4) расчет оптимальных параметров хладозарядки приустьевой зоны эксплуатационной скважины в ММП.

### **ВЫВОДЫ.**

1. Показано, что в условиях криолитозоны неконтролируемое протаивание пород вокруг устья за 20 лет эксплуатации может привести к приустьевым воронкам с объемом достигающим нескольких сотен м<sup>3</sup> на одну скважину.

2. Методами вычислительного эксперимента обоснована эффективность применения способов хладозарядки и теплоизоляции грунтов вокруг устья скважин для решения проблемы предупреждения образования воронок и обеспечения устойчивости устья и обсадных колонн.

3. Методами вычислительного эксперимента обосновано существование и эффективность резерва компенсационных мер хладозарядки грунтов для обеспечения устойчивости устья скважин в криолитозоне при возможном рациональном уровне потепления климата.

4. Разработанные методика и программа позволяют рассчитывать оптимальные параметры крепления скважин и приустьевой зоны, обеспечивающие её надежность.

*Результаты опубликованы в 12 статьях и монографиях [4,5,12] и использованы для выполнения работ по хоздоговорам.*

*Результаты исследований по теме использованы при подготовке докторской диссертации.*

## **10. Оптимальное армирование откосов и склонов с целью управления их устойчивостью.**

Лист 55(стат). Армирование откоса.

Лист 56(стат). Габионы.

На основе существующих методик определения предельного равновесия откосов была сформулирована задача исследования предельного равновесия неоднородного грунтового массива, в котором неоднородность в т.ч. создается искусственно путем армирования.

Области неустойчивости грунтового массива выделяются соответственно распределению значения коэффициента устойчивости, который находится из численного решения 2 или 3-мерной задачи деформационной теории пластичности. Если область неустойчивости такова, что найдется пересекающая откос линия, или поверхность на которой выполняется условие предельного равновесия, то такой откос считается неустойчивым, а сама эта линия или поверхность определяет отсек обрушения. Оптимальное армирование откоса достигается расположением армирующих элементов перпендикулярно поверхности скольжения в местах наибольшего значения коэффициента устойчивости до состояния допустимого минимума формы области неустойчивости. При увеличении области армирования зона неустойчивости распадается на более мелкие подобласти.

На **Рис.** показаны: 1) расчетная схема нагружения откоса; 2) пример расчета НДС без сооружения и формированием зоны неустойчивости пород; 3) пример расчета НДС откоса с наличием сооружения и формированием зоны неустойчивости пород.

## **ВЫВОДЫ.**

1. Предлагаемая методика позволяет рассчитывать устойчивость склонов, предварительно не выбирая вероятные линии или поверхности скольжения.

2. Методика позволяет выбирать схемы закрепления откоса с оптимальными показателями.

*Обобщенные результаты опубликованы в 3 статьях и монографии [6] и использованы для выполнения работ по хоздоговорам.*

*По теме готовится кандидатская диссертация.*

## 11. Повышение эффективности строительства на выштампованных котлованах для слабых грунтов.

Лист 57(Мнгр). Фото агрегата для выштамповки.

Лист 58(Мнгр). Фото выштампованного котлована.

Лист 59(Мнгр). Схема агрегата для выштамповки.

Лист 60(Мнгр). Плита с зубчатыми опорами.

Лист 61(Мнгр). Оптимальные параметры конструкции фундамента и экономические показатели.

На **Рис.** показаны: 1) фото агрегата для выштамповки и котлован; 2) пример разбивки расчетной области и её деформации при выштамповке; 3) пример расчета взаимовлияния котлованов и несущей способности опоры; 4) форма конструкции фундамента с использованием свойств выштамповки грунта; 5) оптимальные параметры конструкции фундамента и экономические показатели.

### ВЫВОДЫ.

1. Разработана методика и программное средство расчета НДС грунтового массива в процессе выштамповки призматических и осесимметричных котлованов.

2. Предложен и защищен патентом экономичный тип фундамента с использованием выштамповки грунта под его элементы, в котором уплотненный грунт является элементом фундамента.

*Обобщенные результаты опубликованы в 10 статьях и монографии [6] и использованы для выполнения работ по хоздоговорам.*

*По теме готовятся 3 кандидатские диссертации.*

## 12. Повышение эксплуатационных показателей системы “здание-фундамент-основание” путем оптимизации распределения жесткости в ней.

Лист 62(Чух). Выклинивание слабого слоя.

Лист 63(Чух). Примыкание котлованов и пластичность.

Лист 64(Чух). Снижение НДС управлением жесткостью.

Методом вычислительного эксперимента рассмотрены: 1) результаты расчетов формирования осадок зданий при различных неоднородностях грунтов основания; 2) результаты расчетов влияния учета пластических свойств грунта на формирования осадок зданий; 3) результаты расчетов выравнивания осадок зданий при различных неоднородностях жесткости конструкций здания; 4) результаты расчетов выравнивания осадок зданий при различных неоднородностях жесткости фундамента здания; 5) результаты расчетов выравнивания осадок зданий при различных неоднородностях жесткости грунтов основания здания.

## ВЫВОДЫ.

1. Предложен и защищен патентом принцип оптимизации распределения жесткости конструктивных элементов ССС с целью снижения неравномерности осадок в пятне застройки и повышения надежности ССС. Защищены патентом два вида фундаментов использующих указанный принцип.

2. Предложены и защищены патентами два типа фундаментов использующих уплотненный грунт в качестве составной части.

*Обобщенные результаты опубликованы в 12 статьях и монографии [6] и использованы для выполнения работ по хоздоговорам.*

*Результаты исследований по теме использованы при защите кандидатской диссертации, готовятся еще две.*

Кроме перечисленных, нами решались задачи прогноза НДС и температурного режима гидротехнических сооружений, блочно-понтонных модулей нефтегазовых сооружений, трубопроводов подземной и наземной прокладки.

В своей совокупности разработанные математические модели ТМО и НДС в ССС позволяют делать следующее:

- 1) *решать задачи прогноза и рассчитывать параметры ряда конструктивных и технологических мер повышения надежности сооружений в районах существования сурового климата;*
- 2) *ставить и решать задачи оптимизации конструкций и параметров управления эксплуатацией сооружений при условии их надежности и экономической эффективности;*
- 3) *разрабатывать математическую теорию устойчивости сооружений в условиях сурового климата;*
- 4) *решать задачи оптимизации планирования строительства в районах существования сурового климата;*
- 5) *разрабатывать эффективные конструктивные решения перераспределения нагрузок в системе сооружение-среда с улучшением экономических показателей строительства при проектировании, ремонте и реставрации.*

ПО ДАННОМУ НАУЧНОМУ НАПРАВЛЕНИЮ ИМЕЮТ МЕСТО:

**12 брошюр (из них 4 нормативного характера), 12 заявок на изобретение, 8 патентов.**

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

### *академические*

1. Дубина М.М., Красовицкий Б.А. Лозовский А.С. Попов Ф.С. Тепловое и механическое взаимодействие инженерных сооружений с мерзлыми грунтами. - **Новосибирск: Наука, 1977.** - 144 с.
2. Дубина М.М., Красовицкий Б.А. Теплообмен и механическое взаимодействия трубопроводов и скважин с грунтами. - **Новосибирск : Наука, 1983.** - 134 с.
3. Дубина М.М., Черняков Ю.А. Моделирование и расчет термопластического состояния мерзлых пород. - **Новосибирск : Наука, 1991.** - 112 с.
4. Дубина М.М., Коновалов В.В., Цибульский В.Р., Черняков Ю.А. Инженерно-геологический мониторинг промыслов Ямала. Часть 1. Моделирование термомеханического взаимодействия сооружений с грунтами. - **Новосибирск: Наука, 1997.**- 153 с.
5. Дубина М.М. и др. Повышение долговечности зданий при морозном воздействии. – **М.: Изд. МГУ, 1999.** – 171 с.
6. Дубина М.М., Тесленко Д.К., Целицо В.М., Черняков Ю.А. Метод конечных элементов для расчетов фундаментов на выштампованных котлованах и устойчивости откосов. – **М.: Весь мир, 2001.** – 224 с.
7. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов.- **М.: ГЕОС, 2002.** - 402 с. (коллектив авторов).
8. Дубина М.М. и др. Методы решения задач тепломассообмена применительно к строительству коммуникационных каналов в криолитозоне.- **СПб: Недра, 2003.**- 247с.

### *нормативные*

9. Арцимович Г.Р., Бабе Г.Д., Бондарев Э.А., Дубина М.М., Мастепако Л.Д., Попов Ф.С., Шедз В.И., Скляр Э.Д. Рекомендации по проходке зоны вечной мерзлой при бурении скважин на газовых месторождениях Якутии. - Якутск, изд-во ЯФ СО АН СССР, **1980.** - 76 с.
10. Инструкция по креплению эксплуатационных и наблюдательных скважин на месторождениях ВПО Тюменгазпром (руководящий документ).- Тюмень:ТюменНИИГипрогаз, ВПО Тюменгазпром,**1984.**-124 С. ( соавторы-сотрудники ТюменНИИГипрогаз и ВПО Тюменгазпром).
11. Методические рекомендации на технологический процесс строительства скважин в районах распространения многолетнемерзлых пород для эксплуатации месторождений с применением тепловых методов воздействия на продуктивные пласты (руководящий документ).- Тюмень: СибНИИНП, **1986.**-224 С. (соавторы-сотрудники СО РАН, ТюменНИИГипрогаз, ВПО Тюменгазпром, СибНИИНП ).
12. Регламент по креплению приустьевой части скважин в интервале мерзлых пород с высокой льдистостью. РД. ТюменНИИГипрогаз. 2004. – 56С.